

Departament d'Economia Aplicada

Actividad económica, consumo final de
energía y requerimientos de energía
primaria en Cataluña, 1990-2005.
Análisis mediante el uso de los balances
energéticos desde una perspectiva input-
output

Jordi Roca Jusmet,
Vicent Alcántara Escolano,
Emilio Padilla Rosa

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

07.09



Universitat Autònoma de Barcelona

Facultat de Ciències Econòmiques i Empresariales

Aquest document pertany al Departament d'Economia Aplicada.

Data de publicació : **Novembre 2007**

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

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

Actividad económica, consumo final de energía y requerimientos de energía primaria en Cataluña, 1990-2005. Análisis mediante el uso de los balances energéticos desde una perspectiva input-output

Jordi Roca Jusmet^a, Vicent Alcántara Escolano^b y Emilio Padilla Rosa^b

^aDpto. Teoría Económica, Univ. Barcelona, Av. Diagonal, 690, 08034 Barcelona.

^bDpto. Economía Aplicada, Univ. Autónoma de Barcelona, Edificio B, 08193 Bellaterra.

Resumen

Este trabajo analiza la evolución de los consumos finales de energía en Cataluña durante el periodo 1990-2005. En conjunto, los consumos finales de energía crecen por encima del crecimiento del PIB en términos reales. La disponibilidad actual de datos permite una desagregación en cinco actividades: sector primario; sector industrial; sector servicios; transporte; y sector doméstico. Los aumentos relativos más importantes se dan en los sectores servicios, doméstico y transporte. Es esta última actividad (que incluye el transporte privado y comercial) la que experimenta un mayor aumento en términos absolutos, hasta llegar a representar un consumo final de energía superior incluso al del sector industrial.

Una vez vista esta descripción básica de las tendencias en los consumos finales de energía, presentamos una metodología de análisis que permite —a partir de los balances energéticos— “traducir” los consumos finales de energía en requerimientos de energía primaria. A pesar de las limitaciones de la metodología, y de los datos disponibles, consideramos que esta metodología representa una interesante aproximación a la cantidad de energía primaria (y a su composición) que *arrastra* un determinado nivel de consumo de energía final de los diferentes sectores o actividades.

Para ver cómo esta perspectiva da una óptica diferente, podemos observar, por ejemplo, que el transporte, a pesar de su gran importancia, aún “arrastra” menos energía primaria que el sector industrial (según las estimaciones a partir de los datos de 2005). Si olvidamos esta perspectiva de energía primaria, podemos sacar conclusiones erróneas, como que una creciente electrificación del consumo de energía comporta menos necesidades energéticas cuando, al tener en cuenta todo el proceso de transformación y distribución energética, podría ser lo contrario.

Aplicamos el análisis para comparar los años 2003-2005 con los años 1990-1992. En el conjunto del periodo analizado, la energía primaria necesaria para disponer de las diferentes formas de energía final experimenta cambios significativos. El cambio más relevante es la disminución en la energía primaria que estimamos que se ha utilizado de media para obtener una unidad de electricidad —de 2,96 los años 1990-1992 a 2,59 los años 2003-2005— y aún

más importante es el cambio en la composición media por fuentes de energía primaria que se utilizan para obtener una unidad de electricidad. Mientras que para cada unidad de electricidad a principios de los 1990s se gastaban 2,41 unidades de calor nuclear, en los años finales —debido al menor peso relativo de la energía nuclear en el *mix* eléctrico— se gastaban 1,56; en cambio, las necesidades de gas natural aumentaron claramente: de 0,12 unidades a 0,65 unidades, reflejando el creciente peso de las centrales térmicas de este combustible.

Para profundizar en las razones de los importantes cambios en las necesidades totales de energía primaria de Cataluña entre 1990-1992 y 2003-2005 hemos utilizado una técnica de descomposición factorial. En concreto, nuestro análisis explica los cambios totales (“efecto total”) en las necesidades de energía primaria —y en sus componentes— a partir de la descomposición en tres efectos o factores que son: el cambio en el nivel de consumo final de los diferentes sectores (“efecto actividad”), los cambios entre diferentes tipos de energías finales (“efecto sustitución”) y los cambios en las necesidades de energía primaria para disponer de las energías finales (“efecto transformación”).

El efecto actividad —el debido al aumento de los consumos finales— es el más importante de los tres, y con diferencia y para todas las actividades. El efecto actividad provoca un aumento de los requerimientos de todas las fuentes energéticas, pero particularmente del petróleo debido al papel del transporte y también a la creciente demanda de derivados de petróleo para “usos no energéticos”.

El efecto transformación hace que disminuyan las necesidades de energía primaria, y es más fuerte en aquellos sectores de demanda que más dependen de la electricidad.

El efecto sustitución, que tiene mucha relevancia para explicar las variaciones en los requerimientos de algunas fuentes de energía primaria no tiene, en cambio, mucha relevancia para explicar los cambios en el total de energía primaria del periodo analizado.

Los requerimientos de energía primaria que más crecen son los de gas natural debido a que tanto el efecto transformación (mayor proporción de producción eléctrica en térmicas de gas) como el efecto sustitución (creciente peso relativo del gas natural en el consumo final de industrias, servicios y residencial) son importantes y se suman al efecto actividad. En cambio, el uso de energía nuclear aumenta poco en términos absolutos debido a que el efecto transformación (pérdida de peso relativo de la electricidad de origen nuclear) actúa en dirección contraria al efecto actividad. La única fuente de energía primaria que disminuye en términos absolutos es el carbón y eso es debido a que el efecto transformación (menor uso en el sector energético) y sustitución (menor uso en el consumo final) más que contrarrestan el efecto actividad. En último lugar, hay que destacar que en los años 2003-2005 hay una importante dependencia de la importación de derivados del petróleo ya refinados, mientras

que en el conjunto del periodo 1990-1992 el saldo global de estos derivados en unidades energéticas fue exportador.

Hay dos posibilidades de ampliación futura de este análisis, siempre que la información disponible lo permita. Una es aplicar el mismo análisis con una mayor desagregación sectorial que, como mínimo, considere separadamente los sectores industriales más consumidores de energía. La otra es partir de las tablas input-output económicas para —añadiendo la información de los usos de la energía— mejorar nuestra estimación (en realidad ahora es una infravaloración) de las necesidades de energía para disponer de energía.

1. Introducción: objetivo y base de datos

Este trabajo presenta una metodología de análisis de los datos de consumos finales de energía que se complementa con el resto del análisis del estudio. Esta metodología permite ver fácilmente la cantidad de energía primaria que *arrastra* un determinado nivel de consumo de energía final para los diferentes sectores o actividades.

Por tanto, la perspectiva de esta investigación no es solo la de describir las tendencias en los consumos finales de energía en Cataluña durante el periodo 1990-2005, sino la de ver sus implicaciones en requerimientos de energía primaria. Para desarrollar esta tarea necesitamos una base de datos que permita establecer estas relaciones.

La base de datos utilizada son los balances energéticos de Cataluña, facilitados para el periodo 1990-2005 por el Instituto Catalán de la Energía (ICAEN)¹. Los datos de 2004 y 2005 son avances que pueden experimentar variaciones significativas cuando se consideren definitivas.

Las fuentes de energía primaria consideradas en estos balances son las siguientes. En primer lugar, los tres combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural². Por otro lado, tenemos también como fuentes primarias diferentes formas de obtener electricidad, como son la energía nuclear, la hidroelectricidad, la eólica y la solar fotovoltaica. Tal y como hace la metodología actual de la Agencia Internacional de la Energía, la energía nuclear se contabiliza por el calor generado en las centrales nucleares, mientras que en los otros casos se contabiliza como energía primaria sólo el valor energético de la electricidad efectivamente generada³. En tercer lugar, tenemos la captación de calor a partir de la energía solar (“solar térmica”). En cuarto lugar, se contabilizan también como fuentes primarias diversos

¹ Agradecemos al ICAEN, y especialmente a Joan Esteve y Albert Casanovas, no solo habernos facilitados esta base de datos, sino también su predisposición constante a aclarar todas nuestras dudas sobre esta información.

² Respecto al carbón, en los datos de los balances se distingue entre lignito y otros tipos de carbón. Nosotros los hemos considerado de forma agregada.

³ Esto es importante tenerlo en cuenta en el momento de valorar las cifras: una unidad de energía primaria de energía nuclear corresponde a una cantidad de electricidad mucho más pequeña —aproximadamente la tercera parte— que una unidad de hidroelectricidad.

aprovechamientos energéticos —a veces en forma de electricidad y a veces en formas de calor— principalmente de flujos residuales que el ICAEN clasifica como: “biomasa” (forestal y agrícola), “biogás” (aprovechado de los vertederos y también de lodos de depuradora, purines y residuos de la industria agroalimentaria), “residuos renovables” (las plantas de incineración de Residuos Sólidos Urbanos) y “residuos no renovables” (hidrógeno y otros gases residuales de proceso, básicamente del sector químico, y otros residuos industriales). En último lugar, tenemos los biocarburos clasificados en bioetanol y biodiésel que incluyen tanto el aprovechamiento de residuos — como aceites vegetales utilizados— como los llamados “cultivos energéticos”. Respecto a estos últimos, habría que hacer un par de precisiones. La primera, terminológica, es que la producción de alimentos también se puede calificar, obviamente, como cultivo energético⁴; pero dado que este trabajo estudia solo la energía “exosomática” (es decir, la controlada por los humanos pero consumida fuera de nuestro cuerpo), los únicos “cultivos energéticos” relevantes para nosotros son aquellos que no están destinados a alimentar la población humana (es decir, a proveer energía “endosomática”). La segunda cuestión a destacar es que para obtener estos cultivos se produce un fuerte gasto energético que no está incluido en los balances energéticos ya que forma parte de otros sectores —como el agrario— para lo que la propia clasificación como fuente primaria —que mantenemos— puede llevar a confusión porque da la impresión de que se añade sin más a la oferta energética⁵.

Hay algún pequeño problema en la continuidad de la serie temporal de datos, pero afecta a fuentes energéticas con muy poco peso relativo y apenas altera los resultados globales. Los principales son que hay un salto en la información sobre el uso de biomasa que parece muy incompleto hasta el año 1997 y que para los años anteriores a 1996 no hay información sobre “residuos no renovables”.

