

LA PARADOJA DE JEVONS EN LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS

Autor:

JOSÉ CARLOS VÁZQUEZ-HISADO

Institución:

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

INTRODUCCIÓN

El parque de viviendas que no responden a los actuales requerimientos de confort y eficiencia energética llevan a la consideración de acciones de mejora por parte de las distintas Administraciones Públicas. Tales acciones rehabilitadoras son justificables conforme a las premisas de disminución del consumo energético, reducción de emisiones contaminantes y lucha contra el cambio climático.

Las mejoras en la envolvente del edificio –unifamiliar o plurifamiliar– y la sustitución de instalaciones térmicas por otras más eficientes deberían conducir a una disminución del consumo energético de las viviendas, pero los indicios no corroboran que esa disminución sea la esperada. Las Ciencias Económicas nos muestran la razón por la cual unas mejoras en la eficiencia energética de un edificio residencial no conducen necesariamente a la disminución del consumo energético.

El economista William Stanley Jevons (1835-1882) se interesó por el consumo y la duración de las reservas de carbón, el principal recurso energético de que disponía el Reino Unido en su época. Investigó sobre el incremento en su consumo y sobre la relación de este incremento con la mejora de la eficiencia de las máquinas de vapor, las utilizadas entonces en la producción industrial. El resultado de su trabajo fue publicado en 1865, en el libro titulado *The Coal Question*. Entre otras conclusiones llegó a la siguiente: “*It is wholly a confusion of ideas to suppose that the economical use of fuel is equivalent to a diminished consumption. The very contrary is the truth*”¹. Lo que antecede es explicable, pues el incremento en la eficiencia de la máquina provoca una disminución del costo de producción unitario y la disminución del precio del producto incrementa la demanda, consecuentemente se requiere una mayor cantidad de combustible para satisfacer la mayor demanda total del producto.

Este fenómeno por el cual la mejora de la eficiencia en el uso de la energía no conduce necesariamente a una disminución equivalente del consumo energético, pudiendo incluso ocasionar su incremento, es conocido como paradoja de Jevons, como efecto rebote y más recientemente como postulado de Khazzoom-Brookes. La última denominación se debe a Harry D. Saunders², como reconocimiento a J. Daniel Khazzoom y a Leonard G. Brookes por sus estudios sobre esta cuestión realizados de forma independiente; mientras que el primero se basó fundamentalmente en la elasticidad-precio de la demanda (E_d o PED) de la energía eléctrica y en el consumo del equipamiento doméstico³, el segundo adoptó los métodos del análisis macroeconómico^{4 y 5}.

Las múltiples investigaciones realizadas señalan que la paradoja de Jevons es un efecto no refutado y significativo para el sistema económico; que viene produciéndose, cuando menos, desde la Revolución Industrial⁶. No solo existe un efecto rebote directo⁷, existe también un efecto rebote indirecto o secundario que impulsa el aumento del consumo general –incrementando el consumo energético– y

una repercusión a nivel macroeconómico como resultado acumulativo de todos los efectos directos e indirectos.

Numerosos estudios abordan el problema desde distintos niveles, analizando diversos sectores económicos e intentando cuantificar su grado de repercusión. Es necesario recalcar que las consecuencias sobre la economía y sobre el medio ambiente son de extrema importancia. Está en cuestión la política medioambiental sobre eficiencia energética, en la forma en que actualmente está planteada en la mayoría de los países. Harry D. Saunders ya propuso, en el año 2000, la implicación de los gobiernos⁸ –facilitando los recursos– en la realización de los estudios necesarios para profundizar en el conocimiento del problema que representa el efecto rebote, también en el desarrollo de las medidas correctoras a introducir en sus respectivas políticas medioambientales. La Comisión Europea, consciente de las repercusiones de este fenómeno, a través de la Dirección General de Medio Ambiente encargó el informe titulado *Addressing the Rebound Effect*⁹, que fue emitido en abril de 2011. En él se reconoce la existencia del efecto rebote directo asociado a la eficiencia energética y se relacionan estimaciones sobre el mismo, pero se cuestiona el efecto rebote indirecto y sus efectos macroeconómicos; por último, son propuestas varias medidas correctoras teóricas –de eficacia no verificada– y también varias líneas de investigación.

