

La eficiencia energética, el efecto rebote y el crecimiento económico*

Pablo Arocena, Antonio Gómez y Sofía Peña¹

Resumen

La mejora de la eficiencia energética es uno de los pilares de las políticas energéticas en la mayoría de los países. En particular, en España, con tasas de intensidad y dependencia energética altas en relación con los países de nuestro entorno, y un nivel creciente de emisiones de gases de efecto invernadero, la necesidad de reducir el consumo de energía constituye un desafío de primera magnitud. Con este fin, el gobierno y las distintas administraciones han desarrollado estrategias y planes en las que se estima el potencial de ahorro energético que se puede lograr en distintos sectores de la economía. El presente trabajo revisa la relación entre la mejora de la eficiencia energética y el efecto rebote, así como el impacto que cabe anticipar sobre el consumo de energía y el crecimiento en la economía española.

Palabras clave: Eficiencia energética, dependencia energética, efecto rebote.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero ha situado en los últimos años la reducción del consumo de energía y la mejora en la eficiencia de su uso en uno de los pilares de las políticas energéticas de la mayoría de los países. Las consideraciones medioambientales no son la única fuerza que empuja hacia un uso más eficiente de la energía. En la mayoría de las economías avanzadas existe una preocupación generalizada por la dependencia energética y la necesidad de asegurar el suministro. Por otra parte, el aumento de los precios energéticos y la creciente presión competitiva en los mercados de bienes y servicios obliga a las empresas a una búsqueda permanente en la reducción de sus costes, a lograr mayores niveles de eficiencia en la utilización de todos sus *inputs*, incluidos los energéticos.

* Los autores agradecen la financiación recibida por el Ministerio de Economía y Competitividad, proyecto ECO2013-46954-C3-1-R.

¹ Universidad Pública de Navarra, Institute for Advanced Research in Business and Economics – INARBE.

Desde una perspectiva macroeconómica, el indicador más popular para medir la eficiencia energética es la ratio de intensidad energética definida como la cociente entre el consumo energético, típicamente medido en kilotoneladas equivalentes de petróleo (ktep), y el producto interior bruto. Existe una amplia variedad de estudios que analizan la intensidad energética en España desde diversas perspectivas (*e.g.* Roca y Alcántara, 1996; Ramos-Martín, 2003; Alcántara y Duarte, 2004; Economics for Energy, 2010; Mendiluce *et al.*, 2010; Mendiluce, 2012; Marrero y Ramos-Real, 2008; Fernández *et al.*, 2013 y 2014; CEE, 2014; Arocena y Díaz, 2015). Aunque hay ciertas diferencias en la magnitud de las estimaciones que se recogen en estos trabajos, debido en buena medida a las distintas fuentes y variables empleadas, los deflatores utilizados, los periodos de tiempo, los sectores considerados, el nivel de desagregación sectorial, y los enfoques metodológicos empleados, en general, todos apuntan a que España emplea tradicionalmente una cantidad de energía por unidad de *output* generado superior a la que registran los países de nuestro entorno.

De hecho, de la revisión de estos trabajos se constata que desde los años 70 del siglo pasado la intensidad energética experimentó una reducción en términos generales en los países desarrollados, pero en España este indicador no dejó de aumentar hasta 2005. Economics for Energy (2010) estima que la intensidad energética de la economía española aumentó en un 10%, entre 1990 y 2005, con el consiguiente aumento del 54% en las emisiones de gases de efecto invernadero. En el año 2005 se observa un cambio en la tendencia y desde entonces se ha venido registrando una tendencia decreciente, en línea con la observada en el resto de los países de nuestro entorno geográfico y económico. Sin embargo, Economics for Energy (2010) constata que en el año 2008 la intensidad energética española era todavía un 19% superior a la de la UE-15, lo cual significa que eran necesarias 28 toneladas equivalentes de petróleo más para producir un millón de euros que en la media de la UE-15.

En definitiva, se considera que a la economía española le queda un buen recorrido para mejorar su eficiencia en el uso de la energía. Así, Arocena *et al.* (2016a) analizan el cambio en la eficiencia y la intensidad energética en la industria manufacturera española durante el periodo 1999-2007 a partir de datos regionales mediante modelos de estimación de fronteras eficientes. Los autores constatan

que existe todavía un potencial importante para reducir el consumo de energía en la industria manteniendo el nivel de producción observado en cada uno de los sectores. En concreto, la eliminación de la ineficiencia técnica en el uso de la energía permitiría reducir su consumo entre el 4% (en el sector textil) y el 22% (en el sector papel). Asimismo, podrían alcanzarse reducciones adicionales de entre el 20% y el 45%, si se adoptaran en cada uno de los sectores analizados la combinación óptima del resto de factores (capital, trabajo e *inputs* intermedios) correspondiente al mínimo consumo posible de energía.

Con un enfoque metodológico distinto, Economics for Energy (2011) estima que el progreso tecnológico y la aplicación de las políticas de ahorro existentes permitirían lograr para 2030 una reducción de un 26% de la demanda de energía en España. La implantación de políticas más decididas en favor de la adopción de las tecnologías más eficientes en los distintos sectores conllevaría una reducción adicional de un 19% sobre el escenario tendencial esperable para 2030.

Este es el objetivo de la estrategia y los planes de ahorro y eficiencia energética impulsados por el gobierno de España (MITYC, 2007 y 2011). Estos planes se basan en la promoción de las buenas prácticas de consumo y la innovación tecnológica, la cual representa en última instancia el motor para la mejora continua en el uso de la energía y sus transformaciones (Binswanger, 2001).

En estos planes se estiman los ahorros potenciales de energía, bajo escenarios alternativos, que se podrían derivar de una mejora de la eficiencia energética. Sin embargo, raramente se suelen tener en cuenta en estas predicciones las consideraciones derivadas del efecto rebote. Es decir, la posibilidad de que la mejora de la eficiencia energética pueda llevar a reducciones del consumo de energía menores de lo esperado, o incluso a aumentos eventuales en su consumo. Menos habitual es aún que se analice o cuantifique en qué sectores y/o en qué tipos de energía es más probable que se produzca el deseado efecto, o qué consecuencias podrían derivarse de una mejora de la eficiencia energética sobre otras variables como el empleo, las rentas de los factores y el PIB.

En este trabajo revisamos estas cuestiones en la economía española. El trabajo se organiza como sigue. En el apartado 2 se resume brevemente la relación entre la eficiencia energética y el efecto rebote. En la sección 3 se presenta las estimaciones

del efecto rebote obtenidas a partir de un modelo de equilibrio general aplicado. Los resultados se muestran y discuten en la sección 4. El trabajo se cierra con las conclusiones e implicaciones para la política energética.