La energía disponible también se ve aumentada cuando se importan energías ya transformadas, como la electricidad o productos del petróleo ya refinados, hecho del cual también informan los balances energéticos. En un apartado posterior nos referiremos al tratamiento de estas importaciones.

Los balances de energía ponen de manifiesto las interrelaciones entre los sectores energéticos y también muestran el consumo final de energía por parte de diferentes sectores o actividades. Las fuentes de consumo final consideradas son las mismas que antes, quitando el petróleo crudo, nuclear, hidráulica, fotovoltaica y añadiendo electricidad y los derivados del petróleo. Lamentablemente, la información sectorial del consumo final es muy agregada, de forma que considera sólo cinco sectores: “Primario”, “Industrial” (que incluye la construcción), “Servicios”, “Transporte” y “Doméstico”. De momento, no tenemos pues información desagregada en diferentes sectores industriales

⁴ Y, de hecho, el coste de oportunidad de los cultivos para “alimentar” coches puede ser a veces, efectivamente, dejar de cultivar alimentos para las personas.

⁵ Si hiciéramos todos los cálculos, la energía gastada para obtener energía en forma de biocombustibles sería muy grande (hasta podría resultar, en algunos casos extremos, que la actividad —quizás viable gracias a subvenciones— fuera absurda energéticamente, al consumir más energía de la que se obtiene).

(que sería muy importante para situar las responsabilidades relativas de diferentes actividades y que, además, podría permitir un análisis input-output más completo); esta información posiblemente estará disponible a finales de 2007. Tampoco tenemos estimaciones —y esto es muy difícil de resolver— sobre cómo el consumo energético en transporte se distribuye entre el “sector transporte” como sector productivo y el transporte privado particular, de forma que siempre tratamos al “transporte” como un todo⁶. Como ya se ha mencionado, una mejor disponibilidad de datos ayudaría a resolver esta situación. Además de los cinco usos anteriores de la energía final, hay que añadir también la demanda de los “usos no energéticos” (especialmente derivados del petróleo utilizados como materia prima de la industria petroquímica) y del “saldo exportador energético” que en el primer caso no es propiamente una demanda energética y en el segundo caso puede considerarse “responsabilidad” de los territorios importadores.

Después de esta introducción, la estructura del trabajo es la siguiente. El apartado 2 describe brevemente la evolución de los consumos finales de energía en Cataluña entre 1990 y 2005. El apartado 3 presenta la metodología que hemos utilizado para estimar la energía primaria “arrastrada” por los consumos finales de energía. El apartado 4 ilustra esta metodología con los datos reales de Cataluña del año 2005. El apartado 5 describe los cambios en las necesidades de energía primaria ligadas a las diferentes formas de consumo final de energía a lo largo del periodo analizado. El apartado 6 presenta la metodología utilizada para analizar la contribución de diferentes factores a los cambios en el total de energía primaria —y en su composición. El apartado 7 aplica esta metodología a Cataluña para el periodo considerado. Finalmente, el apartado 8 recoge unas breves conclusiones.

2. Evolución de los consumos finales de energía (1990-2005)

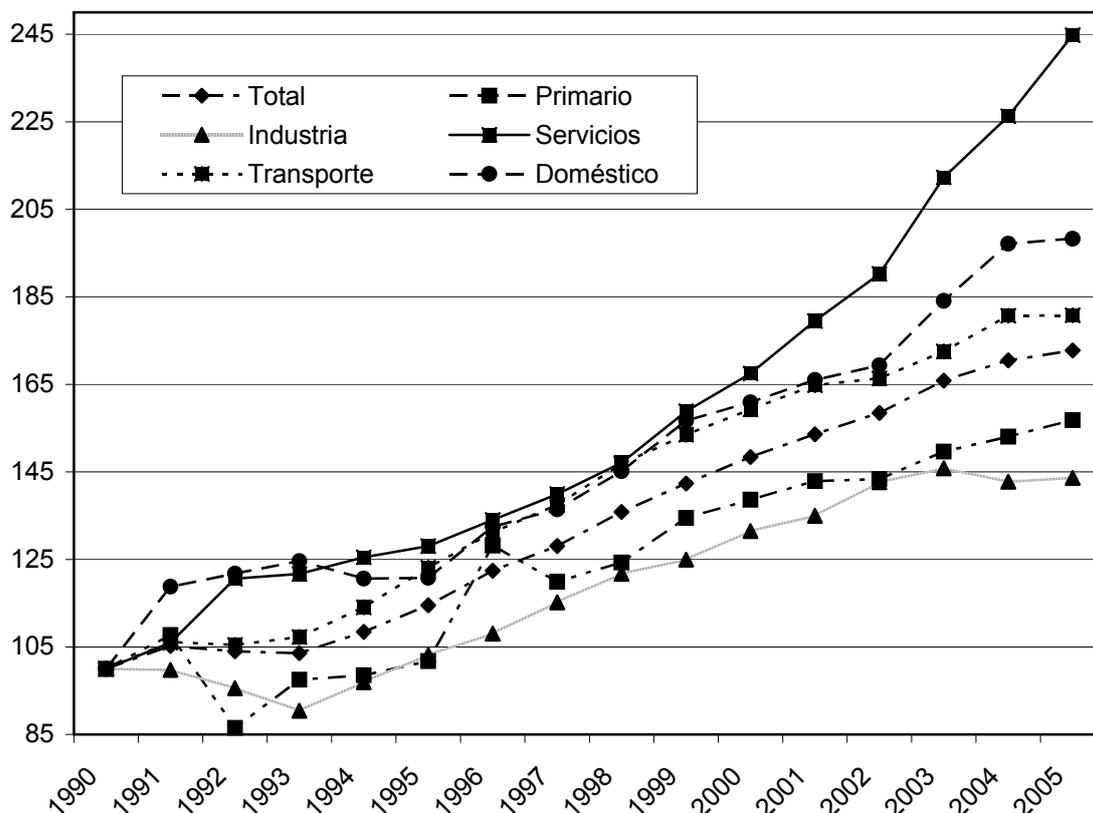
Como ya hemos apuntado, el objetivo del trabajo es analizar cuánta energía primaria se requiere para proveer los diferentes consumos finales de energía de empresas, ciudadanos y administraciones públicas. Comenzaremos, no obstante, dando una perspectiva general sobre la evolución de estos consumos finales.

No consideraremos el uso del propio sector de la energía, ya que este tiene, desde nuestro punto de vista, un papel meramente de proveedor y transformador de las energías primarias en energías disponibles para su uso. Nos interesan las energías disponibles para su uso.

En la Figura 1 podemos ver cómo evoluciona el total del consumo final de energía y los cinco componentes en que podemos dividirlo, según los datos disponibles, expresado en números índice (base 1990=100).

⁶ También hay que decir que, cuando hablamos de energía del transporte, nos referimos a una parte —la más importante, pero no la única— del ciclo total del transporte. En sentido más amplio, podríamos incluir —en una perspectiva de ciclo de vida— el gasto energético de hacer coches, construir y mantener carreteras,... (véase Estevan, 2005).

Figura 1. Evolución de los consumos finales de energía total y por sectores. Cataluña, 1990-2005, base 1990=100



uente: Elaboración propia a partir de los balances de energía facilitados por el ICAEN

F

En esta figura podemos ver dos comportamientos muy diferenciados. Por un lado, los sectores primario e industrial, para los cuales hay una cierta disminución en el consumo energético de los primeros años noventa, aunque en conjunto el aumento de consumo de energía es muy importante; por otro lado, los servicios, el transporte y el consumo residencial, con un aumento del consumo de energía durante prácticamente todos los años y relativamente mucho más importante para el conjunto del periodo de dieciséis años analizado.

En la Tabla 1 vemos el peso relativo sobre el consumo final de los cinco sectores considerados. Podemos ver cómo, desde el punto de vista del consumo final de energía, el transporte se ha convertido en la actividad más importante por encima de la industria. Al mismo tiempo, el transporte ha sido la actividad que, en términos absolutos, ha experimentado un mayor aumento en el consumo de energía.

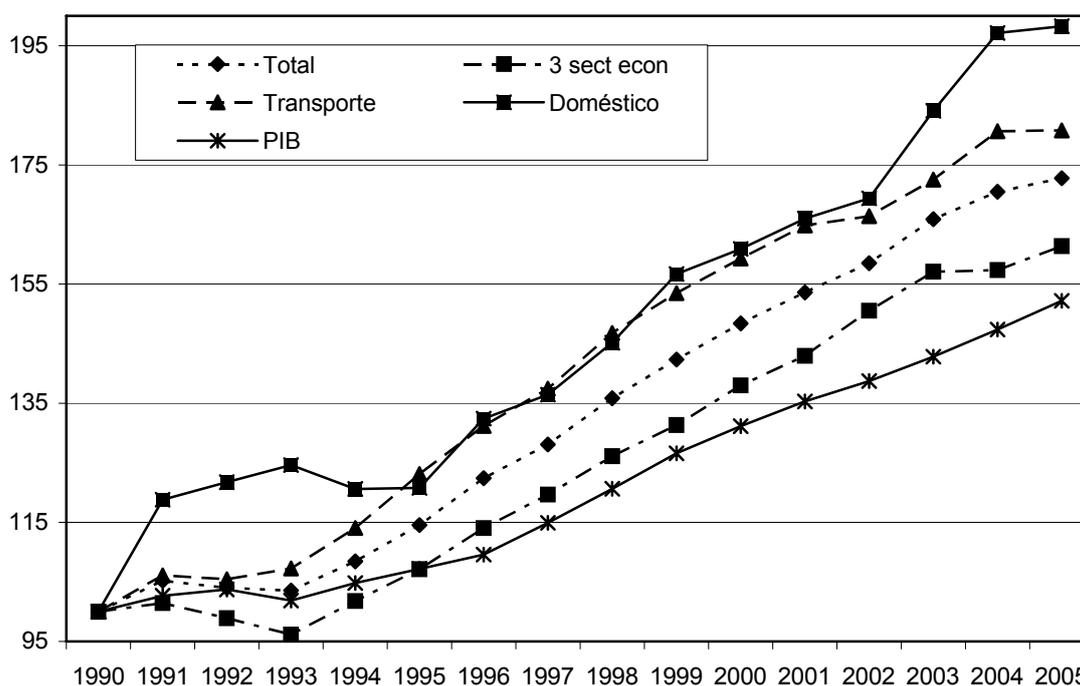
Tabla 1. Consumos finales de energía por sectores. Valores absolutos, peso relativo y variación. Cataluña, 1990-2005

