



Papeles de Energía

Nº2

Diciembre 2016

**The future of energy efficiency in Europe
and future energy demand**

Wolfgang Eichhammer

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

Pablo Arocena, Antonio Gómez y Sofía Peña

**Un metaanálisis sobre la elasticidad precio
de la demanda de energía en España
y la Unión Europea**

Xavier Labandeira, José M. Labeaga y Xiral López

Papeles de Energía

EDITOR

Pedro Linares

CONSEJO EDITORIAL

Claudio Aranzadi, Pablo Arocena, Laura Díaz Anadón,
Gonzalo Escribano, M.ª Paz Espinosa, Natalia Fabra,
Dolores Furió, Tomás Gómez San Román,
Xavier Labandeira, Juan Luis López Cardenete,
Mariano Marzo, Carlos Ocaña, Ignacio Pérez Arriaga,
Desiderio Romero, Gonzalo Sáenz de Miera, Antonio Soria.

Papeles de Energía no se solidariza necesariamente con las opiniones, juicios y previsiones expresadas por los autores de los artículos incluidos en la publicación, ni avala los datos que estos, bajo su responsabilidad, aportan.

Edita: Funcas

Caballero de Gracia, 28. 28013 Madrid

Diseño y maquetación: Funcas

Impresión: Cecabank

ISSN: 2530-0148

Depósito Legal: M-7537-2016

© Funcas

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, así como la edición de su contenido por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, electrónico o mecánico, especialmente imprenta, fotocopia, microfilm, offset o mimeógrafo, sin la previa autorización escrita del editor.

PATRONATO

Isidro Fainé Casas (Presidente)

José María Méndez Álvarez-Cedrón (Vicepresidente)

Fernando Conledo Lantero (Secretario)

Miguel Ángel Escotet Álvarez

Amado Franco Lahoz

Manuel Menéndez Menéndez

Pedro Antonio Merino García

Antonio Pulido Gutiérrez

Victorio Valle Sánchez

Gregorio Villalabeitia Galarraga



Índice

- 3 Introducción editorial: demanda energética y eficiencia**
- 7 The future of energy efficiency in Europe and future energy demand**
Wolfgang Eichhammer
- 39 La eficiencia energética, el efecto rebote y el crecimiento económico**
Pablo Arocena, Antonio Gómez y Sofía Peña
- 65 Un metaanálisis sobre la elasticidad precio de la demanda de energía en España y la Unión Europea**
Xavier Labandeira, José M. Labeaga y Xiral López

INTRODUCCIÓN EDITORIAL

Demanda energética y eficiencia

En el primer número de esta nueva revista señalaba que su objetivo es alimentar con información rigurosa el debate sobre la transición energética en España. Y decía también que gran parte de la complejidad de esta transición no está en las cuestiones técnicas, sino en factores sociales de tanta importancia como la respuesta de los consumidores.

En opinión de muchos, incluido del que esto escribe, la clave para lograr una transición suave y poco traumática está no tanto en la gestión de la oferta, sino de la demanda, y en nuestra capacidad de seguir proporcionando un servicio energético apropiado con cada vez menos consumo de energía. Así, la Agencia Internacional de la Energía ha manifestado que “la eficiencia energética es el motor invisible de los países OCDE, un motor que trabaja sin ser advertido para mejorar nuestra seguridad energética, reducir nuestras facturas energéticas y acercarnos a nuestros objetivos climáticos”. Quizá por compartir esta opinión, la Comisión Europea acaba de hacer público su objetivo (vinculante) de un 30% de mejora en la eficiencia energética en Europa para 2030.

En línea con estas posiciones, y para tratar de romper de alguna forma esa dinámica habitual del debate energético en España, que sigue predominantemente centrado en discutir sobre el papel de las distintas tecnologías de generación, este segundo número de PAPELES DE ENERGÍA, el primero en el que comenzamos a profundizar en los distintos aspectos de la transición energética en España, se

dedica al análisis de la demanda de energía, y en particular, al efecto que sobre ella pueden producir los avances en eficiencia energética.

En primer lugar, **Wolfgang Eichhammer**, investigador del Instituto Fraunhofer para la Investigación de Sistemas e Innovación, y coordinador del proyecto europeo ODYSSEE-MURE (la principal base de datos de medidas y políticas de eficiencia energética en Europa) explora el futuro de la eficiencia energética en Europa, haciendo énfasis en las oportunidades, pero también en los problemas existentes. Según el autor, la eficiencia energética es quizá el ámbito más complejo a nivel tecnológico del sector energético, y por ello no es fácil ni de medir ni de comunicar. Su artículo nos ofrece de una forma divulgativa y clara ejemplos numerosos de cómo es posible técnicamente reducir el consumo de energía en aplicaciones industriales, residenciales o de transporte. Así, Eichhammer estima que podríamos alcanzar en breve plazo viviendas con consumo energético nulo, vehículos convencionales que consumen 5 veces menos energía, o industrias intensivas en energía que podrían reducir su consumo de energía entre 2 y 10 veces. Cuando sumamos todos los avances, su Instituto estima que para 2050 la demanda de energía primaria en Europa podría reducirse con respecto a 2010 en un 25% por ahorros de conversión, y un 42% por ahorros en el consumo de energía final.

Sin embargo, como bien señala Eichhammer, el ahorro de energía no puede provenir únicamente de las mejoras tecnológicas: intervienen también factores económicos y de comportamiento, que en ocasiones pueden reforzar los avances tecnológicos, pero en otras mitigarlos o anularlos.

Por ello también parece necesario evaluar la posible respuesta en estos términos de los consumidores. Y, si bien la mejora tecnológica puede ser considerada de alcance global, la respuesta de los consumidores puede tener una especificidad importante a nivel país, por la importancia de los factores culturales. Hemos optado pues por solicitar a investigadores de prestigio españoles que nos ofrezcan sus análisis sobre estos factores no necesariamente tecnológicos, aplicados para España.

Un primer elemento muy importante de evaluar es el posible efecto rebote: es decir, en qué medida una mejora tecnológica puede ser contrarrestada por el

aumento de la demanda de energía, al hacerse la energía más barata en términos relativos y a la vez liberar parte de la renta de los consumidores para otros usos.

Pablo Arocena, Antonio Gómez y Sofía Peña, de la Universidad Pública de Navarra con la ayuda de un modelo de equilibrio general computable, nos explican cómo, cuando se introduce una mejora exógena en la eficiencia energética (en este caso del 10%), la reducción de consumo final es muy inferior (entre un 3,5 y un 4,7%), en función del tipo de energía considerado. Es decir, observan un efecto rebote para la economía española de entre el 53 y el 65%, menor para la electricidad y mayor para el carbón, con el gas natural y los derivados del petróleo en un lugar intermedio.

Los autores concluyen que es imprescindible tener en cuenta el posible efecto rebote en los planes de ahorro y eficiencia energética, tal como hacen otros países de nuestro entorno (por ejemplo, Reino Unido e Irlanda). También señalan que es necesario diseñar políticas de ahorro y eficiencia que mitiguen este efecto rebote.

Una política muy utilizada en nuestro entorno, aunque no tanto todavía en España, que promueve la eficiencia energética y controla el efecto rebote, es la basada en incrementar los precios efectivos de la energía, mediante impuestos u otros mecanismos. De hecho, cuando la mejora en eficiencia se consigue mediante señales de precio, la primera causa del efecto rebote (la reducción de los precios relativos de la energía) se ve muy reducida, y por tanto el efecto rebote final. Así pues, el conocer la respuesta de los consumidores ante cambios en los precios es un elemento también esencial para diseñar políticas de ahorro.

Esto es lo que hacen **Xavier Labandeira, José María Labeaga y Xiral López**, de la Universidad de Vigo y la UNED. Mediante un metaanálisis (un análisis estadístico del conjunto de resultados obtenidos en los estudios individuales existentes en este ámbito), los autores nos indican cuál puede ser la respuesta de los consumidores ante cambios en los precios de la energía, distinguiendo entre distintas fuentes energéticas, y también separando los efectos a corto y a largo plazo.

Sus resultados nos indican que la elasticidad de la demanda de energía en España es similar a la europea a corto plazo, pero que a largo plazo la elasticidad en

España es superior, algo que apunta al mayor recorrido que pueden tener en este sentido las políticas de demanda vía precio. De hecho, a largo plazo la demanda de energía alcanza una elasticidad nada despreciable de 0,9 (es decir, que ante un aumento de precios del 10%, la demanda se reduciría un 9%). Eso sí, a corto plazo las elasticidades son bastante inferiores. Una implicación evidente es que las políticas de precios a largo plazo (y por tanto con posibilidades de adaptación gradual) pueden ser mucho más interesantes que las de corto plazo, que serían más traumáticas y menos efectivas.

En cuanto a las diferencias entre fuentes energéticas, los resultados ofrecidos son también muy informativos: se observa cómo la demanda de electricidad es la menos elástica, tanto a corto como a medio plazo, similar a la del diésel. Esto es muy relevante en un contexto de muy alta dieselización del parque de vehículos, y también de una creciente electrificación de los consumos energéticos.

Vemos pues que existen importantes oportunidades para avanzar en el ahorro energético, pero también cuestiones como el efecto rebote o una reducida elasticidad al precio, que es necesario tener en cuenta para poder aprovechar estas oportunidades. De nuevo, confío en que los análisis ofrecidos en este número, y que les animo a leer en detalle, nos ayuden a avanzar en este sentido.

The future of energy efficiency in Europe and future energy demand

Wolfgang Eichhammer¹

Abstract

Energy efficiency can contribute hugely to mitigate climate change, to save money, and to improve security of supply. In this paper we explore the future of energy efficiency in Europe and its importance for the future energy demand. In particular, we look at the improvements in energy efficiency required to achieve our targets for energy consumption. We show that there are huge saving potentials available by the middle of the century (up to two thirds of primary energy demand, large enough to cover the 50% reduction target required in light of greenhouse gas reduction requirements. However, this will need specific policies to address the barriers energy efficiency faces. Indeed, energy efficiency policies need to be given a higher priority in the political and scientific agenda in Europe.

Keywords: Energy efficiency, Europe, potential.

ENERGY EFFICIENCY - THE INVISIBLE POWERHOUSE IN IEA COUNTRIES AND BEYOND

The International Energy Agency (IEA) calls energy efficiency “the invisible powerhouse in IEA countries and beyond, working behind the scenes to improve our energy security, lower our energy bills and move us closer to reaching our climate goals” (IEA, 2014). According to the Agency’s analysis, energy efficiency saved 3000 million tonnes of CO₂ in the time period 2000-2015, nearly half of which in China and another half in OECD countries (IEA, 2016). This represents more than 10% of the world’s 2015 CO₂ emissions. These few exhibits already show that the contribution of energy efficiency to mitigate climate change, to save money and to improve security of supply has been tremendous.