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EL EFECTO REBOTE

La eficiencia energética está en el punto de mira debido a su importancia estratégica para la agenda de crecimiento económico competitivo y sostenible. Así, diferentes organizaciones de diferentes países preparan regularmente amplios análisis e informes sobre los beneficios de la eficiencia energética en la economía. La Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2014) recoge un análisis exhaustivo de los múltiples beneficios que se pueden derivar de un incremento en la eficiencia energética, entre los que, además de los beneficios medioambientales y para la salud y el bienestar de la ciudadanía, se destaca su impacto positivo sobre el crecimiento económico y el empleo. El informe recoge una revisión de los principales trabajos que proporcionan evidencia empírica de estos impactos (*e.g.* EC, 2011; Copenhagen Economics, 2012; Barker y Foxon, 2008; Lehr *et al.*, 2012; Allan *et al.*, 2006; ACE, 2000).

Resulta natural pensar que una mejora de la productividad en la utilización de la energía, un aumento del *output* obtenido por unidad de energía, debería traducirse en una reducción del consumo de energía de igual proporción. Sin embargo, existen varias razones por las cuales el *potencial* de ahorro energético puede no corresponderse con el ahorro *real*. En otras palabras, una parte de las estimaciones *técnicas* de los ahorros de energía podrían ser anuladas por lo que se conoce como efecto rebote.

El efecto rebote es el término con el que se conoce a una variedad de mecanismos económicos que reducen el ahorro de energía que resulta de la mejora de la eficiencia energética. El origen del efecto rebote está en el cambio del precio efectivo de la energía. Así, para cualquier factor de producción, si aumenta su eficiencia se reduce su precio por unidad de servicio (es decir, su precio efectivo o precio implícito). Esto desencadena² una respuesta positiva de la demanda directa de

2 Salvo que el aumento de la eficiencia venga de un aumento de precio (por ejemplo, por la aplicación de un impuesto), en cuyo caso el precio final es igual o superior al anterior y por tanto el posible efecto rebote se mitiga o desaparece.

energía por el productor o consumidor cuya eficiencia ha mejorado, así como del resto de la economía a través de un conjunto de efectos indirectos. La fuerza de esta demanda es la que determina la magnitud del efecto rebote. La forma en que el precio efectivo se ve afectado por la mejora de la eficiencia y factores asociados debe considerarse para medir el rebote.

Los efectos directos tienen dos orígenes: el efecto sustitución y el efecto renta/*output*. En el caso de los consumidores finales de energía, el primero ocurre cuando tras la mejora de la eficiencia energética el consumo del servicio energético sustituye el consumo de otros bienes y servicios, manteniendo el mismo nivel de utilidad. En el caso de los productores o empresas, el efecto sustitución ocurre cuando el servicio energético sustituye el uso de capital, trabajo o materiales para producir un determinado nivel de *output*. El efecto renta ocurre cuando el aumento en la renta real resultante para el consumidor se destina a aumentar los servicios energéticos. El efecto *output* ocurre cuando los productores utilizan los ahorros de costos de las mejoras de la eficiencia energética para aumentar la producción.

Además del efecto directo sobre la demanda de energía de consumidores y empresas, se producen una serie de efectos indirectos que inciden sobre la demanda total de energía. Así, los consumidores utilizan sus mayores disponibilidades económicas procedentes del ahorro energético a aumentar el consumo de otros bienes y servicios, los cuales precisan a su vez de energía para su producción y provisión. Por otra parte, están los efectos relacionados con los cambios en la participación de los sectores en la economía: dado que los productos relativamente intensivos en energía se benefician más de la caída de los precios efectivos de la energía, se produce un mayor crecimiento relativo de estos sectores. Finalmente también se produce un efecto competitividad, originado en la caída de los precios de los productos básicos que utilizan la energía como factor de producción, lo cual aumenta la productividad y estimula el crecimiento económico.

Esta idea acerca de cómo la mejora en la eficiencia energética afecta al consumo de energía fue desarrollada por primera vez por Jevons (1865). Jevons observó que la introducción de las nuevas máquinas de vapor más eficientes inicialmente reducían el consumo de carbón, lo cual conducía a una rebaja de su precio. Esto

significaba que no solo más gente podía permitirse utilizar carbón, sino que el carbón se hacía económicamente viable para nuevos usos, lo cual en última instancia llevaba a aumentar las toneladas consumidas de carbón.

Estas consideraciones llevaron en la década de los años 80 del siglo pasado a Khazzoom y Brookes a afirmar que “las mejoras en la eficiencia energética que, en su consideración más general, se justifican económicamente al nivel micro, llevan a mayores niveles de consumo energético al nivel macro”, lo que Saunders (1992) denomina el postulado Khazzoom-Brookes. Saunders (2009) y Sorrell (2009) proporcionan un excelente resumen de los fundamentos teóricos del efecto rebote y su estimación.

La manera más sencilla de definir el efecto rebote (ER) es

$$ER = 1 - (ARE/APE) \quad [1]$$

donde ARE es el ahorro real de energía y APE denota el ahorro potencial de energía, generalmente derivado de cálculos ingenieriles. Por lo tanto, en el caso de una estimación de ahorro de energía del 100% y un ahorro real del 60%, el efecto rebote sería igual a 40% ($1 - 0.6/1$). El efecto rebote usualmente varía entre 0 y 100%, aunque puede ser incluso superior al 100%, lo que se conoce en la literatura como el *backfire effect*. En este caso, no se produce el esperado ahorro en energía, ya que el consumo tras la mejora de la eficiencia energética es mayor que antes.

Existen muchos estudios empíricos que estiman el efecto rebote en sectores específicos. La mayoría de ellos se centra en el análisis de los efectos directos, bien a través de métodos experimentales o econométricos. Greening *et al.* (2000), Sorrell *et al.* (2009) y Chavravarty *et al.* (2013) llevan a cabo revisiones de esta literatura, revelando una amplia variedad de resultados respecto a su magnitud, según el sector y país. Así, en los países desarrollados se han encontrado efectos rebote que van del 15% al 58% en el sector doméstico como resultado de la mejora de la eficiencia energética en servicios de calefacción, refrigeración, electrodomésticos e iluminación. Freire-González (2010) estima un efecto rebote de entre el 35% y el 49% en el caso del consumo de los hogares en Cataluña. En el sector transporte, Chavravarty *et al.* (2013) revisan trabajos con estimaciones

efectos rebote del 30-80%. En la industria manufacturera entre el 14% y el 66% para el caso de Estados Unidos (*e.g.* Saunders, 2013), 15%-27% en las manufacturas del Reino Unido (Barker *et al.*, 2007), o del 43%-96% en el caso de las industrias intensivas en energía de la India (Sathaye *et al.*, 1999).