	1990		2005		Aumento en términos absolutos	% aumento sobre aumento total
	ktep	% sobre el total	ktep	% sobre el total		
Primario	405,3	4,4	635,6	4,0	230,3	3,4
Industria	3605,9	39,1	5178,2	32,5	1572,3	23,4
Servicios	788,4	8,5	1930,0	12,1	1141,6	17,0
Transporte	3329,1	36,1	6018,4	37,7	2689,3	40,1
Doméstico	1099,9	11,9	2180,7	13,7	1080,8	16,1
Total	9228,6	100	15943,0	100	6714,4	100

Fuente: Elaboración propia a partir de los balances de energía facilitados por el ICAEN

En la Figura 2 aparece la comparación de la evolución del PIB catalán a precios constantes con la de los diferentes consumos finales de energía, ahora distinguiendo solo entre el total de los tres grandes sectores económicos (primario, industria y servicios excluido el transporte), el transporte (privado y comercial) y el doméstico. Podemos ver que, como tendencia, todos los consumos de energía superaron en crecimiento al PIB catalán, un hecho que refleja la creciente intensidad energética de la economía catalana.

Figura 2. Evolución de los consumos finales de energía total y por sectores y del PIB “real”. Cataluña, 1990-2005, base 1990=100



Fuente: Elaboración propia a partir de los balances de energía facilitados por el ICAEN. Para el PIB: serie homogénea a precios constantes.

Por lo que se refiere a las formas de energía final utilizadas, la Tabla 2 resume los cambios más significativos.

Tabla 2: Consumos finales de energía según tipo de energía. Valores absolutos y proporción respecto al total. Cataluña, 1990-2005

	1990		2005	
	ktep	% del total	ktep	% del total
Carbón	355,6	3,9	24,2	0,2
P. Petrolíferos	5195,4	56,3	8219,0	51,6
Gas	1437,0	15,6	3632,0	22,8
Residuos no renovables	0	0	44,4	0,3
Electricidad	2165,3	23,5	3873,5	24,3
Renovables	75,3	0,8	150,0	0,9
TOTAL	9228,6	100	15943,0	100

Fuente: Elaboración propia a partir de los balances de energía facilitados por el ICAEN.

Podemos ver cómo el consumo final de carbón —ya muy pequeño en 1990— prácticamente desaparece, mientras que las otras formas de energía crecen en valor absoluto. En peso relativo crece sobre todo el uso del gas; la electricidad también aumenta su peso, pero de forma mucho más moderada.

3. De los consumos finales de energía a los requerimientos de energía primaria: planteamiento metodológico y limitaciones

Tanto la prospectiva sobre usos futuros de energía como la política energética —en el momento de establecer prioridades— han de considerar no sólo cuáles son los consumos finales de energía, sino tener en cuenta el conjunto de requerimientos de energía primaria —su magnitud y su composición— que hacen posible este consumo final de energía. Es este requerimiento de energía primaria lo que determina la cantidad total de recursos que tenemos que extraer de la naturaleza (internamente o en otros lugares) y las presiones ambientales generadas.

Por otro lado, tanto para la prospectiva como para orientar las decisiones políticas, es fundamental saber cuáles son las responsabilidades relativas en el uso energético total de los diferentes tipos de actividades. Por ejemplo, es importante saber cuál es y cómo evoluciona el requerimiento de energía del transporte, del consumo residencial o de un determinado sector económico. La aproximación habitual de este análisis consiste en desagregar los datos sobre consumo (o demanda) final de energía tal y como hemos hecho en el apartado anterior. Esta perspectiva da una información importante, pero es insuficiente y puede llevar en ocasiones a conclusiones erróneas. Para poner un ejemplo, si una familia utiliza una cocina eléctrica y nos limitamos a medir este consumo de energía en forma de electricidad, nos olvidamos de que para obtener esta electricidad se ha tenido que disponer de una cantidad de energía primaria que es muy superior a la energía finalmente obtenida. Si nos fijamos sólo en el consumo final podríamos concluir que un uso creciente de electricidad por parte de los hogares o las industrias para obtener las mismas prestaciones o los mismos productos aumenta la “eficiencia energética”, cuando en realidad es posible que las necesidades totales de energía aumenten, si tenemos en cuenta toda la energía primaria disipada. Expresado en otros términos, es importante saber cuál es la energía (primaria) requerida para disponer de la energía utilizada por las industrias, los agricultores, los hogares, los servicios privados y públicos, etc.

El objetivo principal del trabajo es utilizar una metodología que es muy simplificada pero que permite dar una buena aproximación a partir de los datos disponibles en Cataluña sobre la evolución del total y la composición de la energía primaria necesaria para satisfacer las necesidades de los diferentes sectores económicos.

La idea básica de la metodología es partir de las relaciones energéticas (en términos físicos) input-output que nos proporcionan los balances energéticos de Cataluña para estimar los requerimientos directos e indirectos de energía primaria para proporcionar una unidad de las diferentes formas de energía final⁷.

Por ejemplo, para cada kg de equivalente petróleo en forma de electricidad en realidad necesitamos una energía mucho más grande, ya que hay que producir más electricidad porque una parte se pierde en las redes de distribución, se consume en las centrales eléctricas, se utiliza para bombear agua que se utilizará para obtener electricidad, etc.; además, y aún más importante, la

⁷ Para la explicación metodológica y la aplicación al conjunto de España, véase Alcántara y Roca (1995) y Alcántara y Roca (2003).

producción de esta electricidad en gran parte se hace en centrales térmicas (nucleares o alimentadas con combustibles fósiles) en las que la mayor parte de energía primaria se dispersa en forma de calor en el proceso de transformación. De la misma forma, el proceso de transformación de petróleo crudo en sus derivados utiliza energía, de forma que el uso de un quilogramo de equivalente petróleo en forma de productos derivados de petróleo comporta disponer de más de un quilogramo de petróleo crudo.

En el apartado siguiente ilustraremos la metodología a partir de los datos reales del año 2005.

El primer paso consiste en encontrar los coeficientes de energía (primaria y secundaria) directos por unidad de consumo final que se utilizan en procesos de transformación, consumos internos o en pérdidas de distribución. Estos serían los componentes de la matriz A de coeficientes energéticos, donde A es una matriz cuadrada de orden n ($n \times n$), siendo n el número total de tipos de energía (primaria y secundaria) considerados.

Como es habitual en la perspectiva input-output, si queremos calcular las necesidades totales —directas e indirectas— para disponer de una unidad de energía en sus diversas formas —por ejemplo, en forma de electricidad— tendremos que calcular la matriz inversa $(I - A)^{-1}$ donde I representa la matriz unitaria de orden n .

Como la matriz obtenida contendrá fuentes de energía primarias y secundarias, para evitar dobles contabilidades nos limitaremos a considerar las filas correspondientes a fuentes primarias de energía y las columnas correspondientes a energías secundarias. Hay que aclarar que algunas energías aparecerán con el mismo nombre como fuentes energéticas primarias y secundarias, como es el caso del carbón o el gas natural, mientras que otras sólo aparecerán como primarias (por ejemplo, nuclear) o secundarias (por ejemplo, electricidad).

Antes de pasar al ejemplo numérico señalaremos algunas limitaciones. La primera es que un análisis más completo requeriría tener en cuenta que parte de los usos que aquí se consideran como “finales” son en realidad utilizados para proveer al “sector energético”, como es el caso de la energía utilizada para producir los inputs industriales que se utilizan por parte de las centrales térmicas o en el transporte de carburantes. Esta limitación sólo podría superarse utilizando las tablas input-output del conjunto de la economía (que para la economía catalana reciente sólo están disponibles para el año 2001 y, además, requeriría disponer de una desagregación de los datos sectoriales de uso de energía superior a la que tenemos)⁸. Como consecuencia, estamos infravalorando la “energía requerida para disponer de energía”, pero pensamos que esta infravaloración es poco importante en la mayoría de casos. Hay, no obstante, una excepción ya apuntada anteriormente para una fuente energética hoy en día de muy poca importancia cuantitativa, pero que puede adquirir un peso creciente: se trata de los llamados “cultivos energéticos”. El motivo es que

⁸ Véase Anexo 1, sobre las posibilidades del análisis input-output con tablas “mixtas” y las dificultades para aplicarlo en Cataluña.

el sector agrario no se incorpora dentro de los balances energéticos al considerarse un sector no energético, pero consume una cantidad de energía considerable para la producción de la cosecha que se considera “energía primaria”.

Una segunda limitación proviene del ámbito territorial. Como partimos de los balances energéticos de Cataluña, sólo disponemos de información sobre la energía importada, transformada y utilizada en este ámbito. Así, no consideramos, por ejemplo, los gastos energéticos por extraer y transportar el petróleo o el carbón que se importa en la comunidad autónoma⁹. Esta es una razón adicional por la que nuestros cálculos infravaloran la energía necesaria para disponer de energía. De hecho, tampoco se están teniendo en cuenta los consumos energéticos producidos fuera de Cataluña para todos los bienes (energéticos o no) que se importan, de forma que si el “coste energético” de los bienes importados es superior al “coste energético” de los exportados, estaremos infravalorando el impacto asociado. A pesar de la relevancia de esta cuestión en la valoración de los impactos ambientales atribuibles a la comunidad catalana, queda fuera del alcance de este estudio.

En último lugar, nuestra perspectiva es muy agregada, de forma que, por ejemplo, considera implícitamente que cualquier usuario de electricidad arrastra las mismas necesidades de energía primaria por cada Kwh. utilizado y esto no es así. Por ejemplo, las instalaciones industriales que autoproducen electricidad o las casas aisladas con células fotovoltaicas no son responsables de las pérdidas de distribución y éstas también son diferentes según la tensión a que se distribuye electricidad. Con la información disponible del ICAEN, en el futuro podrían tenerse en cuenta estas diferencias para llegar a resultados más afinados.