¹ Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, Germany and Utrecht University, Copernicus Institute of Sustainable Development, Netherlands.

Elder generations still have lived to first and second oil price shocks, whose economic and supply security impacts have been largely mitigated by energy efficiency improvements. Other factors have certainly also contributed to mitigate the impacts, such as enhanced recovery of fossil resources, discovery of new resources in the deep sea, diversification of fossil resources (in particular towards natural gas), penetration of renewable and nuclear energy... but according to the analysis by IEA, the largest contribution has been provided by energy efficiency.

In this paper we will explore the future of energy efficiency in Europe and its importance for the future energy demand. But before doing so we have to dig into the meaning of what we understand exactly by energy efficiency. We will see that this is a rather complex issue.

Later on we will dig into the question why –despite increasing energy efficiency– energy consumption may still be increasing worldwide. At the European level we have nevertheless already entered the phase of lowering energy consumption partly in consequence of energy efficiency policies. We will go further into that direction by investigating how lifestyles and energy efficiency interlink.

We will then look to the improvements in energy efficiency which are necessary to achieve our targets for energy consumption, which are largely determined by the steps to be undertaken to solve major problems: *e.g.* climate change requires the limitation of global temperature increase to 2°C or even 1.5°C compared to pre-industrialized levels. Supply security considerations may lead policy makers to limit the dependency on unstable world regions. Competition among industries make it necessary to reduce energy consumption for economic reasons.

In a central part of this paper we discuss how energy efficiency policy is impacting on energy efficiency and which targets are to be achieved through energy efficiency. Electricity efficiency is a central element in future energy efficiency policies given the fact that the power sector will become increasingly important (due to the trend that more and more energy uses may be electrified:

cars may be running on electricity, buildings are increasingly heated by heat pumps based on electricity, industrial processes are moving towards more electricity-based processes).

We will have also a longer-term view to the limits of energy efficiency in a more far distant future.

ENERGY EFFICIENCY – WHAT IS IT EXACTLY?

When it comes to renewable energy sources, progress is generally easily measured (for example in terms of Megawatt installed renewable power or in terms of shares of energy consumption being covered by renewable) and easily understood. Energy efficiency progress is considerably more difficult to measure and understand. At the level of a country or worldwide, energy intensity improvement is used, *i.e.* by which amount the ratio of energy consumption and value created (Gross Domestic Product) is improving. There are many reasons which may contribute to lowering energy intensity and which may be not easily associated to energy efficiency. The problem stems from the fact that in our mind we associate energy efficiency in one way or the other with some technical improvement: for example a more efficient car uses less energy for the same number of kilometers driven. Or a heating system generates the same amount of heat with less energy. In both cases the devices are considered more efficient than others.

However, there are many more factors that contribute to lowering (or increasing) energy intensity which can be grouped into three main factors: economic factors, technical factors, behavioral factors. In a larger sense they all contribute to improving energy efficiency but in more refined approach to energy efficiency²

2 See in particular the ODYSSEE-MURE project on European Energy Efficiency Indicators and Policies (www.odyssee-mure.eu) which has developed an own energy efficiency indicator ODEX which measures energy efficiency in a more narrow technical sense and can be considered as the “Dow Jones” for energy efficiency. This indicator avoids as far as possibly monetary measures of activity such as GDP but uses rather at the detailed level physical units such as tonnes of products, square meters of inhabited and heated/cooled surface, kilometers driven by cars, tones transported by lorries, energy consumed by each employee in services. This approach avoids to a large degree the economic and structural artifacts described in the table below.

the different components are separated and energy efficiency improvements are measured by more technical indices.

The mere volume and complexity of the table shows that energy efficiency is not easy to measure and easy to communicate. This is one disadvantage in the policy sphere which is largely dominated by non-specialists, including in national and European parliaments. The highly technical aspects of energy efficiency and the large number of technologies involved makes it complex to be understood in

Table 1

Factors impacting energy intensity – not all is easily associated with energy efficiency

Economic factors impacting energy intensity

Move of societies towards more services and high value industries, away from the energy-intensive industries: these are structural changes which make that societies, the more developed they get rely more on high value services rather than on the production of energy intensive raw materials. These are still needed but to a much lesser degree, as infrastructures have been built up and replacing infrastructures requires less energy. Also newly built infrastructures require less energy-intensive materials due to material efficiency (the twin sister of energy efficiency).

Another less evident reason for the improvement of energy intensity are changing exchange rates as frequently energy intensities are converted to the same currency, *e.g.* US Dollar. If the exchange rate between Dollar and the national currency changes then the international energy intensity changes though the national one (measured in national currency) may remain constant. In Europe many countries share the Euro, so the problem arises less among these countries.

These factors occur partly autonomously, partly they are influenced by policies but not necessarily energy efficiency policies: these may be industrial policies, monetary policies, trade policies etc.

Table 1 (*continued*)

Factors impacting energy intensity – not all is easily associated with energy efficiency

Technical factors impacting energy intensity

Technical factors impacting on energy consumption may be that what is commonly associated with energy efficiency.

For example, as stated above, a more efficient car uses less energy for the same number of kilometers driven. Or a heating system generates the same amount of heat with less energy and a well-insulated home uses less energy than a badly insulated one. A ton of steel is produced with less energy etc. (the latter may be the consequence of a more efficient process or the replacement of a less efficiency process through a new one: *e.g.* recycled steel may replace primary steel).

Another less evident reason for the improvement of energy efficiency, this time on the technical side, is the penetration of certain type of renewable in the power sector (in particular wind and solar photovoltaics). This has to do with the fact that a power sector which is mainly based on fossil power plants or nuclear has a poor efficiency (on average 40% in Europe and up to 58% for the best gas-fired plants), while the renewable energy sources mentioned have a high nominal efficiency of 100%. Their massive penetration leads than to a decrease in energy intensity hence to an apparent improvement in energy efficiency. On the other hand, a negative impact on energy intensity may be exerted by an increased penetration of electricity, as long as the conversion efficiency of the power sector is low. For example the penetration of electric cars will increase energy intensity as long as the power sector is not largely based on renewable energy sources.

Technical improvements may be occurring in an autonomous manner or may be policy driven: for example industrial processes are improving all the time because energy is a cost factor and reducing that cost can improve competitiveness. On the other hand buildings have been mainly improving by energy efficiency policies (*e.g.* building regulation on heat losses from buildings or subsidy schemes to home owners to put insulation on their home). Frequently, for the analyst it is important to distinguish autonomous energy efficiency improvements from policy driven improvements, as he wants to know how much effort is needed, beyond “business-as-usual” to achieve more reduction in energy consumption and greenhouse gas emissions.

Table 1 (*continued*)

Factors impacting energy intensity – not all is easily associated with energy efficiency

Behavioral factors impacts impacting energy intensity

Finally energy intensity may also be influenced by behavioral factors: more comfort could drive energy intensity up (more heated/cooled surfaces, longer heating/cooling periods, larger cars, penetration of sports utility vehicles SUVs, larger televisions etc.). This is frequently associated with rebound effects, *i.e.* when money is saved with energy efficiency measures –but also when we get richer– part of the additional money is spent on energy consuming activities. Frequently, such behavioral factors destroy part or all of the savings achieved at a technical level.

Fortunately, behavioral factors may also impact positively on energy intensity. Lifestyle changes may lead people to spend less time in traffic jams (hence driving less), make them chose less wasteful products, chose cars not according to the social image but functionality or don't own cars at all (car sharing, city cars).

Also such factors may be impacted by policy making: for example the choice of car size or between car and public transport may be a societal trend but could also be the consequence of a dedicated energy efficiency policy. However, such behavioral changes may not only be the consequence of energy efficiency policies but also of housing policies, transport policies, fiscal policies etc. which are frequently interacting with energy efficiency policies.

Source: Own elaboration.

the energy field – and is one explanation why energy efficiency is more difficult to tackle. The other one is that improvements of energy efficiency are more difficult to show by a policy maker: An energy efficient building looks still rather similar to a less efficient one; the efficiency is hidden in the walls, windows, roofs and the cellars.

Though energy efficiency shares this complexity with a variety of other fields (possibly it is as difficult to understand the technical aspects of internet technology or genetic modifications) in the energy field this is possibly the most complex field at present. Other fields such as renewables are nevertheless evolving into similar complexity: For example, understanding the market integration of mainstream renewable energy sources into electricity markets implies a solid understanding in electricity markets and their function. Thus, in the future, the whole transformation of the energy system towards a more sustainable one is increasingly complex as various parts of the energy system, policies and the societal levels involved are more and more interlinked.

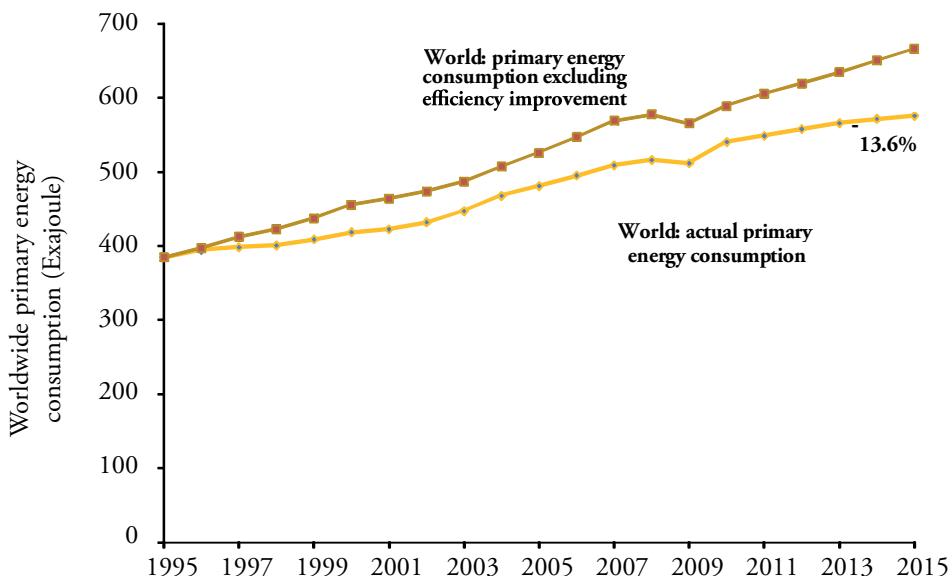
WHY –DESPITE INCREASING ENERGY EFFICIENCY– ENERGY CONSUMPTION IS STILL INCREASING WORLDWIDE?