Para estimar la magnitud total del efecto rebote para el conjunto de la economía se requieren modelos de equilibrio general aplicado (MEGA). El número de trabajos con este enfoque es más escaso, y todos ellos encuentran efectos rebote significativos. Así, en Reino Unido se han estimado efectos rebote entre el 30%-50% (Allan *et al.*, 2007; Turner, 2009; Turner y Hanley, 2011), entre el 40% y el 70% en el caso de Suecia (Broberg *et al.*, 2015), entre el 35% y el 70% en Japón (Washida, 2004) y efectos superiores al 100% (*backfire*) en Noruega (Grepperud y Rasmussen, 2004) o Escocia (Hanley *et al.*, 2006). En el caso de España, Guerra y Sancho (2010) también estiman un efecto rebote muy elevado. En su escenario base obtienen efectos rebote de entre el 87,4% y el 90,8% para el conjunto de la economía. Además estos efectos rebote irían acompañados de un incremento de las emisiones de CO₂ entre el 8% y el 23%.

LA MEJORA EN EL USO DE LA ENERGÍA Y EL EFECTO REBOTE: UN ANÁLISIS DE EQUILIBRIO GENERAL PARA EL CASO DE ESPAÑA

Arocena *et al.* (2016b) han desarrollado un modelo de equilibrio general aplicado para analizar el impacto que tendría una mejora de la eficiencia en el uso de la energía en la economía española. El modelo es un MEGA estático (Shoven y Whalley, 1984) que describe una economía abierta, desagregada en 27 sectores productivos, con 27 bienes de consumo, un consumidor representativo, un sector público, y el resto del mundo. En este apartado, vamos a utilizar ese modelo para cuantificar el impacto que tendría una mejora de la eficiencia energética de un 10% en todos los sectores productivos no energéticos. En particular, presentamos una simulación que consiste en introducir una mejora exógena sin costes de la productividad de los *inputs* vinculados a la energía. A continuación presentamos una breve descripción del modelo. El lector interesado puede encontrar el sistema completo de ecuaciones en Arocena *et al.*, (2016b).

Producción

La producción se basa en una tecnología anidada de *inputs* intermedios, capital y trabajo. Nos basamos en los anidamientos del modelo MIT-EPPA para el tratamiento de la energía en la función de producción (Paltsev *et al.*, 2005). Las empresas actúan bajo rendimientos constantes a escala y una regla de fijación de precios competitiva. El punto de partida está en los 73 sectores del *Marco Input-Output* para la economía española de 2005. Todos ellos se han agrupado en 27, tratando de alcanzar el mayor nivel de desagregación posible en los sectores energéticos o intensivos en el uso de *inputs* energéticos.

Consumo

En el modelo hay un consumidor representativo que se comporta de manera racional. El nivel de renta del consumidor se determina a partir de sus dotaciones de capital y trabajo, más las transferencias netas exógenas recibidas del sector público. El problema de decisión de este consumidor representativo consiste en elegir su cesta de consumo óptima a través de la maximización de una función de utilidad anidada, sujeto a su restricción presupuestaria. Las preferencias se representan por una función de utilidad anidada cuyos argumentos son ahorro, ocio y consumo de bienes. La restricción presupuestaria incluye las rentas totales de los factores más las transferencias netas exógenas recibidas del sector público, menos los impuestos sobre la renta (exógenos). Las funciones de demanda de ahorro, ocio y bienes se derivan de las condiciones de primer orden, y se incluyen en las condiciones de equilibrio de los mercados, así como en el cierre macroeconómico para el ahorro.

Sector público

El sector público desempeña un doble papel en el modelo: posee recursos y adquiere ciertos bienes. Como poseedor de recursos, su renta incluye los ingresos de sus rentas de capital, las transferencias netas pagadas al consumidor representativo y las recibidas del resto del mundo, y los ingresos por impuestos. A su vez, los impuestos consisten en cotizaciones sociales pagadas por empresarios y trabajadores, el impuesto sobre el valor añadido, otros impuestos netos sobre los

productos, los impuestos netos sobre la producción e impuestos sobre la renta. Todos los impuestos se modelizan como tasas efectivas *ad valorem* calibradas a partir de los datos iniciales, excepto para los impuestos sobre la renta que se toman como una cantidad fija exógena que el consumidor representativo transfiere al sector público.

Sector exterior

El modelo incorpora el supuesto de pequeña economía abierta. Es decir, la economía se enfrentaría a una función de oferta de exportaciones perfectamente elástica. Además utilizaría una función de transformación entre ventas interiores y exteriores de elasticidad de transformación constante. Por lo que respecta a las importaciones, suponemos que los bienes se diferencian de acuerdo con su origen (esto es, interior o exterior), siguiendo el supuesto Armington, que refleja la posibilidad de comercio intraindustrial (Armington, 1969). El sector exterior se cierra suponiendo que la diferencia entre ingresos y pagos del resto del mundo es exógena. Esta restricción evitaría, por ejemplo, la coexistencia de un incremento permanente en las exportaciones sin que las importaciones varíen, un escenario improbable ya que supondría unas entradas de capital sin límite alguno.

Mercados de factores

En el modelo hay dos factores productivos: capital y trabajo. Por lo que respecta al factor capital, tanto el consumidor representativo como el sector público poseen dotaciones fijas. Las rentas del capital se ajustan con el fin de equilibrar el mercado interno de dicho factor, donde se supone que el capital es inmóvil a nivel internacional pero que existe movilidad perfecta del mismo entre los sectores internos.