4. Aplicación de la metodología al análisis de los consumos finales y requerimientos de energía primaria en Cataluña, 2005.

La matriz de la Tabla 3 resume la información que hemos obtenido a partir de los balances energéticos del año 2005. Las “entradas” se consideran en sentido muy amplio, incluyendo los “consumos en transformación” en sentido estricto, los “consumos propios del sector energético” y las “pérdidas de transporte y distribución”. Tanto el “consumo total de energía” como las “necesidades de energía” suman fuentes primarias y secundarias de forma que para saber cuánta energía primaria se utiliza hemos de evitar esta doble contabilidad.

La consideración de los saldos importadores de derivados de petróleo y la electricidad como fuentes de energía primaria requiere hacer un comentario

⁹ Que se podrían estimar si supiéramos la procedencia de las importaciones, los consumos energéticos de la extracción en los lugares de origen, los consumos de transformación y los de transporte. La importación (neta) de electricidad y de derivados de petróleo de Cataluña también la valoramos como si fuera una fuente de energía primaria por su contenido energético, aunque en el Anexo 2 presentaremos resultados sobre una valoración basada en cuánto supondría obtenerlos internamente.

específico, ya que en realidad derivan de transformar el crudo y de generar electricidad por diversos medios. La economía catalana importa y exporta productos refinados del petróleo y electricidad. Consideramos que una unidad importada se compensa con una unidad exportada, de forma que nos centramos sólo en cual es el saldo neto¹⁰.

Cuando el saldo es importador no podemos dejar de considerar, obviamente, que esta entrada de energía supone una mayor disponibilidad de energía primaria. Esto puede hacerse de dos formas. La primera opción, que es la que aquí hemos utilizado (como hace el ICAEN en sus balances), es tratar estas importaciones como una fuente de energía primaria valorada por su contenido energético, de forma que tendríamos dos nuevas fuentes de energía primaria: el saldo limpio de electricidad importada y el saldo limpio de derivados del petróleo importados. La segunda opción consistiría en estimar cuánta energía primaria es necesaria por obtener estas energías (véase Anexo 2). Cuando el saldo es exportador no aparece el problema señalado y en este caso consideramos —como es lógico— que esta energía exportada no forma parte de los requerimientos de energía primaria de Cataluña¹¹.

En la Tabla 4 reproducimos la matriz de relaciones directas E, donde los coeficientes se han calculado dividiendo las entradas por la disponibilidad total de cada una de las formas de energía, es decir, la suma de la requerida como input de los procesos de extracción, distribución y transformación energética más la destinada al consumo final (o a usos no energéticos o exportación limpia).

¹⁰ No obstante, mientras que la electricidad se puede considerar un producto homogéneo (y aún en este caso lo que importa es disponer de electricidad en un momento determinado del tiempo y en este sentido un Kwh. generado en un momento no es lo mismo que un Kwh. generado en otro momento), los derivados del petróleo son productos muy heterogéneos y esto explica los fuertes saldos importadores y exportadores que se dan.

¹¹ De hecho, en coherencia con nuestra metodología, en cálculos posteriores consideramos que toda la energía primaria necesaria utilizada en Cataluña para disponer de la energía (neta) exportada forma parte de los requerimientos de energía primaria de fuera de Cataluña. En cualquier caso, la diferencia para el periodo analizado es casi insignificante cuantitativamente.

Tabla 3. Entradas y salidas de energía en Cataluña, 2005 (en ktep)

	Carbón	Petróleo	Saldo ref. Petróleo	Gas natural	Biomasa	Solar térmica	Solar fotov.	Eólica	Nuclear	Hidráulica	Saldo elec. import.	Residuos renovables	Residuos no renovables	Bioetanol	Biodiésel	Biogás	Ref. Petróleo	Electricidad	Consumos intermedios	Consumo final	Usos no energéticos	Saldo energético exportador	CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA
Carbón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	237,2	237,2	24,2	0	0	261,3
Petróleo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9194,9	0	9194,9	0	0	0	9194,9
Saldo ref. Petróleo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3950,9	0	3950,9	0	0	0	3950,9
Gas natural	0	0	0	45,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69,7	3004,5	3120,1	3632	11	0	6763,1
Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	95,2	0	0	95,5
Solar térmica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,2	0	0	6,2
Solar fotovoltaica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,4	0	0	0	0,4
Eólica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,8	20,8	0	0	0	20,8
Nuclear	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5231	5231	0	0	0	5231
Hidráulica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	323,5	323,5	0	0	0	323,5
Saldo Elec. Import.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	599,6	599,6	0	0	0	599,6
R. Renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117,2	117,2	0	0	0	117,2
R. No renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,6	12,6	44,4	0	0	57
Bioetanol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,6	0	0	21,6
Biodiésel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	32,4	50,4
Biogás	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29,1	29,1	8,9	0	0	38
Ref. Petróleo	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1367,7	207,8	1576,6	8219	3338,6	0	13134,2
Electricidad	0,5	0,5	0	6,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50,5	598,8	657,1	3873,5	0	0	4530,6
Consumos intermedios	1,6	0,5	0	52,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14633,7	10382,6	25071	15943	3349,6	32,4	44.396,1
USOS TOTALES ENERGÍA (PRIMARIA Y SECUNDARIA)																							
Producción	74,5	163,0	0	2,0	95,5	6,2	0,4	20,8	5231,0	323,5	0	117,2	57,0	0	50,4	38,0	9183,3	3931,1				19.293,9	
Saldo Importador de energía	186,8	9031,8	3950,9	6761,1	0	0	0	0	0	0	599,6	0	0	21,6	0	0	3950,9	599,6				25.102,2	
Necesidades de energía	261,3	9194,9	3950,9	6763,1	95,5	6,2	0,4	20,8	5231,0	323,5	599,6	117,2	57,0	21,6	50,4	38,0	13134,2	4530,6				44.396,1	

total primaria (*) 26.698,9

(*) Total primaria es la suma de los consumos totales de energía excluyendo las fuentes secundarias (refinados de petróleo y electricidad) para evitar una doble contabilidad; al mismo resultado se llega sumando las necesidades de energía, de nuevo excluyendo las fuentes secundarias. Del total se excluye también el saldo energético exportador de biodiésel, que no forma parte de la energía primaria utilizada en Cataluña.

Tabla 4. Matriz de relaciones energéticas directas

	Carbón	Petróleo	Saldo refinados de petróleo	Gas natural	Biomasa	Solar térmica	Solar fotov.	Eólica	Nuclear	Hidráulica	Saldo import. electricidad	Residuos Renovables	Residuos no renovables	Bioetanol	Biodiésel	Biogás	Ref. Petróleo	Electricidad
Carbón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,052
Petróleo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0
Saldo refinado del petróleo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,301	0
Gas natural	0	0	0	0,007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,663
Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
Solar térmica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solar fotov.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
Eólica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005
Nuclear	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,155
Hidráulica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,071
Saldo import. de electricidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,132
Residuos renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,026
Residuos no renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,003
Bioetanol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiésel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogás	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,006
Refinados de petróleo	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,104	0,046
Electricidad	0,002	0,000	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,004	0,132

Fuente: Elaboración propia a partir de los balances de energía facilitados por el ICAEN. Para el significado de esta matriz véase la explicación metodológica del texto.

NOTA: En esta tabla y las siguientes, los valores 0 y 1 sin decimales se usan cuando el valor es exacto; en los otros casos hemos conservado los valores decimales, aún cuando los tres primeros valores son nulos.

La matriz de la Tabla 5 es la matriz inversa $(I - E)^{-1}$ pero suprimiendo las columnas que sólo corresponden a energías primarias y las hileras que sólo corresponden a energías finales. Es la matriz que efectivamente utilizamos para “traducir” los consumos finales en energías primarias. Tiene tantas filas como energías primarias consideradas y tantas columnas como energías secundarias consideradas (recuérdese que muchas formas de energía aparecen con el mismo nombre como primarias y secundarias).

Tabla 5. Matriz de necesidades de energía primaria ligadas a los diferentes tipos de consumos finales de energía, Cataluña, 2005

	Carbón	Gas natural	Biomasa	Solar térmica	Residuos no renovables	Bioetanol	Biodiésel	Biogás	Ref. Petróleo	Electricidad
Carbón	1,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,060
Petróleo	0,003	0,000	0	0	0	0	0	0	0,782	0,042
Saldo ref. Petróleo	0,001	0,000	0	0	0	0	0	0	0,336	0,018
Gas natural	0,001	1,008	0	0	0	0	0	0	0,009	0,771
Biomasa	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Solar térmica	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Solar fotovoltaica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
Eólica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,005
Nuclear	0,002	0,001	0	0	0	0	0	0	0,006	1,332
Hidráulica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,082
Saldo elec. Import.	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,001	0,153
Residuos renov.	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,030
Residuos no renov.	0,000	0,000	0	0	1	0	0	0	0,000	0,003
Bioetanol	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Biodiésel	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Biogás	0,000	0,000	0	0	0	0	0	1	0,000	0,007
Total primaria	1,009	1,009	1	1	1	1	1	1	1,134	2,503

Fuente: Elaboración propia a partir de los balances de energía facilitados por el ICAEN.

NOTA: Para el significado de esta matriz, véase la explicación metodológica del texto.

Los resultados para el año 2005 muestran que por cada unidad consumida de electricidad debemos considerar una equivalencia de algo más de 2,5 unidades de energía primaria. La composición de esta energía primaria fue la siguiente: más de la mitad en forma de calor nuclear (1,332); el gas natural tiene también un papel considerable (0,771); una importancia mucho más pequeña tuvieron el saldo eléctrico importador (0,153), la hidroelectricidad (sólo 0,082)¹² y el carbón y el conjunto “petróleo y sus derivados importados” (0,06 en los dos casos); las otras fuentes tuvieron un papel marginal. Podemos hacer el mismo tipo de análisis para los derivados del petróleo, para los cuales, evidentemente, la relación entre energía primaria total/consumo final es mucho más pequeña y las necesidades se concentran, como es lógico, de forma prácticamente total en petróleo crudo y en derivados importados ya transformados. Para diferentes formas de consumo —como biocarburantes— por la propia metodología no

¹² No olvidemos la forma de contabilización: véase nota 2.

captamos los gastos energéticos (véase nota 4) y para el caso del carbón y el gas natural aparecen muy infravalorados, ya que los consumos asociados a la extracción se hacen principalmente en otros territorios. Estas son, no obstante, limitaciones ya señaladas anteriormente.