Influencia en la rehabilitación residencial

En la rehabilitación energética de edificios residenciales es esperable que, incluso en algunos casos, se iguale el consumo energético anterior a la implementación de las mejoras. Cuando el nivel de ingresos familiares requiere establecer un presupuesto concreto para el consumo energético de la vivienda y las condiciones de confort están por debajo de las consideradas óptimas, nos encontramos en el intervalo en que puede producirse este efecto.

Una parte de los trabajos de investigación, realizados en los últimos años, sobre eficiencia energética en la edificación mencionan “el posible efecto rebote”, pero sin plantear su evaluación cuantitativa. No obstante, se han publicado diversos estudios centrados en la cuantificación del fenómeno. Un trabajo ambicioso fue el publicado, en el año 2014, con el título *Estimating broad-brush rebound effects for household energy consumption in the EU 28 countries and Norway: some policy implications of Odyssee data*¹⁰, en él Ray Galvin utilizó datos del proyecto Odyssee de Enerdata para hacer una estimación *broad-brush*, siendo de utilidad testimonial. Las investigaciones encabezadas por Hugo Hens, por el contrario, están centradas en casos muy concretos; en el artículo *Energy efficient retrofit of an end of the row house: Confronting predictions with long-term measurements*¹¹ se muestra la aplicación de una precisa metodología a una única vivienda, en *Energy consumption for heating and rebound effects*¹² se describe el estudio de 964 viviendas situadas en Bélgica para llegar a la conclusión: “*Finally, starting from the normalized annual consumption data of 964 homes, a statistically relevant direct rebound curve could be constructed, which was used for better predicting heating consumption in the residential sector.*”

El ámbito del presente trabajo se circunscribe al análisis del efecto rebote directo en las viviendas energéticamente rehabilitadas. Se pretende hacer hincapié en la necesidad de cuantificar dicho efecto y cómo evaluar en qué magnitud las tecnologías de la arquitectura contribuyen al ahorro energético real y en qué medida la paradoja de Jevons es capaz de malograr los resultados deseados. Resulta necesario normalizar la cuantificación del efecto rebote directo.

CONSIDERACIONES SOBRE LA VIVIENDA

Hasta aquí se ha hecho referencia a las máquinas como medio de producción, a la eficiencia energética de las mismas; también se han aludido conceptos económicos como la demanda, la elasticidad, el consumo, la microeconomía e incluso la macroeconomía. Seguidamente se establecerá un planteamiento de partida, de manera que sea posible analizar la relación de la paradoja de Jevons con los procesos energéticos en el uso de la vivienda.

La vivienda tiene consideración de bien raíz que presta un servicio directamente al consumidor o usuario. Puede ser habitada por el propietario o por quien la toma en arrendamiento, normalmente es el arrendatario el que abona de forma independiente al precio del alquiler los consumos realizados (electricidad, agua, telecomunicaciones, etcétera). Dejando a un lado regímenes de alquiler asimilables al hotelero, se puede establecer la equiparación en el comportamiento entre el usuario-propietario y el usuario-arrendatario.

Una vez más, quiérase o no, hay que recordar a Le Corbusier y sus escritos, su libro *Vers une architecture* y concretamente una de sus más conocidas frases: “*La maison est une machine à habiter*”¹³. Realmente ni la comparación que él hace de la casa con los barcos, los coches y los aviones, ni su concepto de la *machine à habiter* guardan relación directa con los aspectos económicos de las máquinas; pero es posible encontrar variantes conceptuales, una de ellas es la base del discurso que sigue.

Una máquina tiene por finalidad la transformación de una determinada cantidad de materia y una determinada cantidad de energía en un nuevo producto, o bien la transformación de una determinada cantidad de energía en un servicio concreto. Los automóviles y los aviones, máquinas que tanto menciona Le Corbusier en sus libros, transforman la energía en desplazamientos para sus ocupantes. La vivienda es un bien con valor económico de uso y de cambio, pero como máquina debe ofrecer un producto o servicio final, la cuestión es: ¿Qué producto o servicio ofrece la máquina para habitar?

Una pieza de la máquina-vivienda produce alimentos transformados, otra pieza de la máquina-vivienda ofrece servicios higiénicos, la máquina-vivienda ofrece habitabilidad, también ofrece seguridad y protección; pero el producto que realmente es evaluable y engloba todo aquello que ofrece una vivienda –una vez superados los mínimos exigibles– se denomina confort.