El único propietario del factor trabajo es el consumidor representativo. Suponemos la posibilidad de desempleo y de ocio, por lo que la oferta de trabajo sería elástica. Además suponemos que los trabajadores tienen cierto grado de poder de mercado y sus exigencias salariales están relacionadas con el nivel de desempleo de la economía. Para ello modelizamos el mercado de trabajo incluyendo una ecuación del tipo:

$$w = \left(\frac{1 - u}{1 - \bar{u}} \right)^{1/\beta} \quad [2]$$

donde w representa el salario real, u es la tasa de desempleo, \bar{u} es la tasa de desempleo en el año de referencia, y β es un parámetro que mide la flexibilidad del salario real con respecto a la tasa de paro. De esta manera, cuando β se aproxima a infinito, el salario real se aproxima a su valor en el año base. Es el caso de salarios rígidos en el que el salario real no varía cuando lo hace la tasa de paro. Si β se aproxima a cero, la tasa de paro se aproxima a la del año base, lo que indica la flexibilidad de los salarios. Otros valores intermedios de β muestran el mayor o menor grado de sensibilidad de los salarios reales a los cambios en la tasa de paro. Al igual que en el caso del capital, el trabajo se supone inmóvil a nivel internacional pero perfectamente móvil dentro del país.

Cierre macroeconómico para inversión y ahorro

La inversión total se reparte por sectores mediante una estructura de coeficientes fijos de tipo Leontief (Dervis *et al.*, 1981). Nótese que, en nuestro marco estático, la inversión afecta a la economía en tanto que componente de la demanda final. El modelo incorpora una ecuación de cierre macroeconómico mediante la cual se igualan la inversión y el ahorro (privado, público y exterior).

Condiciones de equilibrio

El equilibrio de la economía viene dado por un vector de precios y una asignación de bienes y factores que resuelve simultáneamente tres conjuntos de ecuaciones: (i) condiciones de beneficios nulos para todos los sectores, (ii) equilibrio de los mercados de bienes y capital, y (iii) restricciones sobre la renta disponible (que debe igualarse con el gasto realizado por todos los agentes), desempleo, y cierre macroeconómico del modelo.

Finalmente, el modelo se resuelve a través del método de Rutherford (1999), que plantea los modelos de equilibrio general como problemas de complementariedad mixta (Mathiesen, 1985), y se implementa en la aplicación empírica mediante el programa GAMS/MPSGE.

El modelo se ha calibrado utilizando datos correspondientes a la economía española. El método de calibración parte de un equilibrio de referencia que se representa con los datos de la Contabilidad Nacional, y se refleja en la Matriz de Contabilidad Social, con un conjunto de elasticidades tomadas de la evidencia empírica disponible. Una explicación en detalle de la técnica de calibración utilizada puede encontrarse en Mansur y Whalley (1984) y Dawkins *et al.* (2001).

Para la elaboración de la Matriz de Contabilidad Social se ha partido de la última Tabla Simétrica disponible para el *Marco Input-Output* de la economía española, que corresponde a la del año 2005, y que se elabora cada cinco años. Esta matriz se ha completado con información del INE de su Contabilidad Nacional a través de la Cuentas de los sectores institucionales. La descripción de las actividades económicas que comprenden los sectores se recoge en el cuadro 1.

En cuanto a los valores de las elasticidades utilizados en la calibración del modelo, las elasticidades entre trabajo y capital oscilan entre 0,20 y 1,68 según sectores y las elasticidades entre bienes nacionales e importados, o elasticidades Armington, oscilan entre 0,90 y 4,05 según sector. Los valores se han tomado de Narayanan y Walmsley (2008). Las elasticidades entre bienes con destino nacional y exportaciones (o elasticidades de transformación) están entre 0,70 y 3,90 según sectores, y han sido tomados de De Melo y Tarr (1992). Las elasticidades de sustitución en la función de utilidad (entre consumo final y ocio, entre consumo y ahorro, y entre los bienes de consumo final) son iguales a la unidad, valores habituales en la literatura y consistentes con la revisión de la literatura empírica que realizan Ballard y Kang (2003).

Las simulaciones efectuadas con el modelo consisten en la mejora de la productividad de los *inputs* vinculados a la energía. En concreto, se simula la reducción del uso de cuatro *inputs* intermedios energéticos por unidad de *output* producida. Los cuatro *inputs* intermedios son los correspondientes a los sectores Carbón, refino de petróleo, electricidad y gas.

Es importante notar que, como es habitual en los modelos de equilibrio general aplicado, se introduce un aumento de la productividad energética (*i.e.* un incremento de las unidades de *output* obtenidas por unidad de energía), que se supone exógeno y sin costes, como en la formulación original de Khazzoom (1980). Es

Cuadro 1

Listado de sectores

SECTOR	Ramas de actividad	CNAE-93
AGRICULTURA	Agricultura, Ganadería y Pesca	01,02,03
CARBÓN	Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	10
EXTENERG	Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de uranio y torio	11,12
MINERALES	Extracción de minerales metálicos y no metálicos	13,14
REFINO	Coquerías, refino y combustibles nucleares	23
ELECTRICIDAD	Producción y distribución de energía eléctrica	401
GAS	Producción y distribución de gas	402-403
AGUA	Captación, depuración y distribución de agua	41
ALIMENTACION	Alimentación Bebidas y Tabaco	15,16
TEXTIL	Textil cuero y calzado	17,18
QUÍMICA	Química	24
CAUCHO	Caucho y materias plásticas	25
CEMENTO	Fabricación de cemento, cal y yeso	265
VIDRIO	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	261
CERÁMICA	Industrias de la cerámica	262-264
OTROSNO MET	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	266-268
METALURGIA	Metalurgia	27
PMETALICOS	Fabricación de productos metálicos	28
MAQUINARIA	Maquinaria y equipo	29-33
MATTRANS	Material de transporte	34,35
PAPEL	Papel, artes gráficas y edición	21,22
OTRAS	Otras industrias manufactureras	20,36,37
CONSTRUC	Construcción	45
COMERCIO	Comercio	50-52, 55.1-55.5
TRANSPORT	Transporte	60-63
SERVMERC	Servicios de mercado	64-67,70-74, 80p,85p,90p,91p,92p,93
SERVNOMERC	Servicios de no mercado	75,80p,85p,90p,91p,92p
CONS. FINAL	Consumo privado final de los hogares	95

Fuente: Elaboración propia.

decir, la mejora en la eficiencia energética es independiente de otras variables, y estas ganancias de productividad se transfieren completamente a los precios de la energía reduciendo su precio efectivo y mermando el ahorro potencial de energía. Parafraseando a Allan *et al.* (2007), implica asumir que las mejoras en la eficiencia energética son como “maná caído del cielo”, un beneficio sin coste.

Sin embargo, las mejoras en la productividad energética pueden depender de los precios actuales e históricos de la energía. Por ejemplo, un aumento de la fiscalidad sobre el consumo de energía (como el simulado en Economics for Energy, 2013) podría estimular la inversión en tecnologías de mayor eficiencia energética, y a la vez controlar en parte el efecto rebote. En este caso, las mejoras en la eficiencia energética serían endógenas y no exógenas.