Aplicando esta matriz a los consumos energéticos finales de los diferentes sectores obtenemos una estimación de las necesidades de energía primaria asociadas a estos consumos que aparecen en la Tabla 6, lo que aporta una perspectiva más completa que los simples datos de consumo final¹³.

Tabla 6. Requerimientos totales de energía primaria de las diferentes actividades, Cataluña, 2005

	Ktep	% sobre el total
Primario	769,8	3,4
Industria	7912,3	34,5
Servicios	3765,3	16,4
Transporte	6914,1	30,2
Doméstico	3540,1	15,5
Total	22901,6	100,0

Fuente: Elaboración propia a partir de los balances de energía facilitados por el ICAEN y de la metodología explicada en el texto.

Si comparamos esta tabla con la Tabla 1, vemos que, lógicamente, todos los datos son superiores en valor absoluto, pero la diferencia es particularmente grande en los servicios y el consumo doméstico; en cambio, para el transporte —que depende mucho menos del uso de electricidad— las diferencias son menos relevantes. En consecuencia, la “responsabilidad” del sector transporte en la demanda de energía pasa de ser de un 37,7% del total, cuando se mide en términos de consumo final, a un 30,2% si hacemos las estimaciones de energía primaria total, mientras que para los otros sectores (con la excepción del sector primario), la “responsabilidad” relativa aumenta cuando la medimos en términos de energía primaria total.

5. Los cambios en las matrices de transformación de Cataluña entre 1990-1992 y 2003-2005.

En este apartado nos referiremos a los cambios en las matrices de transformación de energía final a requerimientos de energía primaria que se han producido en todo el periodo considerado. En vez de considerar el año 2005 y el año 1990, hemos preferido utilizar las medias de los tres primeros y de los tres últimos años con el fin de que los datos no se vean muy influidos por factores muy específicos de un año concreto, como pueden ser una excepcionalmente alta o baja producción hidroeléctrica o un paro de la producción nuclear que pueden comportar, además, cambios importantes en los saldos de importación-exportación. Recordamos, no obstante, que los datos de 2004 y 2005 son provisionales.

¹³ Esta tabla no considera —como tampoco lo hacen las tablas anteriores— los usos no energéticos que sí consideraremos en apartados posteriores.

Tabla 7. Matriz de necesidades de energía primaria ligadas a los diferentes tipos de consumos finales de energía, Cataluña, 1990-1992.

	Carbón	Gas natural	Biomasa	Solar térmica	Residuos no renov.	Bioetanol	Biodiésel	Biogás	Ref. Petróleo	Electricidad
Carbón	1,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,090
Petróleo	0,002	0,006	0	0	0	0	0	0	1,156	0,103
Saldo ref. Petróleo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gas natural	0,000	1,041	0	0	0	0	0	0	0,000	0,118
Biomasa	0,000	0,000	1	0	0	0	0	0	0,000	0,003
Solar térmica	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Solar fotovoltaica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
Eólica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
Nuclear	0,007	0,005	0	0	0	0	0	0	0,010	2,407
Hidráulica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,001	0,141
Saldo elec. Import	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,071
Residuos renov.	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,024
Residuos no renov.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Bioetanol	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Biodiésel	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Biogás	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Total primaria	1,010	1,053	1	1	1	1	1	1	1,168	2,957

Fuente: Elaboración propia a partir de los balances de energía facilitados por el ICAEN y de la metodología explicada en el texto.

Tabla 8. Matriz de necesidades de energía primaria ligadas a los diferentes tipos de consumos finales de energía. Cataluña 2003-2005

	Carbón	Gas natural	Biomasa	Solar térmica	Residuos no renov.	Bioetanol	Biodiésel	Biogás	Ref. Petróleo	Electricidad
Carbón	1,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,054
Petróleo	0,004	0,000	0	0	0	0	0	0	0,767	0,044
Saldo ref. Petróleo	0,002	0,000	0	0	0	0	0	0	0,351	0,020
Gas natural	0,001	1,009	0	0	0	0	0	0	0,009	0,650
Biomasa	0,000	0,000	1	0	0	0	0	0	0,000	0,000
Solar térmica	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Solar fotovoltaica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
Eólica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,005
Nuclear	0,003	0,002	0	0	0	0	0	0	0,007	1,564
Hidráulica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,115
Saldo elec. Import.	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,101
Residuos renov.	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,034
Residuos no renov.	0,000	0,000	0	0	1	0	0	0	0,000	0,003
Bioetanol	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Biodiésel	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Biogás	0,000	0,000	0	0	0	0	0	1	0,000	0,007
Total primaria	1,011	1,011	1	1	1	1	1	1	1,135	2,595

Fuente: Elaboración propia a partir de los balances de energía facilitados por el ICAEN y de la metodología explicada en el texto.

Con la metodología explicada anteriormente hemos llegado a las matrices de transformación de las Tablas 7 y 8. El cambio más relevante es la disminución en la energía primaria que estimamos que se ha utilizado de media para obtener una unidad de electricidad; de 2,96 a 2,59. Detrás de esta disminución pueden haber fenómenos muy diferentes. Así, una mejora en la eficiencia en la distribución de electricidad que hubiera disminuido las pérdidas influiría en esta dirección. El otro factor clave tiene que ver con cuáles son las fuentes de energía primaria a partir de las cuales se obtiene electricidad. En este sentido, el cambio más importante en la composición media por fuentes de energía primaria que se utilizan para obtener una unidad de electricidad han sido que mientras que para cada unidad de electricidad a principios de los 1990s se gastaban 2,41 unidades de calor nuclear, ahora —debido al menor peso relativo de la energía nuclear en el *mix* eléctrico— se gastan 1,56; en cambio, las necesidades de gas natural han aumentado claramente de 0,12 unidades a 0,65 unidades, reflejando el creciente peso de las centrales térmicas de este combustible. Este cambio de energía nuclear a gas reduce las pérdidas de la transformación de calor en electricidad, dada la mayor eficiencia de las centrales de gas. Todas las otras variaciones en la composición del *mix* eléctrico son de menor cuantía: el carbón, el total “crudo y saldo importador de derivados” y la hidroelectricidad disminuyen, mientras que aumentan el saldo eléctrico importador, los recursos renovables (incineradoras de residuos), el biogás y la energía eólica. Los saldos importadores de electricidad también aumentan su peso y este es otro de los factores (pero no el único) que contribuye —en este caso de forma sólo aparente debido a que no se

consideran las transformaciones externas— a la disminución de la energía primaria necesaria para disponer de energía (véase Anexo 2). La reducción de la energía primaria necesaria para disponer de los derivados de petróleo sí que se explica con toda probabilidad por el “ahorro” energético que comporta la importación de productos ya refinados.

6. Los factores explicativos de los cambios en los requerimientos de energía primaria asociados al consumo final: metodología

Desde los años 1970s, el análisis energético y ambiental ha utilizado de forma creciente técnicas de descomposición en diversos factores o efectos para analizar los cambios en el uso de energía y/o en las emisiones contaminantes. Ya hace años, Ang y Zhang (2000) identificaron más de un centenar de estudios en este sentido. Cuando la metodología que se utiliza es la del enfoque input-output es usual utilizar el término “análisis de descomposición estructural” para referirse a este tipo de descomposición (Hoekstra, 2005). Como ya hemos indicado, nuestra perspectiva utiliza parcialmente el análisis input-output, ya que parte de la matriz de relaciones energéticas.

Nuestro análisis explica los cambios totales (“efecto total”) en las necesidades de energía primaria —y en sus componentes— a partir de la descomposición en tres efectos o factores que son: el cambio en el nivel de consumo final de los diferentes sectores (“efecto actividad”), los cambios entre diferentes tipos de energías finales (“efecto sustitución”) y los cambios en las necesidades de energía primaria para disponer de las energías finales (“efecto transformación”).

Los requerimientos de energía primaria de un periodo pueden expresarse como una matriz E ($j \times s$) donde j es el número de fuentes primarias consideradas (carbón, nuclear,...) y s el número de actividades consideradas (primaria, doméstica, transporte,...).

$$E = T * P * \hat{C}$$

T representa la matriz de transformación de consumos finales de energía a energías primarias y es de orden $j \times k$ (k es el número de energías finales consideradas). P es una matriz que representa los pesos relativos de cada forma de energía final en las diferentes actividades y es de orden $j \times k$. \hat{C} es una matriz diagonal que tiene por diagonal principal los consumos finales de cada actividad y es de orden $s \times s$.

Las variaciones de los requerimientos de energía primaria entre dos periodos se puede expresar como:

$$\Delta E = E_1 - E_0 = T_1 * P_1 * \hat{C}_1 - T_0 * P_0 * \hat{C}_0 = \Delta T_{\text{efecto}} + \Delta P_{\text{efecto}} + \Delta \hat{C}_{\text{efecto}}$$

Los tres efectos corresponden a los que hemos denominado “transformación” (derivados de los cambios en T , “sustitución” (cambios en P) y “actividad” (cambios en \hat{C}).