El confort, como sensación de comodidad física o estado de satisfacción ambiental, es un concepto complejo de difícil mensurabilidad y evaluación, ya que en él entran factores individuales y subjetivos. Lo anterior lleva a establecer distintas categorías como: confort visual, confort térmico, confort acústico, confort vibratorio y confort olfativo. Para conseguir en una vivienda confort visual y confort térmico normalmente es necesario consumir energía de forma casi permanente.

En la casa contemporánea también hay un número importante de aparatos consumidores de energía, ellos incrementan la comodidad de la vivienda, facilitan las tareas inherentes a la misma, proporcionan entretenimiento y también facilitan las comunicaciones exteriores; periódicamente son sustituidos por otros de mayores prestaciones y superior eficiencia energética, al igual que aquellos destinados a proporcionar iluminación artificial confortable.

CONFORT, ENERGÍA Y PARADOJA DE JEVONS

La rehabilitación energética de viviendas se centra básicamente en la envolvente del edificio y en las instalaciones de acondicionamiento térmico. La mayor parte del parque de viviendas existente en la actualidad carece de una envolvente apropiada y aceptable con relación a los requerimientos normativos actuales, estando además sus instalaciones térmicas desfasadas. Cuando Europa fue reconstruida, pasada la Segunda Guerra Mundial, la estructura porticada desplazó definitivamente al

muro de carga. El muro estructuralmente resistente y de gran inercia térmica quedó desplazado por cerramientos más ligeros, carentes tanto de dicha inercia térmica como de un adecuado nivel de aislamiento. Durante varias décadas los cerramientos fueron realizados de ese modo, era necesario construir con rapidez un importante número de viviendas baratas, la población desplazada a las ciudades europeas las requería con premura.

Las técnicas de control de la radiación solar y otras tecnologías bioclimáticas, algunas de ellas conocidas desde hace siglos, fueron prácticamente olvidadas por los constructores del siglo XX. El bienestar térmico se confió a ineficientes y contaminantes calderas que quemaban carbón primero y gasóleo después; en las viviendas humildes debían contentarse con braseros y estufas. La ineficacia frente al calor se palió con ventiladores, luego con acondicionadores de ventana.

Llegado este punto, hay que relacionar el grado de confort térmico con el consumo energético y con la renta del usuario de una vivienda. En un extremo estaría el usuario cuyo nivel de renta le aboca a la absoluta pobreza energética, aquél que carece de confort térmico puesto que no dispone de medios económicos para pagar la energía consumida. En el otro extremo se encontraría el usuario cuyo alto nivel de renta convierte el gasto en energía en intrascendente y disfruta de un total confort térmico, con independencia del grado de eficiencia energética de su residencia.

Si consideramos la mejora de la envolvente de un edificio de viviendas, aquél usuario que no puede utilizar las instalaciones térmicas por carecer de medios económicos podrá ver incrementado ligeramente su confort térmico; por otra parte, aquél otro usuario cuyo nivel de renta le permite la satisfacción de sus necesidades y disfruta de un pleno grado de confort térmico podrá reducir su consumo energético, hasta allí donde lo permitan las condiciones técnicas de la intervención realizada. Si se realizase una sustitución de las instalaciones térmicas existentes por otras de mayor eficiencia, resultaría que el primer individuo seguirá sin poder pagar la factura energética, no utilizará la nueva instalación; el segundo individuo podrá mantener el mismo nivel de total confort térmico, pero consumirá menos energía. La rehabilitación energética basada en la mejora de la envolvente y en la implementación de elementos de control solar beneficia a todos los usuarios¹⁴ independientemente de su nivel de rentas, no ocurriendo lo mismo con las medidas dirigidas a la sustitución de las instalaciones térmicas por otras de mayor eficiencia.

En los dos casos analizados está descartado que se produzca el efecto rebote directo como consecuencia de una mejora térmico-energética de la vivienda. Una vez definidas las dos situaciones extremas llega el momento de estudiar aquello que ocurre en las situaciones intermedias. Cualquier otro usuario dispondrá de un nivel de renta suficiente para poder efectuar un gasto energético insuficiente para alcanzar el pleno confort térmico, en este caso es esperable que la sustitución de las instalaciones térmicas por otras más eficientes produzca un efecto rebote; el usuario tenderá a pagar la misma cantidad de dinero en su factura energética, aplicándose la mayor eficiencia energética de la nueva instalación a la mejora del confort térmico. Es posible inferir lo siguiente:

1. Las medidas pasivas, para la mejora de las condiciones térmicas en las viviendas, suponen siempre una mejora de las condiciones de confort. Previsiblemente tales medidas pueden contribuir limitadamente a que se pueda producir el efecto rebote directo, y es esperable que mitiguen el posible efecto rebote directo asociado a la mejora de las instalaciones térmicas.
2. La sustitución de las instalaciones térmicas existentes por otras de mayor eficiencia energética mejoran, salvo excepciones ligadas a la renta de los usuarios, las condiciones de confort. Es esperable que se produzca el efecto rebote directo; al menos, el usuario tenderá a mantener su consumo energético anterior si con la nueva instalación no consigue el adecuado confort

térmico antes de llegar a alcanzar dicho consumo.