Improving energy efficiency does not mean automatically that energy demand is decreasing. In many developing countries in an early stage, energy intensity may even have been increasing (not to talk about energy consumption), given the large need in an early stage to set up industries or provide first basic human needs. In more developed countries such as China, energy intensity is already considerably decreasing but not fast enough to curb energy demand. Finally, in the most developed countries such as the OECD countries, energy intensity is improving faster than activity levels are growing which implies falling energy demand. The IEA states that since 2007 the peak in energy consumption has been reached by OECD countries and that it is unlikely to return to those levels in the future any more (IEA, 2016). This holds in particular for Europe who has reached its peak energy about that time also.

On a world-wide level, between 1995 and 2015, energy consumption has been increasing by 50% while GDP growth was 73% (Enerdata Global Stat, 2016). This shows that the main reason why energy consumption has not been growing even faster is due to energy efficiency. Without energy efficiency improvement, world energy consumption would have been by nearly 14% higher, as shown by the graph below.

Exhibit 1

Energy efficiency – the “first fuel”



Source: Own calculations based on data from ENERDATA Global Stat.

Despite this strong improvement in energy consumption by energy efficiency, it may nevertheless still increase further, mainly in developing countries driven by economic needs and lifestyle (see the following section). Population increase also plays a primary role. Though per capita income has greatly risen in large number of those countries, notably in China, the distance to the developed countries is still large. China alone produces presently in a quarter year 5 million cars and though it is unlikely that they will all be able to drive in the already now over-crowded cities, they may penetrate further the rural areas. OECD countries still use three times more energy per capita on average than developing countries (in 1995 this was still nearly five times more). It is unlikely that this level will remain as high as now in OECD countries, and it is also unlikely that developing and transition countries will reach the same level of consumption. If those human beings would need the same amount of energy as OECD countries, the world energy consumption would be two to three times larger than it is today. It follows from this, that in order to achieve targets on energy consumption and greenhouse gas emissions, technical energy efficiency improvement has to step up further but also that policies aiming at sufficiency strategies need to be stepped up.

Signs are increasingly showing nevertheless that countries like China are strongly stepping up their energy efficiency policies. China therefore may reach a peak in energy consumption soon (while some even think it has already reached the peak, given the less strong economic growth in recent times and given the weight put on energy efficiency in the national policy sphere).

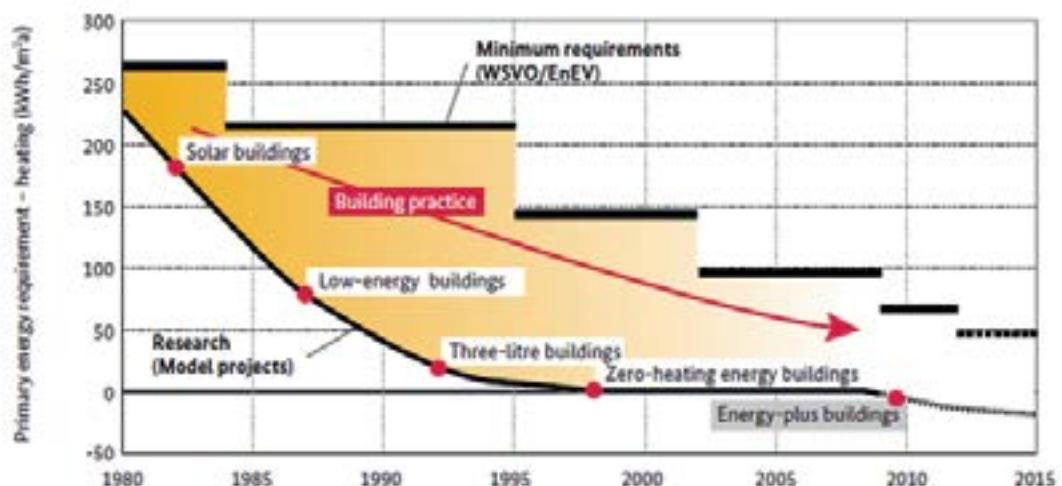
In the following section we illustrate the impact of lifestyle on energy consumption more in detail and argue why energy efficiency policies must also embrace sufficiency strategies more strongly.

ENERGY EFFICIENCY AND LIFESTYLES

In the past, though energy efficiency had been increasing in many areas, energy consumption was still increasing or has been hardly decreasing. Lifestyles are important contributors to this evolution. This is illustrated in this section more in detail with buildings. The following graph shows the improvements in building

Exhibit 2

Energy efficiency – the “first fuel”



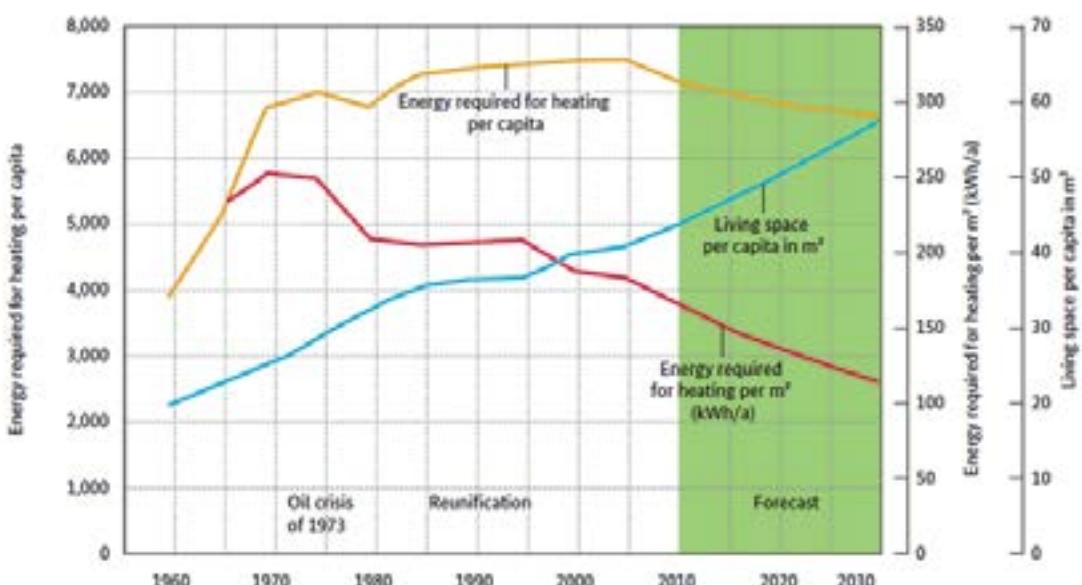
Source: Fraunhofer IPB, cited from the 6th Energy Research Programme of Germany.

regulation in Germany as compared to the average building of the sixties, which used more than 250 kWh energy per square meter and year to heat the building. Today, after many building regulations, standard buildings use only one fifth of that energy, and research pushes even more efficient regulation into buildings, up to Plus-Energy houses in the future, i.e. houses which produce more energy than they consume. Houses will become power generation centers on their own that could provide energy to other sectors such as the industrial sector.

Despite this amazing achievement in the energy consumption of new buildings, when it comes to the energy consumption of all our buildings we have hardly achieved any reduction per capita over the past forty years. How is this possible? The main reason are the increased surfaces available to each person in Germany. While the space heating need for the buildings has nearly halved per square meter, we have increased the space available to each person by more than a factor of two. In total, the overall consumption of buildings increased even slightly. A factor adding to this is that our room temperatures and heating periods have

Exhibit 3

Energy efficiency – the “first fuel”



Source: DETAIL Green Books, cited from the 6th Energy Research Programme of Germany.

been increasing over time: while in the sixties only a small number of rooms was heated, and only to 18°C and from mid-October to mid-March, today buildings are frequently heated in all rooms to 20-22°C with extended heating periods.

Only in the future it is expected that the technical improvements might outweigh the further expected increase in surfaces per person. In some more distant future, this may be enhanced by saturation effects (what is the benefit of living alone in a house of 200 square meters?) or by energy efficiency policies.

Another example of such negative impacts of our lifestyles are the size of cars (penetration of sports utility vehicles) and the distance driven, though the latter tends to saturate, at least when driven by cars, due to the increased time used in transport. We tend to spend on average always roughly one hour in transport. By car we have a limited distance we can reach. Only high-speed trains may open up larger distances to users (and perhaps self-driving cars in the future which allow drivers to use the time more efficiently but then cost may be a limiting factor).

This shows that choices due to our comfort have extremely large impacts on energy consumption. Therefore limiting comfort factors (sufficiency strategies) may in the future need largely to contribute to climate mitigation policies and may form – in difference to today – an integral and accepted part of energy efficiency policies.

There are already a variety of policies today which impact on our lifestyles. They may be energy efficiency policies or policies from other fields. For example in Denmark when a car is purchased, it is taxed so heavily that the number of cars per 1000 inhabitants is considerably lower than in the rest of Europe. In France, a bonus-malus-scheme incites car buyers to buy cars with less CO₂ emissions and hence (frequently) less energy consumption. Taxation policies tax owners of large cars more strongly than other car owners, while persons who drive more pay more through higher fuel taxes. Owners of large buildings pay more than owners of smaller buildings or persons in rented buildings. This means that there are already a larger number of “sufficiency policies” which are accepted while others are not: Typically taxation policies are more accepted (though from time to time there are protests when taxation is felt as high) while regulation is felt as

too interventionist (yet), and reserved to emergency cases. While during the oil price shocks in the seventies and eighties, regulation stipulated maximum room temperatures in buildings, this is hardly accepted or part of the energy efficiency policy portfolio today.