Existen muchas alternativas de considerar un aumento de los costes soportados por los sectores productivos derivados de introducir medidas que mejoran la eficiencia en el uso de la energía. Por ejemplo, puede llevar aparejado un aumento en los costes laborales (Allan *et al.*, 2007), o un aumento del coste de capital. El tipo y la forma en que se introduzcan estos costes en la mejora en la eficiencia energética afectará a la naturaleza y el tamaño de los efectos de rebote (Sorrell, 2007). En general, los análisis basados en simulaciones de ganancias de eficiencia energética exógenas y sin coste como el que aquí se presenta tenderán a sobreestimar la magnitud del efecto rebote. Por otra parte, como señalan Guerra y Sancho (2010), tiene la ventaja de que permite analizar de manera aislada el origen y las fuerzas impulsoras del efecto rebote, es decir, las respuestas de equilibrio general a las reducciones de los precios energéticos efectivos y reales.

RESULTADOS

El cuadro 2 resume los resultados obtenidos en nuestro escenario de referencia que consiste en simular una mejora del 10% en la eficiencia de los *inputs* energéticos. La última fila del cuadro 2 muestra la variación total que se produciría en el consumo de las distintas energías. Como cabría esperar, se observa una reducción en la cantidad consumida de todos los *inputs* energéticos. Pero la reducción no es igual al 10% de mejora en la eficiencia energética que hemos considerado. Así,

Cuadro 2
Cambios sectoriales en el uso de *inputs* intermedios energéticos, consumo final, nivel de *output* y empleo con una mejora del 10% en la productividad de los *inputs* energéticos (cambio en porcentaje de unidades físicas)

	EMPLEO	CAPITAL	OUTPUT	CONSUMO FINAL	Carbón	Refino	Electricidad	Gas
AGRICULTURA	-0,531	-0,666	-0,257	1,067	-6,798	-6,744	-7,053	-6,952
CARBÓN	-3,860	-4,090	-3,877	1,351	-3,683	-	-3,877	-3,877
EXTENERG	2,612	2,322	2,590	-	-	-7,539	-7,539	-7,539
MINERALES	0,950	0,749	1,743	1,969	-4,886	-4,831	-5,152	-5,040
REFINO	-1,886	-3,258	-2,680	1,374	-2,543	-2,487	-2,798	-2,699
ELECTRICIDAD	-2,928	-4,019	-3,620	1,121	-3,296	-3,279	-3,620	-3,475
GAS	-2,021	-3,612	-3,199	1,287	-3,199	-	-3,199	-3,199
AGUA	1,055	-0,116	1,016	1,470	-	-4,005	-4,312	-
ALIMENTACION	0,618	-0,169	0,694	1,274	-	-4,272	-4,649	-4,483
TEXTIL	0,507	-0,382	0,635	1,452	-	-4,313	-4,701	-4,523
QUÍMICA	2,493	1,579	3,661	1,744	-2,601	-2,545	-2,867	-2,758
CAUCHO	0,952	0,010	1,344	1,734	-	-3,948	-4,307	-4,158
CEMENTO	1,192	-0,228	1,095	1,762	-	-4,206	-4,516	-4,416
VIDRIO	1,116	-0,166	1,352	1,765	-	-3,894	-4,286	-4,105
CERÁMICA	1,096	0,047	1,546	1,833	-	-3,779	-4,192	-3,990
OTROSNOMET	0,738	-0,221	1,026	1,724	-	-4,243	-4,574	-4,453
METALURGIA	0,678	-0,270	1,225	-	-4,412	-4,356	-4,706	-4,567
PMETALICOS	0,663	-0,217	0,700	1,526	-	-4,206	-4,569	-4,416
MAQUINARIA	0,393	-0,498	0,421	1,500	-4,540	-4,485	-4,831	-4,695
MATTRANS	0,571	-0,362	0,624	1,491	-	-4,330	-4,700	-4,540
PAPEL	0,618	-0,238	0,712	1,454	-	-4,238	-4,640	-4,448
OTRAS	0,753	-0,121	0,782	1,431	-	-4,130	-4,457	-4,341
CONSTRUC	1,380	0,160	0,964	1,253	-	-3,733	-4,041	-
COMERCIO	1,437	0,283	1,039	1,169	-	-4,747	-5,084	-4,957
TRANSPORT	1,110	-0,073	1,308	1,697	-4,991	-4,936	-5,395	-5,146
SERVIMERC	1,207	0,342	0,791	1,003	-4,817	-4,762	-5,186	-4,972
SERVNOMERC	0,106	-0,774	0,135	0,135	-	-5,640	-5,971	-5,849
<i>Total energías</i>					-3,521	-3,807	-4,676	-4,027

Fuente: Elaboración propia.

la reducción de electricidad que se obtendría finalmente sería del 4,68%, la de gas un 4,03 %, los productos del refino de petróleo el 3,81% y el carbón caería un 3,52%. Por tanto, nuestros resultados muestran distinta magnitud del efecto rebote según el tipo de energía: 53,2% en el caso de la electricidad, el 59,7% en el del gas, el 61,9% en los productos petrolíferos y el 64,8% del carbón.

El cuadro 2 revela asimismo la existencia de diferencias significativas entre sectores en lo que respecta a la magnitud del impacto de la mejora de la eficiencia energética en el consumo final de la energía, y en definitiva, del efecto rebote. En general, se aprecia que son los sectores de servicios, comercio, transporte, las industrias extractivas y la agricultura donde más se reduce el consumo de energía y por tanto donde menores son los efectos rebote. El mayor efecto rebote se produce en varios sectores que son intensivos en el uso de la energía, como la industria química, cerámica, los sectores energéticos y la construcción.

Asimismo, queda patente el diferente efecto que se produce en el uso de las energías como *inputs* intermedios y como consumo final. Así, se observa un aumento en el consumo de todas las energías por parte del consumo final privado. En concreto la columna “Consumo Final” muestra el aumento que se produce en la demanda de electricidad (1,12%), gas (1,28%), productos del refino (1,37%) y carbón (1,35%) por parte de los hogares. La mejora de las rentas del trabajo y capital determina un aumento directo del consumo final de energía. Pero este efecto renta también genera un aumento del consumo de la mayoría del resto de bienes y servicios por parte de los hogares, tal y como revelan los valores positivos de la columna ‘Consumo Final’ del cuadro 2, lo cual refleja el efecto indirecto del aumento en la cantidad de energía que se necesita para producir estos bienes, al tiempo que pone de manifiesto la relevancia del modelo de equilibrio general para estimar estos efectos.