Para expresar matemáticamente el efecto rebote se recurre normalmente al concepto económico de la elasticidad¹⁵, que cuantifica el incremento o decremento de una variable con relación a la variación experimentada por otra, pudiéndose formular como sigue:

$$R_{\varepsilon}(E) = \frac{\partial E}{\partial \varepsilon} \frac{\varepsilon}{E} \quad (1)$$

Donde $R_{\varepsilon}(E)$ es la elasticidad eficiencia de la demanda de energía, ε representa la eficiencia energética y E el consumo de energía; sustituyendo $E=S/\varepsilon$, donde S es el trabajo útil, y derivando parcialmente respecto a ε :

$$R_{\varepsilon}(E) = \frac{\partial(S/\varepsilon)}{\partial \varepsilon} \frac{\varepsilon}{(S/\varepsilon)} = \left(\frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial S}{\partial \varepsilon} - S \frac{1}{\varepsilon^2} \right) \frac{\varepsilon^2}{S} = \frac{\partial S}{\partial \varepsilon} \frac{\varepsilon}{S} - 1 ; \text{ se llega a la ecuación siguiente}^{16}:$$

$$R_{\varepsilon}(E) = R_{\varepsilon}(S) - 1 \quad (2)$$

Siendo $R_{\varepsilon}(S)$ la elasticidad eficiencia de la demanda del trabajo útil. Esta ecuación permite calcular, mediante métodos econométricos, el efecto rebote de la variación de trabajo útil $R_{\varepsilon}(S)$ a partir de las variaciones del consumo energético y de las variaciones en la eficiencia energética. Únicamente cuando $R_{\varepsilon}(S)$ es igual a cero el ahorro real de energía coincidirá con los cálculos técnicos realizados.

1. Si $R_{\varepsilon}(S)=0$, el ahorro de energía coincide con el cálculo técnico.
2. Si $0 < R_{\varepsilon}(S) < 1$, la demanda es inelástica, se produce un ahorro energético menor del previsto, el efecto rebote es inferior a la unidad.
3. Si $R_{\varepsilon}(S) > 1$, la demanda es elástica y la mejora de la eficiencia energética produce un incremento en el consumo energético.

El último caso no se producirá –salvo circunstancias muy particulares– cuando se efectúen mejoras energéticas en edificios residenciales, la demanda de confort térmico es inelástica.

La constatación de que en la rehabilitación energética de viviendas se produce el efecto rebote directo, con una $R_{\varepsilon}(S)$ de carácter inelástico, hace necesario el replanteamiento de las políticas actualmente adoptadas en esta materia.

A la hora de afrontar la gestión de un proyecto de rehabilitación energética de viviendas es necesario establecer claramente el objetivo: reducción del consumo energético, mejora de las condiciones de confort o ambas cosas simultáneamente. La elección vendrá condicionada por las circunstancias socioeconómicas de los usuarios.

Cuando el edificio obsoleto energéticamente tiene por usuarios a personas con buen nivel de rentas, éstas tendrán resuelto su confort térmico y el objetivo consistirá en la reducción del consumo. Será importante evitar situaciones de sobre-confort (regulación termostática inadecuada) o de derroche energético (excesiva ventilación directa con los equipos de acondicionamiento térmico funcionando, etcétera).

Cuando los usuarios de un edificio carecen de un nivel de confort térmico aceptable deben plantearse medidas que consideren tanto la mayor eficiencia energética como la mejora de las condiciones de confort; en caso contrario los cálculos serán siempre erróneos.

En todo proceso de rehabilitación energética de edificios residenciales debería contemplarse la implementación de medidas correctivas para el control del efecto rebote directo. Algunas pueden ser

las siguientes:

- Prever medidas pasivas, dándoles prioridad sobre las medidas activas.
- Instalar sistemas avanzados de control termostático.
- Informar y concienciar al usuario.
- Condicionar las subvenciones, si existen, al cumplimiento de techos de consumo.