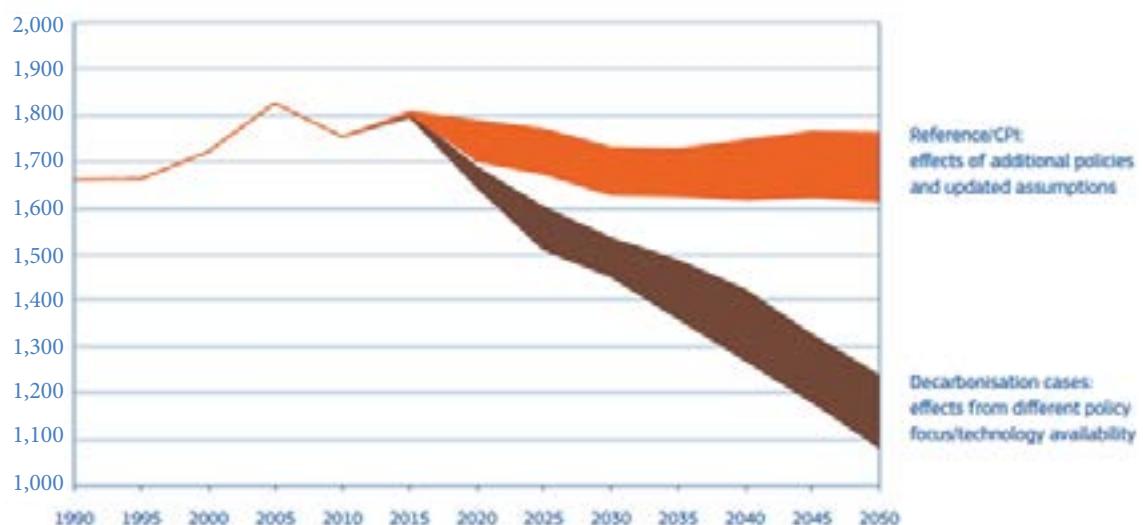
WHERE DO WE NEED TO HEAD TO FOR ENERGY EFFICIENCY? – A LOOK TO EUROPEAN ENERGY EFFICIENCY TARGETS

The exhibit below shows the trend where current energy efficiency policies bring us, which covers a range of stabilisation to -10% compared to present level. Though one has to doubt whether this reference reflects properly the efforts

Exhibit 4

EU Energy Roadmap 2050 – range in current trend (REF/CPI) and decarbonisation scenarios

(Million toe)



Source: EU Energy Roadmap to 2050.

already undertaken, as well as saturation effects in comfort factors and living styles, the necessity to reduce energy consumption by about 50% as compared to present levels by 2050 is without doubt. This is the range required to achieve overall a reduction of greenhouse gases by at least 80%, if not 95% as requested by the EU Carbon Roadmap 2050.

FURTHER RADICAL INNOVATION IN ENERGY EFFICIENCY POSSIBLE AND NECESSARY

The above has shown that it is necessary to step up energy efficient solutions to compensate for a large degree for lifestyle impacts in order to achieve the requested reduction of energy consumption. This forces engineers to find innovative and intelligent solutions that use much less energy.

There are many examples of this type which need to be enhanced and expanded:

For example, as mentioned previously, housing envelopes have already reached the stage where the building may be a producer of energy rather than a consumer of energy. The main issue of research is here how to make those buildings cheaper, and the issue of energy efficiency policy is how to have those building penetrate faster. Nevertheless, much more radical changes in energy efficiency could occur further in buildings through materials whose properties can be dynamically adapted to the environment (outside temperatures, incident light).

Why does a pixel on a screen need power even if nothing changes?



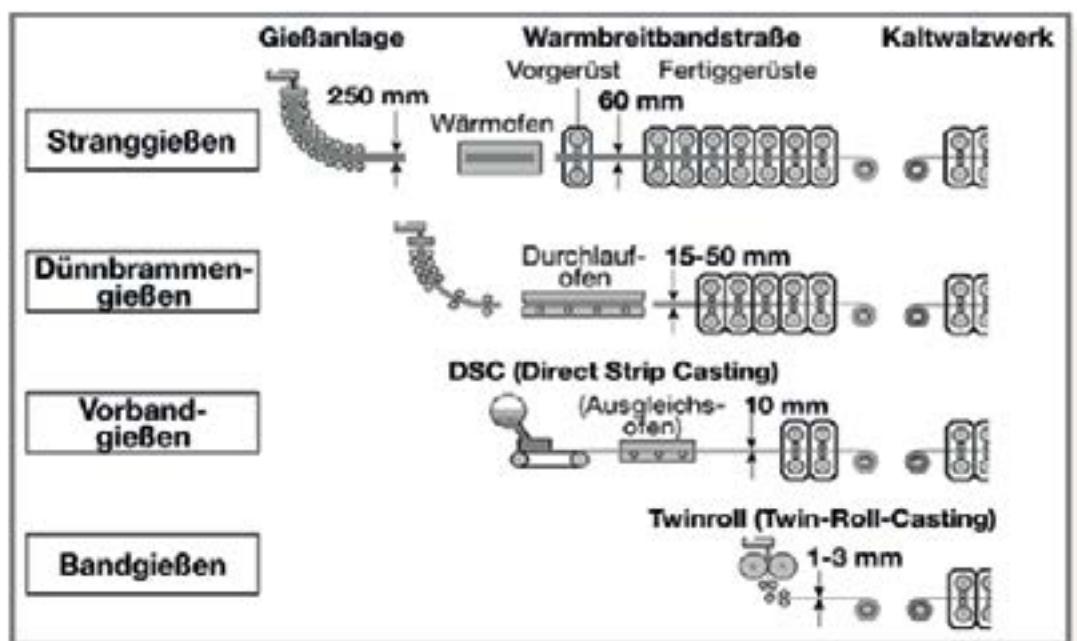
Today a television or computer screen uses electricity even if nothing changes on the picture. With electrophoresis displays the pixels can be maintained in a bistable state and rest there until they are changed again. This has the advantage that they only consume little electricity, as it is only need to change the state of the pixel. This is particularly relevant for battery driven displays.

New bi-stable LCD technology uses 99% LESS power than traditional LCDs: Traditional LCD requires 25-50mW of constant power to display even a static, unchanging image. Bi-stable LCDs can display the same information for over a year after power has been turned off with just a onetime 2-5second burst of 10mW of power.

In cement making new processes relying on a different chemistry and working at lower temperature may considerably lower energy consumption for the process. Cement represents 5% of worldwide CO₂ which is a larger contribution than air traffic. The Karlsruhe Institute of Technology KIT in cooperation with industry develops Celitement: a new hydraulic binder based on previously unknown calcium hydrosilicates that harden after gauging with the formation of calcium silicate hydrates (C-S-H phases). The material is produced in a two-stage process with maximum temperatures of around 200 °C (while the present processes burn clinker at 1400°C. This implies a sharp reduction in the consumption of lime

Exhibit 5

Shortening of process chains by more efficient rolling procedures



Source: Aichinger and Steffen (2006).

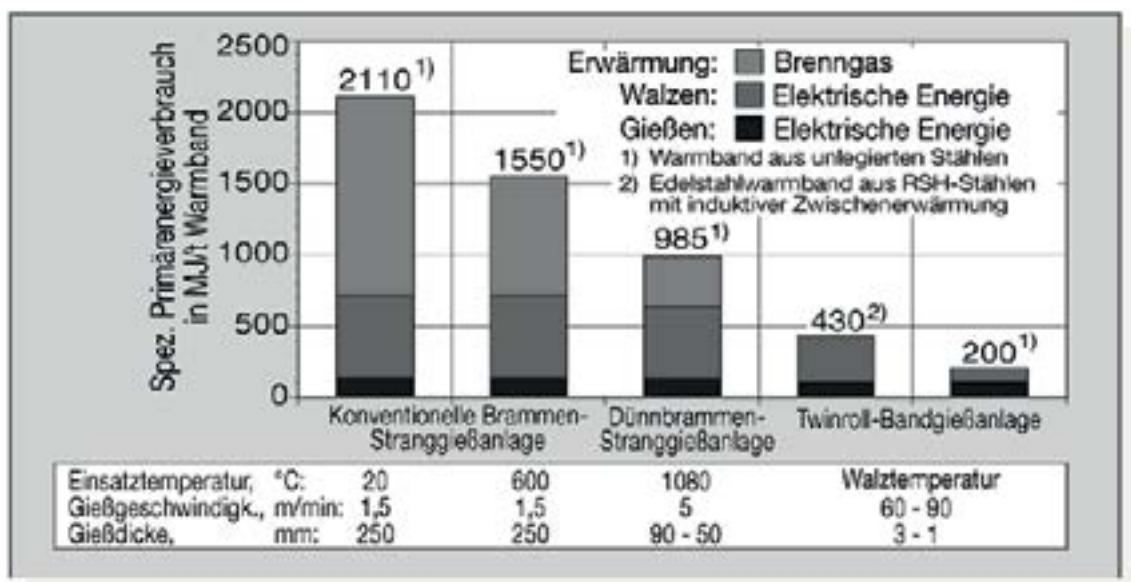
and energy, and saves up to 50% of the CO₂ emissions in production. However, the way to commercial application is still long.

In steel making near-end shape steel production can reduce today's energy consumption by up to 90% (as multiple heating up and cooling down of the materials is avoided); the electricity for the rolling can be reduced by two thirds (given the fact that the length of the rolling street can be reduced largely as illustrated by various steel rolling processes).

The path to such radical energy efficiency improvements is long: the larger the process, the longer. But many examples from practice show that, when energy efficiency is put in the focus. This is well illustrated by specific case studies from the industrial sector (taken from the annual dena energy efficiency awards to industry, see references) which illustrate on one hand the large potentials, and on the other hand the important role of the company management and how it is able to motivate the staff and integrate their enthusiasm.

Exhibit 6

Specific primary energy consumption for the process step from liquid steel to hot rolled steel for different process technologies



Source: Aichinger and Steffen (2006).

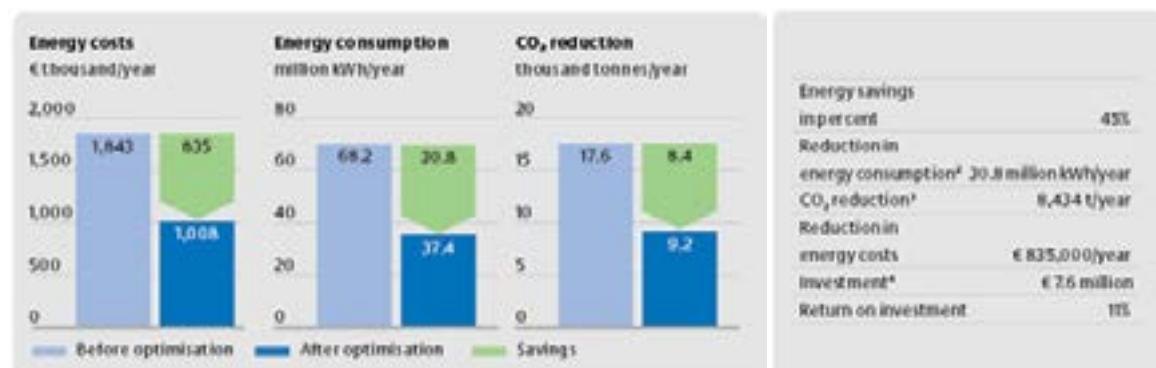
*Example 1: Aluminium Norf GmbH – Process optimisation in the metal industry
(dena energy efficiency award 2014)*

Aluminium Norf GmbH pursued the goal of moving aluminium coils carrying the heat from the cold rolling process for further processing in furnaces without a loss in temperature. An approach contrary to the previous practice of cooling aluminium coils heated from the rolling process to below 60 degree Celsius and then, for safer process conditions, heating them up again to an annealing temperature of 480 degree Celsius. To achieve this goal, the company established a plant concept never previously applied in industry and realised the large-scale use of an energy-efficient annealing furnace plant with protective gas preheating and a primary control concept. The thermal state of each aluminium coil is computer controlled along with the energy-efficient operation of the furnaces with individual burner zones. A temperature measuring concept utilises the individual burner control with a simultaneously reduced number of burners.