Como se ha discutido en la literatura sobre la descomposición en factores, se podrían adoptar diversas técnicas de descomposición. La más “intuitiva” es calcular cada efecto como los cambios que se hubieran producido si sólo hubiera cambiado el factor considerado manteniéndose los otros invariables en el su valor inicial. Asimismo, esta alternativa —que se llama a menudo de tipo “Laspeyres”— no da una descomposición exacta, de forma que el efecto total normalmente no coincide con la suma de los diferentes efectos considerados (en nuestro caso tres) ya que aparecen interacciones entre los efectos. Esta es la razón principal por la cual muchos estudios aplican otras técnicas de descomposición para obtener una descomposición exacta. Aquí adoptamos la propuesta de Sun (1998) que distribuye los efectos y la interacción entre los diferentes efectos aplicando el principio “conjuntamente creado, igualmente distribuido”. Es decir:

$$\Delta T_{\text{efecto}} = \Delta T * P_0 * \hat{C}_0 + 1/2 (\Delta T * \Delta P * \hat{C}_0) + 1/2 (\Delta T * P_0 * \Delta \hat{C}) + 1/3 ((\Delta T * \Delta P * \Delta \hat{C}))$$

$$\Delta P_{\text{efecto}} = T_0 * \Delta P * \hat{C}_0 + 1/2 (\Delta T * \Delta P * \hat{C}_0) + 1/2 (T_0 * \Delta P * \Delta \hat{C}) + 1/3 ((\Delta T * \Delta P * \Delta \hat{C}))$$

$$\Delta C_{\text{efecto}} = T_0 * P_0 * \Delta \hat{C} + 1/2 (\Delta T * P_0 * \Delta \hat{C}) + 1/2 (T_0 * \Delta P * \Delta \hat{C}) + 1/3 ((\Delta T * \Delta P * \Delta \hat{C}))$$

7. Los factores explicativos de los cambios en los requerimientos de energía primaria asociados al consumo final: Cataluña 1990-1992/2003-2005

Pasaremos ahora a presentar los resultados del análisis de efectos aplicada a los cambios entre la media de los años 1990-1992 y la media de los años 2003-2005.

Para tener en cuenta todos los usos de la energía primaria hemos incorporado no sólo los diferentes sectores de consumo final de energía, sino también los “usos no energéticos” —particularmente los derivados del petróleo utilizados para la industria química— contando no sólo su valor energético, sino también la energía estimada para obtenerlos. No hemos considerado, en cambio, las exportaciones netas de productos energéticos que, de hecho, no forman parte de las necesidades internas de energía primaria y que, en cualquier caso, representan una parte muy pequeña del total y prácticamente no afectan al resultado¹⁴.

¹⁴ Para los años 1990-1992 se trata de la exportación de 89,9 ktps de derivados de petróleo y para los años 2002-2005 de 10,8 ktps de biodiesel. Los saldos importadores o exportadores siempre los hemos considerado a partir del total de los tres años.

Tabla 9. Efectos por sectores. Cambios en valores absolutos (kteps). Mediana de 2003-2005 respecto a mediana de 1990-1992. Cataluña

	Transformación	Sustitución	Actividad	Total
Primario	-26,7	-1,6	278,0	249,7
Industria	-608,8	-26,0	2.659,9	2.025,0
Servicios	-320,5	75,4	2.007,7	1.762,7
Transporte	-175,0	-28,2	2.892,5	2.689,3
Doméstico	-282,4	-91,7	1.541,3	1.167,2
Usos no energéticos	-85,4	-0,4	1.570,2	1.484,4
Total	-1.498,9	-72,5	10.949,6	9.378,2

Fuente: Elaboración propia a partir de los balance de energía facilitados por el ICAEN y de la metodología explicada en el texto.

Entre los dos periodos señalados, las necesidades de energía primaria de Cataluña crecieron (la media anual de los tres años considerados) en más de 9 millones de teps. La Tabla 9 resume los diferentes efectos que explican este aumento. En esta tabla, la desagregación de los efectos se hace por actividades (o “sectores”). Puede destacarse que —según esta perspectiva— el sector que más contribuye al aumento es el transporte, pero el sector industrial, de servicios y el doméstico también impulsan considerablemente el crecimiento como también lo hacen los usos no energéticos. Recordemos que el análisis en términos de energía primaria “amplifica” el papel relativo de los sectores con más peso de demanda eléctrica: si actualmente el consumo final del transporte ya supera al de toda la industria, no es así en términos de la energía primaria estimada para proveer el consumo final, que es aún superior en el caso del sector industrial.

Como era de esperar, el “efecto actividad” —debido al aumento de los consumos finales— es el más importante de los tres, y con diferencia y para todas las actividades. De los comentarios de un apartado anterior, ya podíamos esperar también que el “efecto transformación” —es decir, de la reducción de la energía primaria necesaria para disponer de una unidad de las diferentes formas de energía final¹⁵— tenga en todos los casos el efecto de disminuir las necesidades de energía primaria, que es más fuerte en aquellos sectores de demanda que más dependen de la electricidad. El “efecto sustitución”, que tiene mucha relevancia —como veremos— para explicar las variaciones en los requerimientos de algunas fuentes de energía primaria, no tiene, en cambio, demasiada relevancia para explicar los cambios en el total de energía primaria del periodo analizado.

¹⁵ Recordemos, no obstante, que una parte de esta mejora puede ser explicada por un mayor uso de electricidad y porque se pasa a un saldo importador de derivados de petróleo.

Tabla 10. Efectos por fuentes energéticas. Cambios en valores absolutos (kteps). Media de 2003-2005 respecto a media de 1990-1992. Cataluña

	Transformación	Sustitución	Actividad	Total
Carbón	-109,6	-288,8	172,7	-225,6
Petróleo	-3.844,7	-637,9	4.733,8	251,2
Saldo ref. Petróleo	3.355,1	-128,8	845,5	4.071,8
Gas natural	1.588,6	929,2	1.727,2	4.245,0
Biomasa	-9,5	-18,5	38,9	11,0
Solar térmica	0,0	3,5	1,0	4,4
Solar fotovoltaica	0,2	0,0	0,1	0,2
Eólica	13,9	0,0	3,5	17,5
Nuclear	-2.561,1	0,3	3.033,0	472,3
Hidráulica	-81,0	0,0	195,7	114,8
Saldo elec. Import.	89,2	0,1	131,3	220,5
R. Renov.	29,6	0,0	44,3	73,9
R. no renov.	10,0	36,7	9,4	56,1
Bioetanol	0,0	17,0	4,5	21,5
Biodiésel	0,0	8,8	2,3	11,1
Biogás	20,4	5,9	6,4	32,6
Total primaria	-1.498,9	-72,5	10.949,6	9.378,2

Fuente: Elaboración propia a partir de los balance de energía facilitados por el ICAEN y de la metodología explicada en el texto.

La Tabla 10 muestra el análisis del efecto total y de los diferentes efectos pero con una desagregación no por actividades sino por fuentes energéticas. Podemos ver como el “efecto actividad” sobre todo provoca el aumento de necesidades de petróleo crudo (y de los derivados del petróleo importados), un resultado lógico a causa el papel clave del aumento del uso de energía para el transporte por carretera. Los aumentos de las fuentes de obtención de electricidad (sobre todo nuclear) y de gas natural a consecuencia de este factor también son remarcables. Por lo que respecta al “efecto sustitución”, si bien su efecto sobre el total de energía primaria es muy pequeño, sí que explica una gran parte del aumento de la demanda de gas natural que se debe al creciente peso relativo del gas natural en el consumo final de industrias, servicios y residencial a costa de los derivados de petróleo y a costa también (en el caso industrial) del carbón. En último lugar, el “efecto transformación” implica — como decíamos— una disminución de los requerimientos totales de energía primaria, pero en términos más desagregados podemos ver cómo hace aumentar los requerimientos de gas natural (ya que este combustible fósil se utiliza mucho más en la producción de energía eléctrica) a costa sobre todo de la energía nuclear que pierde peso relativo (pero no absoluto) en la generación de electricidad; la disminución de las necesidades de petróleo crudo responde, en cambio, básicamente al —antes inexistente— saldo importador de derivados del petróleo ya refinados que en nuestra metodología aparece como una forma de energía primaria para poder disponer de derivados de petróleo. También puede verse cómo el saldo importador de electricidad contribuye más a la oferta eléctrica.

Puede observarse que en los comentarios anteriores no hemos hecho ninguna referencia a fuentes energéticas “nuevas” como la eólica, el biogás o los biocarburantes. La razón es que los comentarios se han centrado en las

variaciones más importantes en términos absolutos y hoy por hoy estas fuentes, a pesar de su gran incremento, son aún marginales dentro de la oferta total de energía.

En el Anexo 3 aparecen las tablas desagregadas combinando sectores de demanda o actividad y fuentes energéticas. Estas tablas permiten un análisis más detallado de los cambios en la matriz E a los cuales nos referíamos y de los tres efectos explicativos combinando las dos variables: tipo de fuente energética y tipo de actividad.

8. Conclusiones

En este trabajo hemos analizado la evolución del consumo final de energía durante el período 1990-2005 y hemos visto como los consumos finales de energía crecen por encima del crecimiento del PIB en términos reales. Los aumentos relativos más importantes se producen en el sector servicios, doméstico y en el transporte; es esta última actividad (que incluye el transporte privado y el comercial) la que experimenta un mayor aumento en términos absolutos hasta llegar a representar un consumo final de energía superior incluso al del sector industrial.

Si en vez de hacer el análisis en términos de consumo final de energía, lo hacemos en términos de los requerimientos de energía primaria que permiten este consumo final de energía, podemos ver que el transporte, a pesar de su gran importancia, “arrastra” menos energía primaria que el sector industrial.

En el conjunto del periodo analizado, la energía primaria necesaria para disponer de las diferentes formas de energía final experimenta cambios significativos. El cambio más relevante es la disminución en la energía primaria que estimamos que se ha utilizado de media para obtener una unidad de electricidad —de 2,96 los años 1990-1992 a 2,59 los años 2003-2005— y aún más importante es el cambio en la composición media por fuentes de energía primaria que se utilizan para obtener una unidad de electricidad; mientras que para cada unidad de electricidad a principios de los 1990s se gastaban 2,41 unidades de calor nuclear, en los años finales —debido al menor peso relativo de la energía nuclear en el *mix* eléctrico— se gastaban 1,56; en cambio, las necesidades de gas natural aumentaron claramente: de 0,12 unidades a 0,65 unidades, reflejando el creciente peso de las centrales térmicas de este combustible.

Los importantes cambios en las necesidades totales de energía primaria de Cataluña entre 1990-1992 y 2003-2005 han sido analizados mediante una descomposición en tres efectos o factores: efecto actividad (debido a los cambios en los niveles de consumo final de energía), efecto sustitución (debido a los cambios en la composición del consumo final de energía) y efecto transformación (debido a los cambios en la matriz de transformación energética que relaciona consumos finales de energía con requerimientos de energía primaria).