CONCLUSIONES

Han transcurrido ciento cincuenta años desde que Jevons publicó el primer enunciado del efecto rebote; pero todavía es olvidado con frecuencia o tal vez eludido por los responsables de las políticas energéticas, quienes pueden sentir cierto temor a poner en revisión las líneas de actuación marcadas hasta el momento.

Aunque el efecto rebote directo no es desconocido en el mundo de la arquitectura y de la edificación sí es ignorado habitualmente; en la práctica profesional no es tenido en cuenta, en la docencia suele ser tratado de forma cualitativa y la investigación cuantitativa del fenómeno está en ciernes. La preocupación real por el mismo es muy reciente, deben ponerse a disposición de los investigadores los medios necesarios para desarrollar un mayor conocimiento de la repercusión de la paradoja de Jevons en la edificación.

En el estado actual del conocimiento falta por realizar una amplia evaluación cuantitativa, en función de las diferentes condiciones climáticas, de las tipologías edificatorias, de las soluciones constructivas y de las tecnologías de acondicionamiento térmico; teniendo presentes también los condicionantes de los usuarios respecto al confort térmico.

Sería deseable, ante cualquier proyecto de rehabilitación energética de viviendas, la realización de un estudio de los consumos previos de todos los usuarios, durante un periodo de tiempo significativo, para su comparación con los consumos posteriores. Con el conocimiento de los consumos previos y el seguimiento posterior sería posible analizar la repercusión del efecto rebote directo en cada proyecto en particular, podría crearse una base de datos relevante para la investigación de la eficiencia energética en la edificación residencial.

REFERENCIAS

¹ William S. Jevons, *The Coal Question* (2nd Edition. London: Macmillan and Co., 1866), 123.

² Harry D. Saunders, "The Khazzoom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth", *The Energy Journal* 13, no. 4 (1992), doi: 10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol13-No4-7

³ J. Daniel Khazzoom, "Economic Implications of Mandated Efficiency Standards for Household Appliances", *The Energy Journal* 1, no. 4 (1980), doi: 10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol1-No4-2

⁴ Leonard G. Brookes, "The greenhouse effect: the fallacies in the energy efficiency solution", *Energy Policy* 18, no. 2, (1990), doi: 10.1016/0301-4215(90)90145-T

⁵ Leonard G. Brookes, "Energy efficiency and economic fallacies: a reply", *Energy Policy* 20, no. 5, (1992), doi: 10.1016/0301-4215(92)90059-B

⁶ Nilton Bispo Amado and Ildo L. Sauer, "An ecological economic interpretation of the Jevons effect", *Ecological Complexity* 9 (2012): 7, doi: 10.1016/j.ecocom.2011.10.003

⁷ Lorna A. Greening, David L. Greene and Carmen Difiglio, "Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey", *Energy Policy* 28, no. 6-7 (2000): 391, doi: 10.1016/S0301-4215(00)00021-5

⁸ Harry D. Saunders, "A view from the macro side: Rebound, backfire, and Khazzoom-Brookes", *Energy Policy* 28, no. 6-7 (2000): 446, doi: 10.1016/S0301-4215(00)00024-0

⁹ Dorothy Maxwell et al., *Addressing the Rebound Effect*, a report for the European Commission DG Environment, April 26, 2011, accessed October 9, 2015, http://ec.europa.eu/environment/archives/eussd/pdf/rebound_effect_report.pdf

¹⁰ Ray Galvin, "Estimating broad-brush rebound effects for household energy consumption in the EU 28 countries and Norway: some policy implications of Odyssee data", *Energy Policy* 73, no. October (2014), doi: 10.1016/j.enpol.2014.02.033

¹¹ Hugo Hens, "Energy efficient retrofit of an end of the row house: Confronting predictions with long-term measurements", *Energy and Buildings* 42, no. 10 (2010), doi: 10.1016/j.enbuild.2010.05.030

¹² Hugo Hens, Wout Parijs and Mieke Deurinck, "Energy consumption for heating and rebound effects", *Energy and Buildings* 42, no. 1 (2010), doi: 10.1016/j.enbuild.2009.07.017

¹³ Le Corbusier, *Vers une architecture* (3rd Edition. Paris: Vincent Fréal & Cie., 1958), 83.