En el cuadro 3 hemos resumido las variables a nivel macroeconómico. La primera columna del cuadro muestra que la mejora del 10% en la eficiencia energética provocaría un aumento del 1,22% en el PIB. El origen del incremento del PIB en este modelo proviene del funcionamiento de los mercados de factores de producción. Si bien en el caso del factor capital se asume el pleno empleo del mismo, en el caso del factor trabajo se parte de una situación de desempleo, característica

del mercado español. Esto hace posible que el desempleo involuntario pueda verse reducido ante la expansión que implica la mejora en productividad. A nivel macroeconómico se aprecia un aumento del empleo (0,896%) y a la vez una disminución de la tasa de paro del 8,87%. No hay que olvidar que la representación del mercado de trabajo incluye la existencia de ocio, factor que influye en la oferta de este factor.

El mayor empleo, junto con la mejora de las rentas reales de los dos factores son los generadores de un aumento del PIB. Tanto los trabajadores como los propietarios de capital ven mejorar sus rentas reales. Sin embargo la mejora en las rentas del capital supera cuantitativamente a la mejora en las rentas del trabajo, lo que implica que las mejoras en eficiencia energética tendrían un efecto redistributivo en términos relativos. Esta menor mejora relativa de la renta del factor trabajo también está motivada porque la oferta de trabajo es elástica y existe la posibilidad de desempleo, mientras que la dotación de capital es fija y se asume su pleno empleo, lo cual implica una función de oferta de capital vertical. Una expansión económica, por tanto, llevaría a un mayor incremento de la renta del capital en relación al aumento de la renta del trabajo.

En lo que respecta a los cambios en el *output*, estos están muy determinados por la utilización de factores. El modelo utiliza el supuesto de libre movilidad de trabajo y capital intersectorialmente, aunque no internacionalmente. Dado que el capital tiene una dotación fija, cualquier aumento en el uso de capital en un sector va acompañado de un descenso del uso de capital en otro u otros sectores. Esta restricción es menos rígida con el trabajo, dada la existencia de paro y ocio. Por ello se comprueba que la evolución del *output* físico está muy correlacionada con el uso de los dos factores productivos. También, en relación a estos dos factores productivos, el cuadro 2 corrobora que ello lleva a un mayor descenso (o menor aumento) del uso de capital en relación al del trabajo para cada sector.

Como las elasticidades juegan un papel clave en el modelo, realizamos un breve análisis de sensibilidad sobre los valores seleccionados con objeto de contrastar su posible efecto sobre los resultados de las simulaciones y comprobar el comportamiento de nuestro modelo. La segunda y tercera columnas del cuadro 3 mues-

Cuadro 3

Análisis de sensibilidad

	Escenario base	$\frac{1}{2}\sigma_{KL}$	$2\sigma_{KL}$	K-specific
PIB (a coste de los factores)	1,217	0,954	1,597	0,857
Empleo	0,896	0,565	1,372	0,670
Tasa de desempleo	-8,870	-6,372	-12,467	-6,270
Salario real	0,596	0,428	0,837	0,421
Renta real capital	0,882	0,918	0,831	0,601
Consumo carbón	-3,521	-3,747	-3,195	-4,095
Consumo productos refino	-3,807	-4,034	-3,480	-4,014
Consumo electricidad	-4,676	-4,890	-4,369	-3,680
Consumo de gas	-4,027	-4,256	-3,697	-3,229

Notas: Todas las variables reflejan cambios en porcentajes.

σ_{KL} = Elasticidad de sustitución entre capital y trabajo

K-specific: Supuesto de especificidad del capital (*i.e.* inmovilidad del capital entre sectores).

Fuente: Elaboración propia.

tran los resultados de la reestimación de nuestro modelo con diferentes niveles de sustituibilidad entre el trabajo y el capital, mostrando cambios consistentes y del valor esperado en los resultados. La última columna del cuadro 3 muestra los resultados bajo el supuesto de inmovilidad del capital entre sectores. Es decir, abandonamos el supuesto de movilidad perfecta entre sectores para pasar a suponer que el capital es un factor específico, inmóvil entre sectores. Este escenario también puede interpretarse como un escenario de corto plazo, en el que el efecto rebote sería más alto en el gas y la electricidad y ligeramente más bajo para el carbón y los productos derivados del refino de petróleo. Como cabría esperar el crecimiento del PIB y del empleo son más bajos en este escenario.

Conclusiones e implicaciones para la política energética

La mejora de la eficiencia energética constituye un pilar clave para reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. Como hemos visto, estos objetivos pueden verse menoscabados por la existencia del efecto rebote. La naturaleza del efecto rebote es conocida desde hace mucho tiempo, es su magnitud y relevancia la que está sometida al debate y evaluación empírica.

La literatura revisada en este trabajo sugiere que, en general, es poco probable esperar efectos rebote superiores al 100%, que anulen y compensen totalmente los ahorros potenciales de energía (efecto *backfire*). De la misma manera, tampoco es probable encontrar efectos rebote nulos. Lo habitual es esperar que las mejoras de la eficiencia energética provoquen un menor consumo de energía en términos absolutos, pero inferior al esperado *a priori*. Como hemos mostrado en el caso español, en algunos sectores y actividades económicas el efecto rebote puede ser muy significativo, con la consiguiente menor reducción de las emisiones de carbono como principal consecuencia indeseable.

La evidencia empírica sugiere por tanto que es necesario reconocer y tener en cuenta los efectos rebote en el diseño y evaluación de la eficacia de estas políticas. Sin embargo, los ejemplos de políticas de ahorro energético que tengan en cuenta el efecto rebote son muy escasos, tan solo conocemos un par de excepciones en los países de nuestro entorno. El departamento de energía y cambio climático del Reino Unido decidió tener en cuenta el efecto rebote directo en la estimación del ahorro potencial de energía resultante del aislamiento térmico de los hogares. Así, se descontó el 15% de los ahorros potenciales estimados para tener en cuenta el denominado “efecto confort” (*comfort-taking effect*), es decir, el aumento de la temperatura del hogar con el que los consumidores responden al ahorro financiero resultante de la mejora de la eficiencia energética. En la misma línea, a la hora de calcular los resultados de las medidas de ahorro energético el Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética 2014 de Irlanda (DCENR, 2014) asume un elevado efecto rebote del 70% asociado al efecto confort en los hogares de baja renta. Más allá de estos casos puntuales, el efecto rebote es normalmente ignorado en el análisis y diseño de las estrategias y planes dirigidos a estimar los ahorros potenciales de energía que se derivarían de las mejoras en la eficiencia energética.