Selected energy efficiency measures:

- Utilisation of the residual heat from the rolling process during annealing through the use of hot coils
- Protective gas preheating with the aid of exhaust gases
- Computerised control for each aluminium coil
- Equipping all fans and blowers with variable-speed drives

Exhibit 7



Source: German energy efficiency agency dena (energy efficiency award).

- Sealing and insulating the furnaces

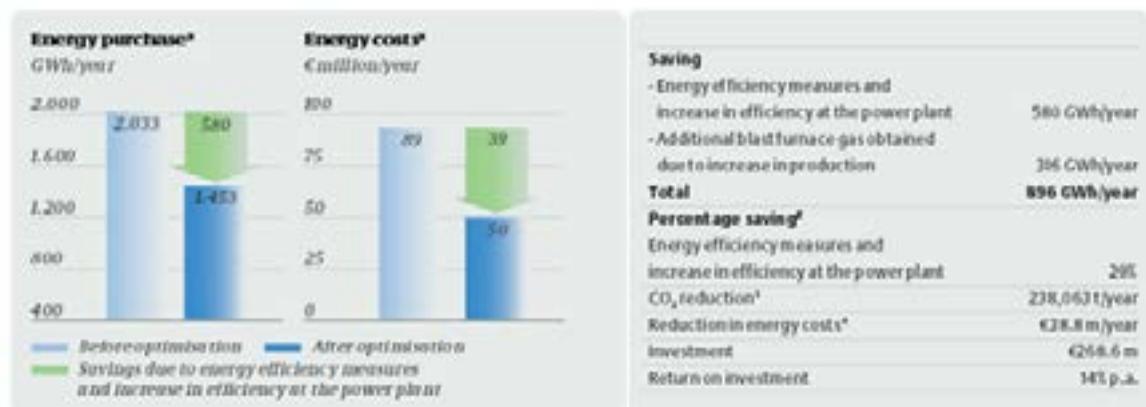
Example 2: SALZGITTER FLACHSTAHL GMBH, an international manufacturer of connection technology (dena energy efficiency award 2013)

Salzgitter Flachstahl GmbH produces at the site Salzgitter as the largest single entity of the Salzgitter AG flat steel products. About 4,800 employees produced 2012 around 4.5 million tons raw steel (turnover of 2.8 billion Euro). For a structured administration of all single measures a database was established in which all ideas and measures of the Project "EE EnergyEfficiency" were included and described. By that the staff is continuously informed about the project progress and motivated for own ideas with respect to a lower energy consumption. By March 2013 in total 234 energy efficiency measures had been integrated in the database and 118 had been put into practice.

Selected energy efficiency measures:

- Use of pure oxygen to reduce the use of fuels in furnaces
- Renewal of the regulation for heating of the production facility cold flat products
- Use of recuperators in high temperature processes
- Modernisation of the blast furnace gas power plant

Exhibit 8



Source: German energy efficiency agency dena (energy efficiency award).

- Optimisation of the switching off of plants while idle
- Running conveyer belts depending on the need
- Introduction of frequency converters to optimise motor use
- Optimisation of compressed air system and lighting of the production facilities

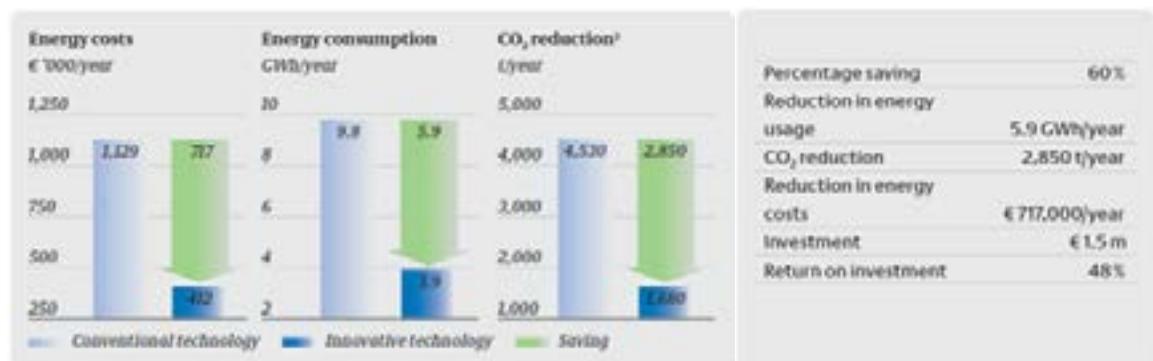
Example 3: SCA Hygiene Products, providers of measurement equipment (dena energy efficiency award 2012)

Endress+Hauser Conducta GmbH + Co. KG is one of the world's leading providers of measurement equipment and complete systems for liquid analysis. The company manufactures with more than 600 employees. The company's environmental management has been certified according to ISO 14001 since 2009; its energy management has been certified according to ISO 50001 since 2012.

Selected energy efficiency measures:

- Heating system with CHP station and gas-fired condensing boilers
- Ground collectors for generating ventilation heat and cooling
- Activated concrete core for heating and cooling
- Use of a free cooler for generating cooling
- Energy-efficient ballasts and light sources

Exhibit 9



Source: German energy efficiency agency dena (energy efficiency award).

- Reduction in the number of printers and virtualisation of the servers
- Electric vehicles

WHERE ARE THE FUTURE LIMITS TO ENERGY EFFICIENCY?

The previous section has shown that enormous energy savings have been achieved in some energy uses. By the middle of this century 50% reduction in energy consumption is required. In many sectors the long-term potentials are there for a strong improvement in energy efficiency but they require important efforts to research and implement such improvements.

The whole *building sector* in Europe may at the end reach a nearly zero energy level. The European energy efficiency policy has this in focus for the middle of the century but the path to that moment is still very long. Many of the buildings that will be existing in 2050 are already around now and require substantial improvement. The thermal rehabilitation of buildings must be largely stepped up to reach such a level. At present in many countries in Europe it is less than 1% annually and must reach levels of the order of 2-3% annually.

Electric appliances have made enormous progress in the past 20 years, bringing the average device from a D level around 1995 to A++ or even A+++ on the European labeling scale. A+++-refrigerators today use 60% less energy than A-refrigerators, which in turn uses 50% less than the D-refrigerators of the nineties. Hence A+++-refrigerators consume only 30% of the electricity compared to some 20 years ago. Further progress is bound to more radical improvements (*e.g.* dry cleaning of clothes). IT appliances, in particular screens as illustrated above, have still a large potential for energy efficiency, well in excess of 50%. Stand-by consumption was largely reduced by the electricity efficiency standards under the Eco-design directive. Old appliances had stand-by consumption in the order of 7-10 W while present standards are more than ten times lower. Too bad nevertheless that such appliances were already available in the early nineties but did not make it to the consumer due to a lack in policy making in that field.



The *transport sector* sees on one end a strong drive towards electric vehicles which will bring energy consumption further down. Lightweight cars could reduce energy consumption to 1 liter per 100km. Trucks are more difficult to reduce energy consumption but presently new concepts in the form of overhead electricity cables for truck arise. Those could be able to open also for trucks the benefits of electric drives which is not possible with battery driven vehicles so far. Even more difficult is energy efficiency in air traffic: although the economic pressure on companies is very high to reduce energy consumption, given the international environment and the high share of energy cost in overall running costs, there is not radical change ahead but continuous progress. On a technical scale the Solar One flight around the world has shown the scope, but this is far from being realizable for large passenger aircrafts by the middle of the century. Reduced air friction has continuous scope of improvement. Scale effects (larger planes) have spurred larger improvements in the past. But in future this may be more limited as less routes offer large enough passenger potentials, nor are airports easily adapted. In total energy demand growth for air travel is still not yet compensated by energy efficiency improvements. Space craft tourism may offer further scope for energy demand though at present it is only open to smaller groups of the society.

SEVs* instead of SUVs....



- L1 (2009: diesel plug-in-hybrid 0.99 L/100 Km (238 mpg_{-us})

- 381 kg, twin-cylinder, common-rail turbodiesel, 10.5 kW E-motor, 800 cc

- 158 km/h (99 mph)

- lightweight materials 650 km using 6.5 l.

- XL1 (2011): diesel plug-in hybrid 0.9l/100 km (260 mpg-US)