El efecto actividad —debido al aumento de los consumos finales— es el más importante de los tres, y con diferencia y para todas las actividades. El efecto actividad provoca un aumento de los requerimientos de todas las fuentes energéticas, pero particularmente del petróleo, debido al papel del transporte y también a la creciente demanda de derivados de petróleo para “usos no energéticos”.

El efecto transformación hace disminuir las necesidades de energía primaria, y esta disminución es más fuerte en aquellos sectores de demanda que más dependen de la electricidad. El efecto sustitución, que tiene mucha relevancia para explicar las variaciones en los requerimientos de algunas fuentes de energía primaria no tiene, en cambio, demasiada relevancia para explicar los cambios en el total de energía primaria para el periodo analizado.

Los requerimientos de energía primaria que más crecen son los de gas natural, debido a que tanto el efecto transformación (mayor proporción de producción eléctrica en térmicas de gas) como el “efecto sustitución” (creciente peso relativo del gas natural en el consumo final de industrias, servicios y residencial) son importantes y se suman al efecto actividad. En cambio, el uso de energía nuclear aumenta poco en términos absolutos debido a que el efecto transformación (pérdida de peso relativo de la electricidad de origen nuclear) actúa en dirección contraria al efecto actividad. La única fuente de energía primaria que disminuye en términos absolutos es el carbón y eso es debido a que el efecto transformación (menor uso en el sector energético) y sustitución (menor uso en el consumo final) más que contrarrestan el efecto actividad. Por último, hay que destacar como en los años 2003-2005 hay una importante dependencia de la importación de derivados del petróleo ya refinados, mientras que en el conjunto del periodo 1990-1992 el saldo global de estos derivados en unidades energéticas fue exportador.

Agradecimientos

Vicent Alcántara Escolano y Emilio Padilla Rosa agradecen el apoyo de los proyectos 2005SGR-177 y XREPP (Dirección General de Investigación, Departamento de Innovación, Universidades y Empresa), y SEJ2006-4444 (Ministerio de Ciencia y Tecnología). Jordi Roca Jusmet agradece el apoyo del proyecto SEJ2006-15219 (Ministerio de Ciencia y Tecnología).

Referencias

Alcántara, V., (2003) Comptabilitat satèl·lit del medi ambient (<http://www.idescat.net/cat/idescat/formacioerca/formacio/CS%20Medi%20Ambient.pdf>).

Alcántara, V. y Roca, J., (1995) "Energy and CO₂ emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980-90", *Energy Economics*, vol.17, n.3.

Alcántara, V. y Roca, J., (2003) "Consumo energético y actividad económica: Sobre el uso de los balances energéticos desde una perspectiva input-output" en Campos Palacín, P. y J. M. Casado Raigón (coord.), *Contabilidad Nacional Ambiental Integrada*, 2003, Consejo General de Colegios de Economistas de España, Madrid, pp. 163-178.

Ang, B.W., y Zhang, F.Q., (2000), "A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies", *Energy*, 25: 1149-1176.

Casler, S. y Wilbur, S., (1984) "Energy input-output analysis. A simple guide", *Resource and Energy*, vol. 6, 187-201.

Estevan, A. (2005) "Modelos de transporte y emisiones de CO₂ en España", *Revista de Economía Crítica*, n. 4, 67-87.

Hoekstra, R., (2005). *Economic Growth, Material Flows and the Environment*. Edward Elgar, Cheltenham.

Martínez Alier, J. y Roca Jusmet, J., (2001) *Economía ecológica y política ambiental*, Fondo de Cultura Económica, México, segunda edición corregida y aumentada.

Sun, J.W., 1998, "Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model", *Energy Economics*, 20: 85-100.

Anexo I. Las tablas input-output aplicadas al análisis energético: posibilidades y dificultades en Cataluña.

En nuestra opinión, una herramienta muy potente para llevar a cabo un análisis que relacione presiones ambientales —tanto desde el punto de vista del uso de recursos como de los flujos de residuos— con actividades económicas es el uso de tablas input-output¹⁶. Las tablas input-output tradicionales se limitan a reflejar las transacciones monetarias entre sectores económicos y desde los sectores económicos a la demanda final, pero pueden aplicarse al análisis energético-ambiental siempre que se complementen estas tablas con información de entradas o salidas en términos físicos (sistemas NAMEA) o que todas o algunas transacciones estén expresadas en términos físicos.

En el caso del análisis energético —y también de las emisiones de CO₂— creemos que la mejor alternativa es utilizar matrices “híbridas” o mixtas, es decir, matrices en las cuales las transacciones entre los sectores energéticos estén expresadas en unidades energéticas (como por ejemplo kilogramos de equivalente petróleo) de forma que tendremos unas matrices expresadas en las siguientes unidades:

	Sectores energéticos	Sectores no energéticos
Sectores energéticos	Unidades de energía/unidad energía	Unidades de energía/unidad monetaria
Sectores no energéticos	Unidades monetaria/unidad de energía	Unidades monetarias/unidad monetaria

Tal y como hacemos en el análisis tradicional input-output con la llamada matriz de Leontief, podemos calcular la inversa de $(I - A)$, donde A es la matriz de coeficientes anterior¹⁷. Las unidades de esta matriz inversa son las mismas que las de la matriz inicial.

Esta perspectiva es la mejor forma de calcular la energía total —directa e indirecta— para disponer de cada unidad de energía final o el coste energético total de cada unidad de demanda final de cada sector económico. El problema práctico es que normalmente no disponemos de este tipo de tablas en unidades mixtas.

Para el caso concreto de Cataluña, las únicas tablas input-output económicas de las últimas décadas disponibles, elaboradas por Idescat, son las del año 2001¹⁸. Por tanto, hasta si completáramos estas tablas con informaciones energéticas, nos encontraríamos con la imposibilidad de hacer un análisis de tendencias y nos tendríamos que limitar a un análisis estático. Además, como

¹⁶ Véase capítulo I de Martínez Alier y Roca Jusmet (2001).

¹⁷ Véase, por ejemplo, Casler y Wilbur (1984).

¹⁸ Para un análisis más detallado sobre las posibilidades de ampliar las tablas input-output de Cataluña para el análisis energético y ambiental véase Alcántara (2003).

hemos comentado, no disponemos de datos energéticos referentes a los diferentes sectores económicos más allá de la desagregación en sector primario, industrial (con construcción) y servicios (diferentes del transporte); tampoco tenemos datos separados del transporte privado y el transporte empresarial.

A pesar de estas limitaciones, pensamos que en un futuro, una línea de investigación prioritaria debería ser el uso de tablas input-output para el análisis energético

Anexo II. El tratamiento de los saldos importadores de electricidad y de derivados de petróleo

Como hemos apuntado en el texto, ni la electricidad ni los productos derivados del petróleo son fuentes primarias de energía, aunque los tratemos como tales cuando son importados o —más exactamente— así tratamos la diferencia entre las importaciones y exportaciones de un periodo cuando esta diferencia es positiva.

Otra opción metodológica para tratar estos saldos importadores de energías transformadoras sería estimar la energía primaria necesaria para obtenerlos. Esto, por su lado, se podría enfocar de dos formas. Primero, analizando la energía efectivamente utilizada en los lugares donde ha sido producida; segundo, considerando la energía que nos ahorramos en no producirlas internamente. Estos dos enfoques sólo coincidirían si las tecnologías fueran iguales en otros lugares que en el territorio estudiado. El enfoque más habitual en el análisis input-output es el segundo, ya que para aplicar el primero necesitaríamos conocer las tecnologías utilizadas en los lugares donde se obtienen estas energías.

El argumento a favor de hacer alguna estimación de las necesidades de energía primaria es que evita que las fluctuaciones en los saldos importadores de energías transformadas den una imagen sesgada de la evolución de los requerimientos de energía primaria. Una creciente importación (neta) de electricidad y de derivados del petróleo aparecería estadísticamente como una mayor “eficiencia en el uso de energía primaria”, cuando en realidad no reflejaría una mejora genuina, sino un traslado a otros países de las pérdidas de transformación. El argumento en contra es, no obstante, que el supuesto de obtención con las mismas técnicas es arbitrario o incluso imposible. Por ejemplo, el caso más claro de posible asignación es el de la electricidad donde se pueda hacer el supuesto de que la electricidad se habría obtenido con el mismo mix eléctrico de la región analizada. Podría argumentarse que esto —por ejemplo, aumentar la producción nuclear— hubiera sido imposible y una mayor producción eléctrica hubiera cambiado la composición —por ejemplo, acudiendo más a centrales de carbón. En el caso de los derivados del petróleo, la cuestión aún es más compleja, porque agregamos productos muy diferentes, hasta el punto de que el saldo es poco representativo.

A pesar de estas consideraciones, la Tabla 11 presenta los resultados que obtendríamos para el año 2005 bajo la hipótesis de producción interna —con la tecnología catalana— del saldo importador de electricidad y de derivados de petróleo. Con esta metodología, los saldos importadores de electricidad y derivados del petróleo importados desaparecen como fuentes primarias y son substituidos por la energía primaria que suponemos necesaria para obtenerlos.

De esta forma, las necesidades totales de energía primaria asociadas a la electricidad y a los derivados de petróleo aumentan, pasando de 2,5 a 2,78 y de 1,13 a 1,2 respectivamente (resultado de comparar la Tabla 11 con la Tabla

5). Recordemos que estos resultados están basados en hipótesis muy discutibles y, en cualquier caso, nunca tenemos en cuenta la energía asociada a la extracción de carbón, crudo y gas natural importados.

Tabla 11. Matriz de necesidades de energía primaria ligadas a los diferentes tipos de consumos finales de energía con la hipótesis de producción interna del saldo importador de electricidad y de derivados de petróleo, Cataluña, 2005

	Carbón	Gas natural	Biomasa	Solar térmica	Residuos no renov.	Bioetanol	Biodiésel	Biogás	Ref. Petróleo	Electricidad
Carbón	1,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,071
Petróleo	0,005	0,000	0	0	0	0	0	0	1,177	0,074
Gas natural	0,002	1,008	0	0	0	0	0	0	0,015	0,910
Biomasa	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Solar térmica	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Solar fotovoltaica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
Eólica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,006
Nuclear	0,003	0,002	0	0	0	0	0	0	0,010	1,572
Hidráulica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,001	0,097
Residuos renov.	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,035
Residuos no renov.	0,000	0,000	0	0	1	0	0	0	0,000	0,004
Bioetanol	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Biodiésel	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Biogás	0,000	0,000	0	0	0	0	0	1	0,000	0,009
Total primaria	1,010	1,010	1	1	1	1	1	1	1,204	2,778

Fuente: Elaboración propia a partir de los balance de energía facilitados por el ICAEN y de la metodología explicada en el texto.