En España el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 menciona la posibilidad de que se hubieran producido ciertos efectos rebote en el consumo de energía en hogares y el alumbrado público a la hora de evaluar los ahorros de energía alcanzados en estos sectores imputables a las medidas incluidas en los planes de acción anteriores (MITYC, 2011: 71-75), No obstante, no se cuantifican

estos efectos y tampoco se tienen en cuenta en la fijación de objetivos de ahorro energético para 2020.

Si no se reconoce la magnitud del efecto rebote, es difícil que se considere la importancia de aplicar medidas para mitigarlo. En este sentido, existen instrumentos y políticas de intervención en diversos ámbitos: políticas que promueven cambios en las conductas de consumo de los consumidores, el impulso a estilos de vida sostenible, instrumentos fiscales (*e.g.* tasas a la energía y emisiones), incentivos a la eco-innovación tecnológica, medidas no fiscales para aumentar el precio efectivo de los servicios energéticos, o el desarrollo de nuevos modelos de negocio. Maxwell *et al.* (2011) revisa las implicaciones, ventajas e inconvenientes de todos estos instrumentos.

Finalmente, no debemos olvidar que las mismas fuerzas desencadenantes del efecto rebote son también impulsoras del crecimiento económico. Por tanto, en la medida que las eventuales medidas mitigadoras del efecto rebote actúen como fuerzas reductoras de la demanda, ambos objetivos parecen *a priori* difíciles de conciliar. Desde el punto de vista del decisor público se plantea por tanto el reto de diseñar e implementar políticas orientadas a mitigar el efecto rebote que sean compatibles con el crecimiento económico. Constituye este sin duda un desafío formidable sobre el que la evidencia empírica nos indica que es necesario empezar a trabajar cuanto antes.

REFERENCIAS

ACE (2000), *Energy Efficiency and Jobs: UK Issues and Case Studies, report to the Energy Savings Trust*, London: Association for the Conservation of Energy, www.ukace.org/wp-content/uploads/2012/11/ACE-Research-2000-09-Energy-Efficiency-and-Jobs-UK-Issues-and-Case-Studies-Case-Studies.pdf

ALCÁNTARA, V., y R. DUARTE (2004), “Comparison of energy intensities in European Union countries. Results of a structural decomposition analysis”, *Energy Policy*, 32: 177–189.

ALLAN, G. *et al.* (2006), *The Macroeconomic Rebound Effect and the UK Economy*, Final Report to the Department of Environment Food and Rural

Affairs, University of Strathclyde, Glasgow, http://ukerc.rl.ac.uk/pdf/ee01015_final_a.pdf

ALLAN, G.; HANLEY N.; MCGREGOR P.; SWALES K., y K. TURNER (2007), “The impact of increased efficiency in the industrial use of energy: A computable general equilibrium analysis for the United Kingdom”, *Energy Economics*, 29: 779-798.

ARMINGTON, P. S. (1969), “A theory of demand for products distinguished by place of production”, *IMF Staff Papers*, 16: 159-176.

AROCENA, P., y A. C. DÍAZ (2015), “La evolución de los costes energéticos y su efecto en la competitividad de la industria española”, *Economía Industrial*, 396: 151-162.

AROCENA, P.; GÓMEZ-PLANA, A., y S. PEÑA (2016a), “A Decomposition of the Energy Intensity Change in Spanish Manufacturing”, en J. APARICIO, C. A.K. LOVELL y J. T. PASTOR (editores) *Advances in Efficiency and Productivity* capítulo 15. Springer International Series in Operations Research and Management Sciences.

— (2016b), *The impact of increased efficiency in the use of energy: A computable general equilibrium analysis for Spain*, INARBE Institute for Advanced Research in Business and Economics, Universidad Pública de Navarra.

BALLARD, C. L., y K. KANG (2003), “International ramifications of US tax-policy changes”, *Journal of Policy Modeling*, 25: 825-835.

BARKER, T.; EKINS, P., y T. FOXON (2007), The macro-economic rebound effect and the UK economy, *Energy Policy*, 35: 4935-4946.

BARKER, T., y T. FOXON (2008), *The Macroeconomic Rebound Effect and the UK Economy*, Research Report REF UKERC/WP/ESM/2008/001, 5 February 2008, UKERC (UK Energy Research Centre), London, <http://bit.ly/1lLpDjB>

BINSWANGER, M. (2001), “Technological progress and sustainable development: What about the rebound effect?”, *Ecological Economics*, 36: 119-132.

BROBERG, T.; BERG, C., y E. SAMAKOVLIS (2015), “The economy-wide rebound effect from improved energy efficiency in Swedish industries—A general equilibrium analysis”, *Energy Policy*, 83: 26–37

CEE (2014), *Factores clave para la energía en España: una visión de futuro*, Madrid, Club Español de la Energía.

CHAKRAVARTY, D.; DASGUPTA, S., y J. ROY (2013), “Rebound effect: how much to worry?,” *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5: 216-228.

COPENHAGEN ECONOMICS (2012), Multiple Benefits of Investing in Energy-efficient Renovation of Buildings –Impact on Finances, report commissioned by Renovate Europe, www.renovateeurope.eu/uploads/Multiple%20benefits%20of%20EE%20renovations%20in%20buildings%20%20Full%20report%20and%20appendix.pdf

DAWKINS, C.; SRINIVASAN, T. N., y J. WHALLEY (2001), “Calibration”, en J. J. HECKMAN y E. E. LEAMER (ed.) *Handbook of Econometrics*, volumen 5, capítulo 58: 3653-3703, Elsevier, Amsterdam.

DE MELO, J., y D. TARR (1992), *A general equilibrium analysis of US foreign trade policy*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

DERVIS, K.; DE MELO, J., y S. ROBINSON (1981), “A general equilibrium analysis of foreign exchange shortages in a developing economy,” *The Economic Journal*, 91: 891-906.

DCENR (2014), *National energy efficiency action plan 2014*, Department of Communications, Energy and Natural Resources, Government of Ireland.

EC (2011), Commission Staff Working Paper Impact Assessment, Accompanying the document Directive of the European Parliament and of the Council on Energy Efficiency and amending and subsequently repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC, SEC(2011) 779 final, Brussels, 22.6.2011, http://ec.europa.eu/energy/efficiency/eed/doc/2011_directive/sec_2011_0779_impact_assessment.pdf

ECONOMICS FOR ENERGY (2010), *La intensidad energética en España*, Economics for Energy, Vigo.