- 795 kg, two-cylinder turbo-diesel 800 cc, 35 kW. Lightweight materials



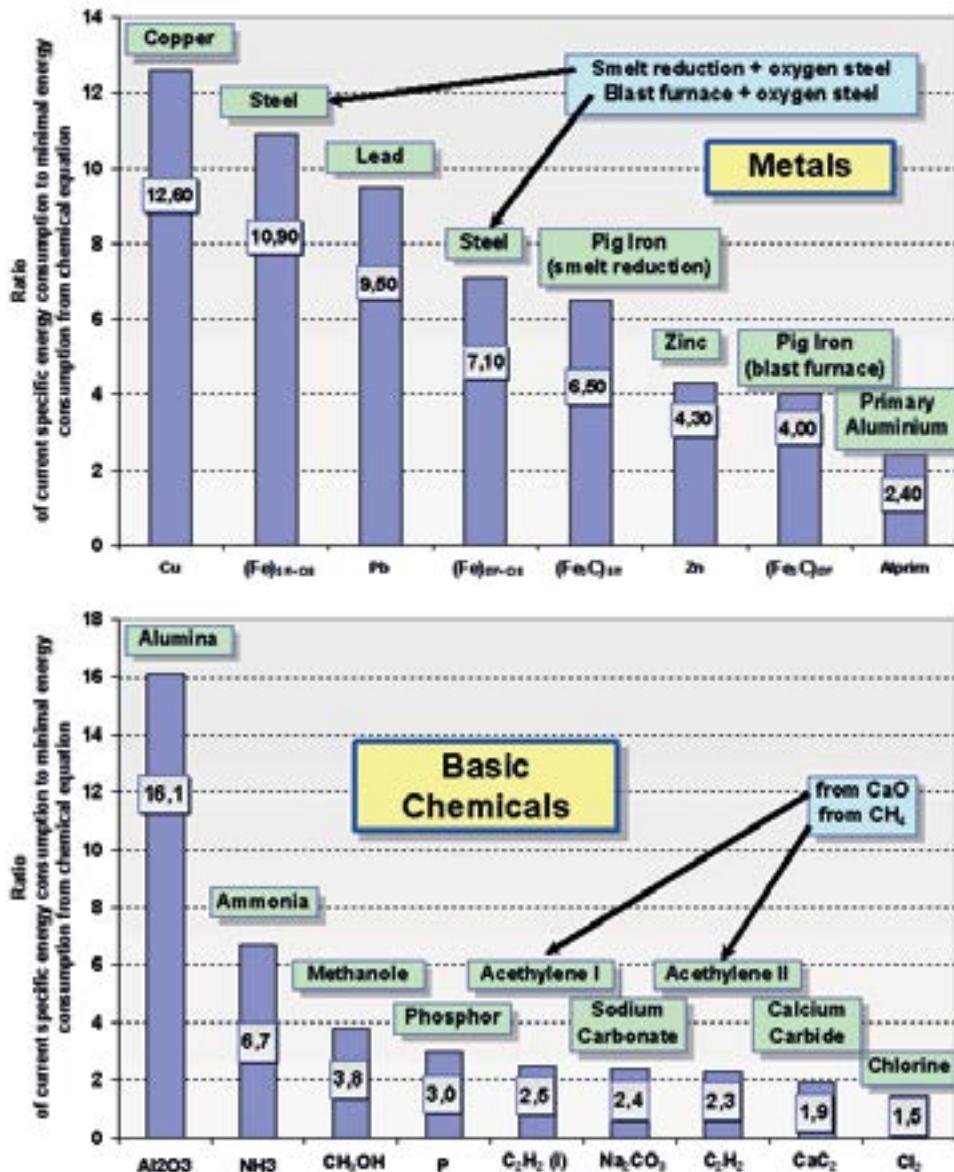
Note: *Super Efficient Vehicle.

Source: Wikipedia.

The industry sector is more difficult to tackle in terms of long-term potentials for energy efficiency. The limits of energy efficiency in industrial processes are large dominated by the chemistry of a given process. Present processes are still,

Exhibit 10

How much more are large industrial processes presently consuming than their theoretical minimum energy consumption



Source: Fraunhofer ISI.

nevertheless factors away from their theoretical limits: typical metals a factor 2 to 12, typical chemicals a factor 1.5 to 16, as illustrated with the following exhibits. This does not mean that these potentials are easily accessible given that they have been subject to much research already in the past. However it shows that there is a scope and individual processes, when radically thought new in one or the other manner, have brought about substantial energy efficiency improvements. This may involve combining processes which use energy and others that consume energy in the same reaction vessel (case of the QSL process for lead smelting), changing the chemistry for the process (this is the target of new cement making processes) or at the end move to other, less energy intensive materials. The time frame for developing such solutions and bringing them to a marketable product, however, should clearly not be underestimated.

Dramatic cuts in energy consumption by a factor of 2 have been shown possible by highly decorated industrial processes. For example, the 1st prize 2009 in the award for innovative climate and energy solutions iku in Germany organised by Fraunhofer for the German Industrial Head Organisation BDI and the German Ministry of the Environment goes to.....

A new furnace design for aluminium working: 50% less energy consumption by using superconductors for magnetic heating.



Source: Award for innovative climate and energy solutions iku (Germany), Zenergy Power.

A second way of saving energy is through material efficiency: Example from the Deutsche Mechatronics GmbH, Mechernich: Gluing metal sheets instead of using massive materials. In printing drums transport the freshly printed paper and the printing colour should not touch the drums. High precision is required.



Instead of producing the drum out of massive material the company produces the drums by gluing metal sheets. Material savings are 48%, additional energy savings through reduced weight for the rotating parts.

Source: German material efficiency agency demea.

However, improving energy efficiency in industry is not only a technical matter; it is also a matter of overcoming the barriers in companies. For that purpose so-called Learning Energy Efficiency Networks (LEEN) have been set up in Germany that shall overcome the transaction cost barrier in companies. Innovative companies take these networks as a chance to increase energy efficiency and, at the same time, improve their own competitive position. By learning from each other a multitude of companies cooperate in order to save energy in the most cost-effective way. The main starting points of the cooperation in the networks are efficiency improvements with respect to cross-cutting technologies (*e.g.* compressed air systems, combined heat and power systems, electrical drives).

Table 2

Examples from the LEEN Networks

Modernisation of a compressed-air system

One-off investment: €70,000
Energy savings: 9 % p.a.
Cost savings: €60,500 p.a.
Payback: 1.2 years

Exchange of 250 lights in the production area

One-off investment: €11,500
Energy savings: 48 % p.a.
Cost savings: €7,100 p.a.
Payback: 1.6 years

Modernisation of a heat exchanger

One-off investment: €42,000
Cost savings: €58,600 p.a.
Payback: 0.9 years

Heat recovery concerning a compressed-air system

One-off investment: €45,500
Cost savings: €46,600 p.a.
Payback: 1 year

Fuente: LEEN.

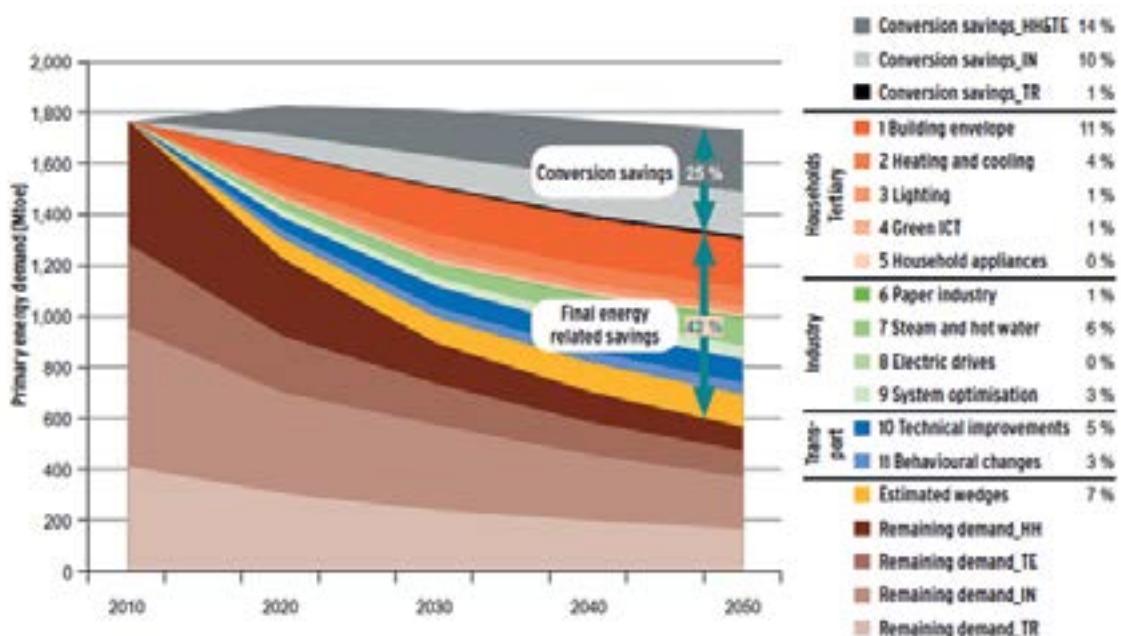
The scientific evaluation of 30 networks in Germany identified approximately 4,000 profitable measures (average internal rate of return, IRR: about 35%; average payback period: about 3 years). The evaluations showed that companies cooperating in networks increase their efficiency twice as fast as the German industrial average.

OVERALL – HOW MUCH POTENTIAL IS OUT THERE IN ENERGY EFFICIENCY IN EUROPE?

Based on the previous view on energy efficiency improvements possible at the long-term in all sectors, the question arises, how much potentials for energy efficiency exist compared to the target of 50% improvement in energy consumption by the middle of the century? The exhibit below shows the answers provided to this question by a detailed energy systems analysis looking in every sector to the potentials available for energy efficiency up to 2050.

Exhibit 11

Overall primary energy savings potentials by 2050 in the European Union



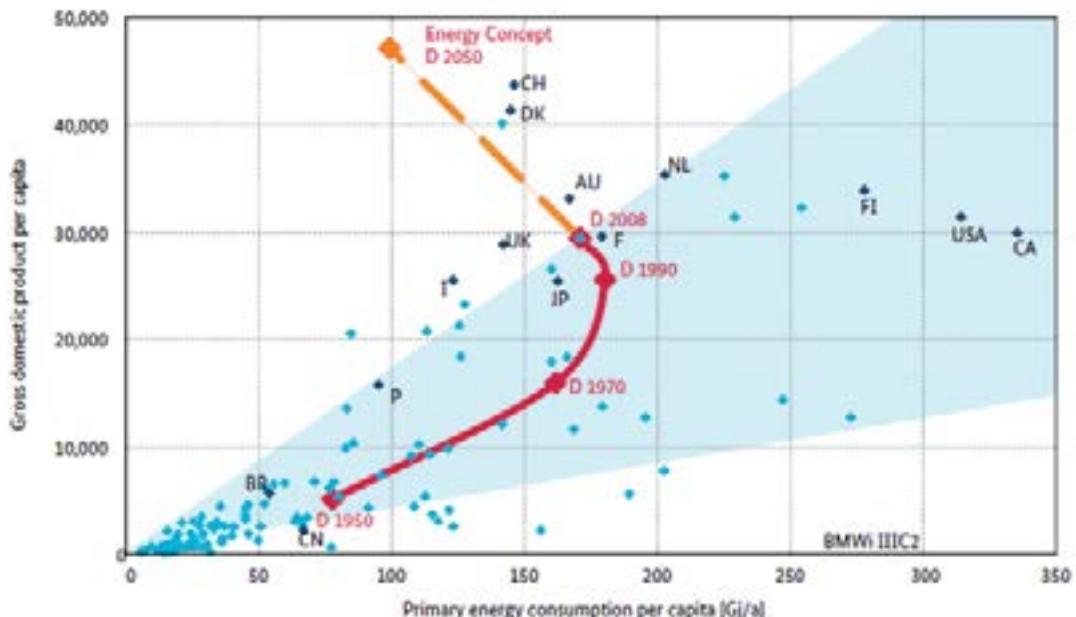
Source: Fraunhofer ISI (2014).

These potentials are realistic potentials, as they do in general respect that people will only invest in new technology after a reasonable lifetime of the products and processes. All in all, the analysis shows that taking energy efficiency potentials in the demand side (final energy related savings) and the supply side (conversion sector savings) together, including their interaction, savings of two thirds of present energy consumption are feasible. This is largely in excess of the required 50% reduction in Europe.