¹⁴ M. Luxán García de Diego, G. Gómez Muñoz and E. Román López, "Cuentas energéticas no habituales en edificación residencial", *Informes de la Construcción* 67 (2015), doi: 10.3989/ic.14.059

¹⁵ Khazzoom, "Economic Implications of Mandated Efficiency Standards for Household Appliances", 22.

¹⁶ Steve Sorrell and John Dimitropoulos, "The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions", *Ecological Economics* 65, no. 3 (2008): 638, doi: 10.1016/j.ecolecon.2007.08.013

BIBLIOGRAFÍA

Amado, Nilton B., and Ildo L. Sauer. "An ecological economic interpretation of the Jevons effect". *Ecological Complexity* 9 (2012): 2-9. doi: 10.1016/j.ecocom.2011.10.003

Brookes, Leonard G. "Energy efficiency and economic fallacies: a reply". *Energy Policy* 20, no. 5, (1992): 390-392. doi: 10.1016/0301-4215(92)90059-B

Brookes, Leonard G. "The greenhouse effect: the fallacies in the energy efficiency solution". *Energy Policy* 18, no. 2, (1990): 199-201. doi: 10.1016/0301-4215(90)90145-T

Corbusier, Le. *Vers une architecture*. 3rd Edition. Paris: Vincent Fréal & Cie., 1958.

Galvin, Ray. "Estimating broad-brush rebound effects for household energy consumption in the EU 28 countries and Norway: some policy implications of Odyssee data". *Energy Policy* 73, no. October (2014): 323-332. doi: 10.1016/j.enpol.2014.02.033

Greening, Lorna A., David L. Greene, and Carmen Difiglio. "Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey". *Energy Policy* 28, no. 6-7 (2000): 389–401. doi: 10.1016/S0301-4215(00)00021-5

Guerra Santin, O. "Occupant Behaviour in Energy Efficient Dwellings: Evidence of a Rebound Effect". *Journal of Housing and the Built Environment* 28, no. 2 (2013): 311–327. doi:10.1007/s10901-012-9297-2

Hens, Hugo. "Energy efficient retrofit of an end of the row house: Confronting predictions with long-term measurements". *Energy and Buildings* 42, no. 10 (2010): 1939–1947. doi:10.1016/j.enbuild.2010.05.030

Hens, Hugo, Wout Parijs, and Mieke Deurinck. "Energy consumption for heating and rebound effects". *Energy and Buildings* 42, no. 1 (2010): 105–110. doi: 10.1016/j.enbuild.2009.07.017

Jevons, William S. *The Coal Question*. 2nd Edition. London: Macmillan and Co., 1866.

Khazzoom, J. Daniel. "Economic Implications of Mandated Efficiency Standards for Household Appliances". *The Energy Journal* 1, no. 4 (1980): 21-40. doi: 10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol1-No4-2

Luxán García de Diego M., G. Gómez Muñoz and E. Román López. "Cuentas energéticas no habituales en edificación residencial". *Informes de la Construcción* 67 (2015). doi: 10.3989/ic.14.059

Maxwell, D. et al. *Addressing the Rebound Effect*. A report for the European Commission DG Environment, April 26, 2011. Accessed October 9, 2015. http://ec.europa.eu/environment/archives/eussd/pdf/rebound_effect_report.pdf

Polimeni, John M., and Raluca Iorgulescu Polimeni. "Jevons' Paradox and the Myth of Technological Liberation". *Ecological Complexity* 3, no. 4 (2006): 344–353. doi:10.1016/j.ecocom.2007.02.008

Saunders, Harry D. "A view from the macro side: Rebound, backfire, and Khazzoom-Brookes". *Energy Policy* 28, no. 6-7 (2000): 439-449. doi: 10.1016/S0301-4215(00)00024-0

Saunders, Harry D. "The Khazzoom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth". *The Energy Journal*, 13, no. 4 (1992): 131-148. doi: 10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol13-No4-7

Sorrell, Steve, and John Dimitropoulos. "The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions". *Ecological Economics* 65, no. 3 (2008): 636-649. doi: 10.1016/j.ecolecon.2007.08.013.

Wackernagel, Mathis, and William E. Rees. "Perceptual and Structural Barriers to Investing in Natural Capital: Economics from an Ecological Footprint Perspective". *Ecological Economics* 20, no. 1 (1997): 3–24. doi:10.1016/S0921-8009(96)00077-8