— (2011), *Potencial económico de reducción de la demanda de energía en España*, Vigo, Economics for Energy.

— (2013), *Impuestos energético-ambientales en España*, Economics for Energy, Vigo.

FERNÁNDEZ, P.; LANDAJO, M., y M. J. PRESNO (2013), “The Divisia real energy intensity indices: evolution and attribution of percent changes in 20 European countries from 1995 to 2010,” *Energy*, 58: 340–349.

— (2014), “Multilevel LMDI decomposition of changes in aggregate energy consumption. A cross country analysis in the EU- 27”, *Energy Policy*, 68: 576–584.

FREIRE-GONZÁLEZ, J. F. (2010), “Empirical evidence of direct rebound effect in Catalonia”, *Energy Policy*, 38: 2309-2314.

GREENING, L. A.; GREENE, D. L., y C. DIFIGLIO (2000), “Energy efficiency and consumption –the rebound effect- a survey,” *Energy Policy*, 28: 389-401.

GREPPERUD, S. y I. RASSMUSSEN (2004), “A general equilibrium assessment of rebound effects”, *Energy Economics*, 26: 261–282.

GUERRA, A., y F. SANCHO (2010), “Rethinking economy-wide rebound measures: an unbiased proposal”, *Energy Policy*, 38: 6684-6694.

HANLEY N.; MCGREGOR P.; SWALES K., y K. TURNER (2006), “The impact of a stimulus to energy efficiency on the economy and environment: A regional computable general equilibrium”, *Renewable Energy*, 31: 161-171.

IEA (2014), *Capturing the multiple benefits of energy efficiency*, Agencia Internacional de la Energía, París.

JEVONS, W. S. (1865), *The coal question: Can Britain survive? In the coal question: An inquiry concerning the progress of the nation, and the probable exhaustion of our coal-mines*, A. W. FLUX ed, AUGUSTUS M. KELLEY, New York.

KHAZZOOM, J. D. (1980), “Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances”, *Energy Journal*, 1: 21-40.

LEHR, U., C. LUTZ y D. EDLER (2012) “Green jobs? Economic impacts of renewable energy in Germany”, *Energy Policy*, 47: 358–364.

MANSUR, A., y J. WHALLEY (1984), “Numerical specification of applied general equilibrium models: Estimation, calibration, and data”, en H. E. SCARF y J. B. SHOVEN (eds.), *Applied general equilibrium analysis*, Cambridge: Cambridge University Press: 69-127.

MARRERO G.A., y F. J. RAMOS-REAL (2008), *La intensidad energética en los sectores productivos en la UE-15 durante 1991 y 2005: ¿Es el caso español diferente?*, Estudios Económicos FEDEA 08-08.

MATHIESEN, L. (1985), “Computation of economic equilibria by a sequence of linear complementarity problems”, *Mathematical Programming Study*, 23: 144-162.

MAXWELL, D.; OWEN, P.; MCANDREW, L.; MUEHMEL, K., y A. NEUBAUER (2011), *Addressing the Rebound Effect, a report for the European Commission DG Environment*, 26 April 2011.

MENDILUCE, M. (2012), “Los determinantes del consumo energético en España: ¿se ha mejorado la eficiencia energética?”, *Papeles de Economía Española*, 134: 196-210.

MENDILUCE M.; PÉREZ-ARRIAGA, J. I., y C. OCAÑA (2010), “Comparison of the evolution of energy intensity in Spain and in the EU-15, Why is Spain different?”, *Energy Policy*, 38(1): 639–645.

MITYC (2007), *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2008-2012*, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid.

— (2011), *Plan de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2011-2020*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid.

NARAYANAN G. B., y T. L. WALMSLEY (eds.) (2008), *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 7 Data Base*, Center for Global Trade Analysis, Purdue University.

PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; ECKAUS, R. S.; MCFARLAND, J.; SAROFIM, M.; ASADOORIAN, M., y M. BABIKER (2005), The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Version 4, MIT Joint Program Report 125, August.

RAMOS-MARTÍN, J. (2003), “Intensidad energética de la economía española: una perspectiva integrada”, *Economía Industrial*, 351: 59-72.

ROCA, J., y V. ALCÁNTARA (1996), “Tendencias en el uso de la energía en España 1975-1990: Un análisis a partir de los balances energéticos”, *Economía Industrial*, 311: 161-67.

RUTHERFORD, T. F. (1999), “Applied general equilibrium modelling with MPSGE as a GAMS subsystem: An overview of the modelling framework and syntax”, *Computational Economics*, 14: 1-46.

SATHAYE, R.; MONGIA, S., y K. SCHUMACHER (1999), “Production trends in Indian energy intensive manufacturing industries”, *Energy Journal*, 20: 33-61.

SAUNDERS, H. D. (1992), “The Khazzoom-Brookes postulate and neoclassical growth”, *Energy Journal*.

— (2009), “Theoretical foundation of the rebound effect,” en EVANS J. and L. HUNT (eds.) *International handbook on the economics of energy*, capítulo 8, 164-198.

— (2013), “Historical evidence for energy efficiency rebound in 30 US sectors and a toolkit for rebound analysts”, *Technological Forecasting & Social Change*, 80: 1317-1330.

SHOVEN, J. B., y J. WHALLEY (1984), “Applied General-Equilibrium models of taxation and international trade: An introduction and survey”, *Journal of Economic Literature*, 22, Issue 3: 1007-1051.

SORRELL, S. (2007), The rebound effect: An assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency, UKERC- UK Energy Research Centre Technical Report.

— (2009), “The rebound effect: Definition and estimation,” en EVANS J. and L. HUNT (eds.) *International handbook on the economics of energy*, chapter 9, 199-233.

SORRELL S.; DIMITROPOULOS J., y M. SOMMERVILLE (2009), “Empirical estimates of the direct rebound effect: A review”, *Energy Policy*, 37: 1356-1371.

TURNER, K. (2009), “Negative rebound and disinvestment effects in response to an improvement in energy efficiency in the UK economy”, *Energy Economics*, 31 648–666.

TURNER, K., y N. HANLEY (2011), “Energy efficiency, rebound effects and the environmental Kuznets Curve”, *Energy Economics*, 33: 709–720.

WASHIDA, T. (2004), Economy-wide Model of Rebound Effect for Environmental Efficiency. Trabajo presentado en International Workshop on Sustainable Consumption, University of Leeds, 5-6 March 2004.