Another way of looking to the energy efficiency challenge is to compare the “energy efficiency path” of a country like Germany, in the past and required in the future up to 2050. It shows the radical change in path required for the 2050 target when comparing with countries that are consuming while having reached higher wealth levels.

Exhibit 12

Economic development and energy consumption in selected countries in 2008, plus the course plotted by Germany's energy sector from 1950 to 2050

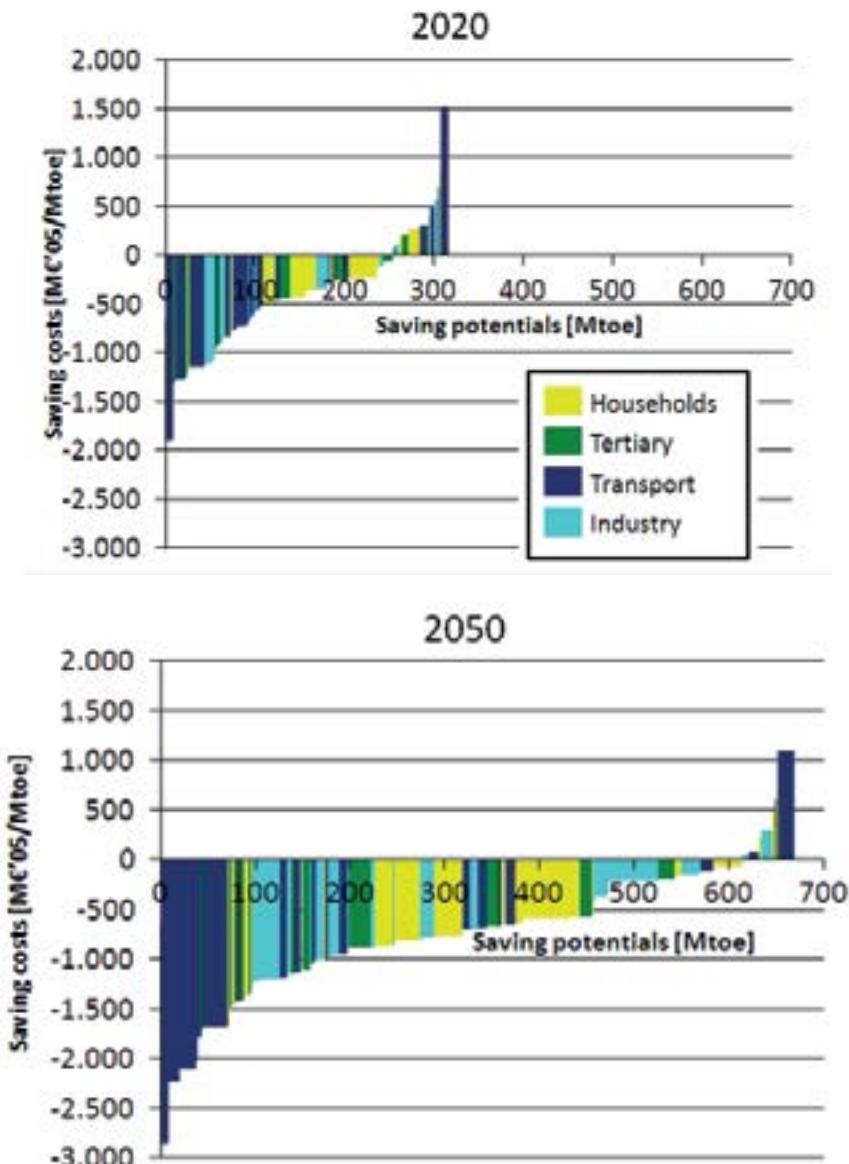


Source: 6th Energy Research Programme of Germany.

What is more, these saving are economic. This is illustrated with the following exhibits showing so-called cost-potential curves (they show which energy efficiency potentials are available at which cost). At some point in time potentials get more

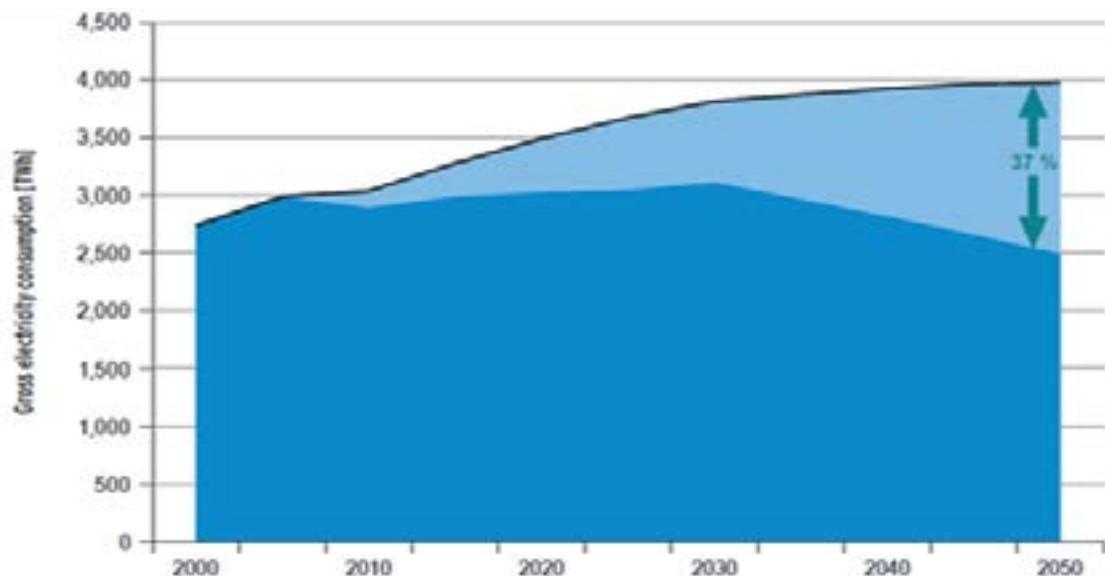
Exhibit 13

Cost-potential curves for the EU in 2020 and 2050



Source: Fraunhofer ISI (2014).

Exhibit 14

A stabilisation of the European electricity demand on today's level is feasible

Source: Fraunhofer ISI (2014).

expensive: The negative part of the curve illustrates energy efficiency options where monetary savings (from saved energy) exceed investment cost, which is true for the larger part of the two curves for 2020 and 2050. The comparison of the two curves show that energy potentials become larger with time (which is due to the fact that they need time to penetrate the market), second they become less expensive which is due to the fact that technologies which are produced in large amounts offer scale and learning effects. For example, today a double glazed window is not more expensive than a single glazed window used to be.

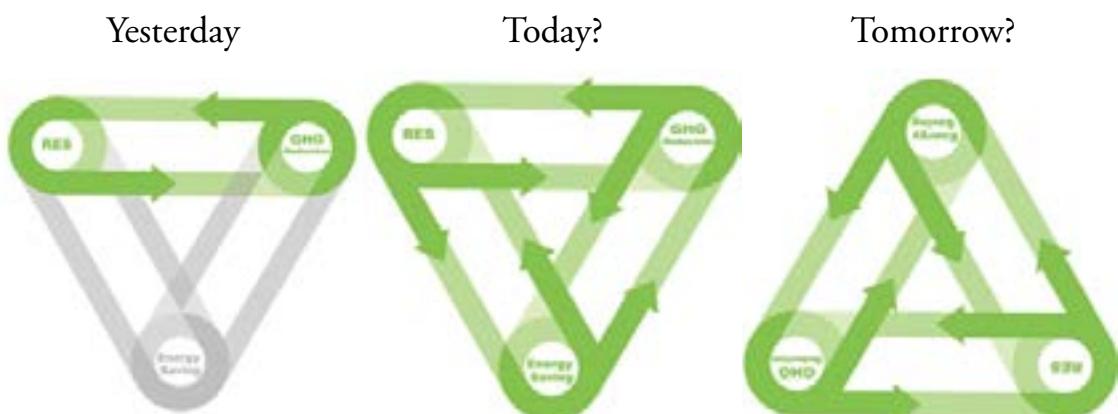
A particular effort is necessary to curb electricity consumption. Here a 50% cut is not feasible until the middle of the century, given the fact that large new users (electric cars, heat pumps) may enter the market. Nevertheless, even in that case a decrease in consumption is possible by energy efficiency policies by at least 10%.

EUROPEAN ENERGY EFFICIENCY POLICY IN THE FRAME OF EUROPEAN ENERGY AND CLIMATE POLICY – WE NEED TO PUT THINGS ON THE HEAD

How can the potentials for energy efficiency identified in the previous sections be realised? Some people (including the author) say “Energy efficiency policy” has been the step child of energy policy. This is less true with respect to individual instruments such as energy efficiency labeling and standards which have been one of the most successful policy examples in the energy field.

This is nevertheless true when it comes to the position of energy efficiency in the total architecture of energy and climate policy. European Energy and Climate policy was dominated by the target triad for 2020 (20% greenhouse gas GHG emission reduction, 20% renewables RES target, 20% energy efficiency EE target). However, while the targets for GHG and RES were binding, EE targets were indicative. Today, there is a reform of the EU Energy Efficiency Directive under discussion which might bring about a mandatory target for energy efficiency also. However, the true importance of energy efficiency including for RES and GHG has been uncovered with the recently developed “Energy Efficiency First”- Principle which has been laid down in the new EU Energy Governance scheme which shall shape future energy and climate policy. At the end this puts the target triad “head up”, with energy efficiency at the top of the target pyramid.

Climate change architecture of European Energy and Climate policy...



It is too far reaching here to list all European energy efficiency policies in detail. The MURE database on energy efficiency policies (www.odyssee-mure.eu) is listing 2400 of them. A detailed analysis is provided in the recent report by the Odyssee-MURE project which gathers energy efficiency agencies in all EU Member States.

EFFICIENCY – AN INDISPENSABLE ELEMENT OF A SUCCESSFUL EUROPEAN POLICIES FOR CLIMATE PROTECTION, SUPPLY SECURITY AND COMPETITIVENESS

There are huge saving potentials available by the middle of the century (up to two thirds, if conversion sector efficiency is included), large enough to cover the 50% reduction target required for energy consumption in the light of greenhouse gas reduction requirements (as well as for the reduction of import dependence and for the enhancement of European competitiveness).

However, one saving option is not just like another: Some saving options trigger high demand reductions whereas others create particularly high monetary benefits: Overall cost savings of up to 500 billion €'05 annually by 2050 have been seen as possible.

They need specific energy policies to address the barriers the policies are facing. Exploiting the saving potential requires concrete political action addressing specific energy demand branches and considering concrete efficiency technologies.