Anexo II. Tablas detalladas sobre descomposición en diferentes efectos de los cambios en los requerimientos de energía en Cataluña entre 1990-1992 y 2003-2005

A continuación se presentan los datos detallados sobre la contribución de cada efecto en los requerimientos de energía en Cataluña en el periodo estudiado.

Tabla 12. Efecto total (Ktep)

	Primario	Industria	Servicios	Transporte	Doméstico	Usos no energéticos	Suma
Carbón	-0,2	-231,1	15,0	-0,9	-7,6	-0,9	-225,6
Petróleo	6,3	-326,7	-72,3	525,2	-189,9	308,6	251,2
Saldo ref. Petróleo	201,0	459,7	93,6	2043,3	137,6	1136,6	4071,8
Gas natural	34,3	2083,5	970,8	91,6	1028,9	35,8	4245,0
Biomasa	1,7	-37,8	7,5	-0,2	39,7	0,0	11,0
Solar térm.	0,0	0,1	0,7	0,0	3,5	0,0	4,4
Solar fotov.	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2
Eólica	0,2	7,6	5,3	0,4	3,8	0,1	17,5
Nuclear	0,4	-140,2	563,3	-11,4	57,7	2,5	472,3
Hidráulica	0,9	29,8	59,7	1,4	22,4	0,5	114,8
Saldo elec. Import.	2,1	86,2	79,8	4,6	46,9	0,8	220,5
R. Renov.	0,7	28,9	26,8	1,5	15,7	0,3	73,9
R. No renov.	0,1	49,1	3,8	0,3	2,7	0,0	56,1
Bioetanol	0,0	0,0	0,0	21,5	0,0	0,0	21,5
Biodiésel	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0	0,0	11,1
Biogás	2,1	15,7	8,5	0,6	5,6	0,1	32,6
Total primaria	249,7	2025,0	1762,7	2689,3	1167,2	1484,4	9378,2

Fuente: Elaboración propia a partir de los balance de energía facilitados por el ICAEN y de la metodología explicada en el texto.

Tabla 13. Efecto transformación (Ktep)

	Primario	Industria	Servicios	Transporte	Doméstico	Usos no energéticos	Suma
Carbón	-1,1	-50,6	-30,1	-2,8	-24,5	-0,4	-109,6
Petróleo	-185,6	-537,8	-134,3	-1798,6	-191,9	-996,5	-3844,7
Saldo ref. Petróleo	166,3	430,6	91,8	1620,2	147,3	898,8	3355,1
Gas natural	19,6	699,0	435,9	70,2	342,5	21,3	1588,6
Biomasa	-0,1	-4,4	-2,6	-0,2	-2,1	0,0	-9,5
Solar térm.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Solar fotov.	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Eólica	0,1	6,4	3,8	0,4	3,1	0,1	13,9
Nuclear	-26,8	-1183,5	-703,9	-66,0	-572,1	-8,8	-2561,1
Hidráulica	-0,8	-37,5	-22,2	-2,1	-18,1	-0,3	-81,0
Saldo elec. Import.	0,9	41,1	24,6	2,3	19,9	0,3	89,2
R. Renov.	0,3	13,6	8,2	0,8	6,6	0,1	29,6
R. No renov.	0,1	4,6	2,7	0,3	2,2	0,0	10,0
Bioetanol	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biodiésel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biogás	0,2	9,4	5,6	0,5	4,6	0,1	20,4
Total primaria	-26,7	-608,8	-320,5	-175,0	-282,4	-85,4	-1498,9

Fuente: Elaboración propia a partir de los balance de energía facilitados por el ICAEN y de la metodología explicada en el texto.

Tabla 14. Efecto sustitución (Ktep)

	Primario	Industria	Servicios	Transporte	Doméstico	Usos no energéticos	Suma
Carbón	0,0	-277,9	2,3	-1,0	-10,7	-1,3	-288,8
Petróleo	-8,7	-250,5	-136,3	-14,6	-224,5	-3,3	-637,9
Saldo ref. Petróleo	-1,7	-49,5	-28,7	-2,9	-45,3	-0,7	-128,8
Gas natural	6,4	573,5	112,8	-2,6	234,2	4,9	929,2
Biomasa	1,5	-59,5	6,8	0,0	32,7	0,0	-18,5
Solar térm.	0,0	0,1	0,6	0,0	2,8	0,0	3,5
Solar fotov.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eólica	0,0	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0
Nuclear	-0,5	-2,4	104,0	-29,1	-71,7	0,0	0,3
Hidráulica	0,0	-0,2	6,8	-1,9	-4,7	0,0	0,0
Saldo elec. Import.	0,0	-0,1	4,7	-1,3	-3,2	0,0	0,1
R. Renov.	0,0	0,0	1,6	-0,4	-1,1	0,0	0,0
R. No renov.	0,0	36,7	0,1	0,0	-0,1	0,0	36,7
Bioetanol	0,0	0,0	0,0	17,0	0,0	0,0	17,0
Biodiésel	0,0	0,0	0,0	8,8	0,0	0,0	8,8
Biogás	1,5	3,8	0,7	-0,1	-0,1	0,0	5,9
Total primaria	-1,6	-26,0	75,4	-28,2	-91,7	-0,4	-72,5

Fuente: Elaboración propia a partir de los balance de energía facilitados por el ICAEN y de la metodología explicada en el texto.

Tabla 15. Efecto actividad (Ktep)

	Primario	Industria	Servicios	Transporte	Doméstico	Usos no energéticos	Suma
Carbón	1,0	97,4	42,9	3,0	27,6	0,8	172,7
Petróleo	200,6	461,7	198,3	2338,5	226,4	1308,4	4733,8
Saldo ref. Petróleo	36,4	78,6	30,5	426,0	35,6	238,5	845,5
Gas natural	8,2	811,0	422,1	24,1	452,2	9,7	1727,2
Biomasa	0,3	26,1	3,3	0,1	9,1	0,0	38,9
Solar térm.	0,0	0,0	0,2	0,0	0,7	0,0	1,0
Solar fotov.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Eólica	0,0	1,2	1,4	0,1	0,8	0,0	3,5
Nuclear	27,7	1045,7	1163,1	83,6	701,5	11,4	3033,0
Hidráulica	1,8	67,5	75,1	5,4	45,2	0,7	195,7
Saldo elec. Import.	1,2	45,2	50,5	3,6	30,2	0,5	131,3
R. Renov.	0,4	15,3	17,0	1,2	10,2	0,2	44,3
R. No renov.	0,0	7,8	1,0	0,1	0,6	0,0	9,4
Bioetanol	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	4,5
Biodiésel	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	2,3
Biogás	0,4	2,5	2,2	0,1	1,2	0,0	6,4
Total primaria	278,0	2659,9	2007,7	2892,5	1541,3	1570,2	10949,6

Fuente: Elaboración propia a partir de los balance de energía facilitados por el ICAEN y de la metodología explicada en el texto.

Últims documents de treball publicats

NUM	TÍTOL	AUTOR	DATA
07.09	Actividad económica, consumo final de energía y requerimientos de energía primaria en Cataluña, 1990-2005. Análisis mediante el uso de los balances	Jordi Roca Jusmeta, Vicent Alcántara Escolano,	Novembre 2007
07.08	SUBSISTEMAS INPUT-OUTPUT Y CONTAMINACIÓN: UNA APLICACIÓN AL SECTOR SERVICIOS Y LAS EMISIONES DE CO2 EN ESPAÑA	Vicent Alcántara Escolano, Emilio Padilla Rosa	Novembre 2007
07.07	Effects of Competition over Quality-Adjusted Price Indexes: An Application to the Spanish Automobile Market	Ana Isabel Guerra Hernández	Octubre 2007
07.06	Análisis de la distribución de las emisiones de CO2 a nivel internacional mediante la adaptación del concepto y las medidas de polarización	Juan Antonio Duro Moreno, Emilio Padilla Rosa	Setembre 2007
07.05	Equity and CO2 Emissions Distribution in Climate Change Integrated Assessment Modelling	Nicola Cantore, Emilio Padilla Rosa	Setembre 2007
07.04	The Appraisal of Projects with Environmental Impacts. Efficiency and Sustainability	Joan Pasqual, Emilio Padilla	Setembre 2007
07.03	La evaluación de proyectos con impacto ambiental. Eficiencia y sostenibilidad.	Joan Pasqual, Emilio Padilla	Juliol 2007
07.02	ANÁLISIS INPUT-OUTPUT Y EMISIONES DE CO2 EN ESPAÑA: UN PRIMER ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE SECTORES CLAVE EN LA	Vicent Alcántara	Juliol 2007
07.01	Commuters' valuation of travel time variability in Barcelona	Javier Asensio, Anna Matas	Gener 2007
06.06	The short and long-run determinants of the real exchange rate in Mexico	Antonia Lopez Villavicencio, Josep Lluís Raymond	Octubre 2006
06.05	Real equilibrium exchange rates. A panel data approach for advanced and emerging economies	Antonia Lopez Villavicencio	Octubre 2006
06.04	El nuevo mapa de los distritos industriales de España y su comparación con Italia y el Reino Unido	Rafael Boix, Vittorio Galletto	Setembre 2006
06.03	SPRAWL. Definición, causas y efectos	Ivan Muñoz, Miquel Angel García, Daniel Calatayud	Juny 2006
06.02	Análisis de los factores determinantes de las desigualdades internacionales en las emisiones de CO2 per cápita aplicando el enfoque distributivo: una	Juan Antonio Duro Moreno, Emilio Padilla Rosa	Febrer 2006
06.01	An input-output analysis of the "key" sectors in CO2 emissions from a production perspective: an application to the Spanish economy	Vicent Alcántara, Emilio Padilla	Febrer 2006