Renewables and efficiency – together they are more effective than each alone. “Efficiency” also concerns the energy supply side which can have a large impact on primary energy savings (25% in 2050). This adds to the large saving potentials on energy demand side. Most profitable is to pursue a combined strategy of expanding renewable capacities as well as pushing efficiency measures.

Efficiency – yes this has been the stepchild of current energy policy and energy research: up to now the topic of efficiency has been underrepresented on the political agenda despite the cost-effectiveness of most of the technologies. The level of detail regarding efficiency has been much lower than for energy supply side.

This needs giving a higher priority on the political as well as the scientific agenda. Constructing a common target frame for EU energy and climate based on the “Energy Efficiency First” principle is the basis for energy efficiency to unfold.

REFERENCES

AICHINGER, H. M., and R. STEFFEN (2006), “Maßnahmen zur CO₂-Minderung bei der Stahlerzeugung”, *Chemie Ingenieur Technik*, 78(4): 397–406, March 2006, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cite.200600008/pdf>

DENA ENERGY EFFICIENCY AWARD, <https://industrie-energieeffizienz.de/themen/energy-efficiency-award/> and [https://shop.dena.de/sortiment/detail/produkt/datenblattserie-preistraeger-energy-efficiency-award-2010-2014/?tx_zrwshop_pi1\[search_string\]=award&tx_zrwshop_pi1\[search_sortation\]=relevance_desc](https://shop.dena.de/sortiment/detail/produkt/datenblattserie-preistraeger-energy-efficiency-award-2010-2014/?tx_zrwshop_pi1[search_string]=award&tx_zrwshop_pi1[search_sortation]=relevance_desc)

Enerdata Global Energy and CO₂ data, commercially, available at: <http://www.enerdata.net/enerdatauk/knowledge/subscriptions/database/energy-market-data-and-co2-emissions-data.php>

6TH ENERGY RESEARCH PROGRAMME OF GERMANY, <http://www.bmwi.de/English/Redaktion/Pdf/6th-energy-research-programme-of-the-federal-government,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=en,rwb=true.pdf>

EU Energy Roadmap to 2050, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2012_energy_roadmap_2050_en_0.pdf

FRAUNHOFER ISI (2014), Contribution of Energy Efficiency Measures to Climate Protection within the European Union until 2050, Report on behalf of the German Ministry of the Environment BMUB, http://www.isi.fraunhofer.de/isi-en/x/projekte/bmu_eu-energy-roadmap_315192_ei.php

IEA (2014), *Energy Efficiency Market Report 2014*, International Energy Agency, Paris, 2014, <http://www.iea.org/topics/energyefficiency/publications/energyefficiencymarketreport2014/>

— (2016), *Energy Efficiency Market Report 2016*, International Energy Agency, Paris, 2016, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/medium-term-energy-efficiency-market-report-2016.html>

IKU – *The german innovation award for climate and environment*, <http://www.iku-innovationspreis.de/iku-innopreis/>, and <http://www.iku-innovationspreis.de/iku-innopreis/preistraeger/2009/kategorie-1.php>

LEEN – *Learning Networks for Energy Efficiency*, <http://cdn.leen.de/en/leen-netzwerke/>

Odyssee-MURE Project, www.odyssee-mure.eu

WIKIPEDIA, Volkswagen 1-litre car, https://en.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_1-litre_car

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 deflactores utilizados, los períodos 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 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

[1]

$$ER = 1 - (ARE/APE)$$

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 Chavrvarty *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, Chavrvarty *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 REBOLE: 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
OTROSNOMET	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
SERVIMERC	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 mejores 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	-0,6666	-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
SERV MERC	1,207	0,342	0,791	1,003	-4,817	-4,762	-5,186	-4,972
SERV NOMERC	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.; MFARLAND, 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.

Un metaanálisis sobre la elasticidad precio de la demanda de energía en España y la Unión Europea*

Xavier Labandeira¹, José M. Labeaga² y Xiral López³

Resumen

Los importantes cambios vividos en los mercados energéticos durante los últimos años y la creciente relevancia de las políticas energética y climática en la Unión Europea (UE) y, dentro de ella en España, hacen necesario poder anticipar el comportamiento de la demanda de energía ante variaciones en su precio, tanto a corto como a largo plazo. En este contexto existe una abundante literatura empírica que evalúa la reacción de la demanda de energía ante variaciones en sus precios, pero el empleo de distintos tipos de modelos, datos o técnicas de estimación ha provocado que el rango de elasticidades estimadas sea muy amplio. Por ello, este trabajo pretende resumir cuantitativamente la evidencia empírica existente sobre las elasticidades precio de la energía en España y la UE mediante un metaanálisis que permita identificar los principales factores que afectan a los resultados obtenidos. El análisis se realiza tanto para la energía en general como para los principales productos energéticos (electricidad, gas natural, gasolina, diésel y gasóleo de calefacción).

Palabras clave: Elasticidad de demanda, energía, metaanálisis.

INTRODUCCIÓN

La energía es un elemento fundamental para el desarrollo económico y social. Desde tiempos remotos el ser humano ha utilizado distintas fuentes de energía para realizar sus actividades y, a medida que los avances tecnológicos han ido permitiendo el aprovechamiento de nuevas fuentes de energía, el consumo ener-

* Los autores agradecen los comentarios y sugerencias del editor, así como la financiación de los proyectos ECO2012-39553-C04-01 (Labeaga), ECO2013-41183-P (Labandeira) y de la Cátedra FENOSA en la Universidad de Vigo. Los errores y omisiones son, sin embargo, de su única responsabilidad.

1 Rede, Universidade de Vigo, Facultade de CC.EE y FSR Climate, European University Institute, Economics for Energy.

2 Departamento de Análisis Económico II, UNED.

3 Economics for Energy.

gético se ha ido incrementando. De este modo, en la actualidad la energía permite la producción de bienes y servicios tanto en empresas y organismos públicos como en los hogares (iluminación, agua caliente, calefacción, frío, alimentos elaborados, etc.), siendo un elemento clave para el bienestar de los individuos, lo que provoca que las modificaciones de sus precios (relacionados o no con la aplicación de políticas públicas) sean muy relevantes en términos socioeconómicos.

En este contexto, es necesario conocer el comportamiento de la demanda de energía ante variaciones en su precio, tanto para poder anticipar adecuadamente los impactos económicos, ambientales y distributivos asociados como para la planificación de la oferta energética. El interés en estos asuntos se ha visto reforzado en los últimos años por, entre otros, las fuertes variaciones experimentadas por los precios de los productos energéticos, la progresiva desregulación de los sectores energéticos en muchos países, o las políticas de corrección de los crecientes daños ambientales causados por la energía (entre los que destaca el cambio climático). Además, la fuerte dependencia energética que tiene España (72,9% en 2014 frente al 53,4% en el conjunto de la UE, Eurostat 2016) la hace más vulnerable a los *shocks* de precios exógenos.

Por ello, aunque ya en la década de los 50 del siglo pasado empezaron a aparecer trabajos académicos tratando de estimar la elasticidad precio de la demanda de energía, esto es, la reacción de la demanda del producto energético considerado ante una variación en su precio, es a partir de los años 90 cuando esta literatura se hace más compleja y sofisticada, empleando distintas metodologías, tipos de datos, períodos temporales o países (véase Dahl, 2012 o Madlener, 1996). Esta proliferación de estudios ha provocado que en la actualidad exista un amplio rango de estimaciones de las elasticidades precio de la demanda de energía, lo que hace aconsejable el empleo de alguna metodología que ayude a reducir dicha dispersión y, de este modo, facilite la comprensión de la reacción de los agentes ante cambios en los precios de la energía. En el caso español, si bien la literatura académica que estima elasticidades precio de la demanda de energía es aún muy escasa, ha ido aumentando en los últimos años y también muestra bastante dispersión en sus resultados.

Por tanto, el objetivo de este trabajo es realizar un análisis estadístico del conjunto de resultados obtenidos en los estudios individuales sobre demanda de energía en España

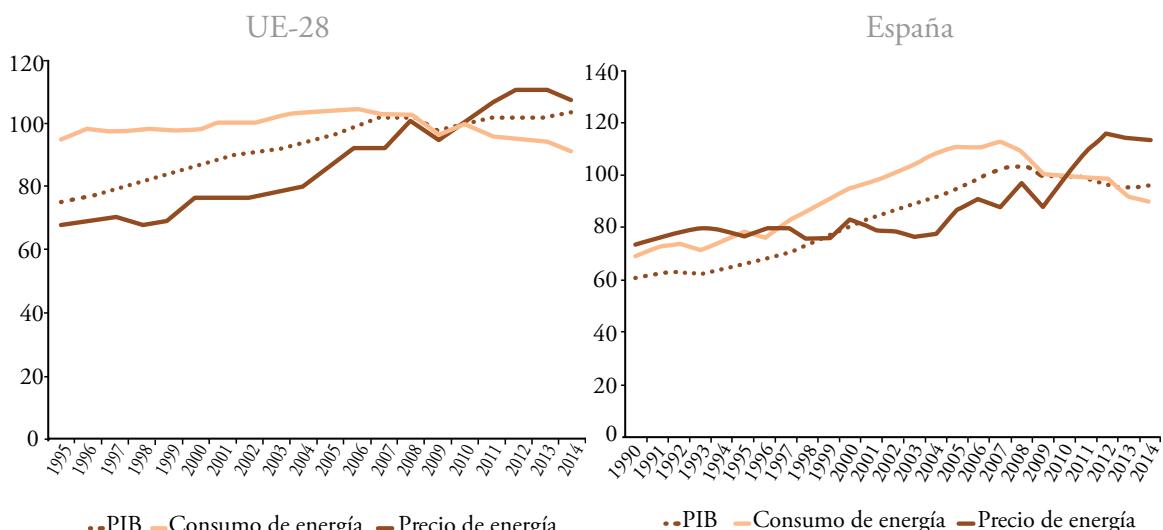
y la UE, con la finalidad de integrar sus resultados, lo que se conoce como metaanálisis (ver Labandeira *et al.*, 2015). Para ello el artículo se estructura en seis apartados, incluyendo esta introducción. En el segundo apartado se introduce la relación entre la demanda y los precios de la energía para, a continuación, presentar la metodología empleada en el trabajo y sus aplicaciones en la literatura. En el cuarto apartado se presenta el análisis realizado, identificando además los factores que influyen sobre la estimación de las elasticidades en los estudios considerados. Por último, el artículo finaliza con un apartado que concluye y apunta algunas implicaciones de interés.

LA DEMANDA Y LOS PRECIOS DE LA ENERGÍA EN ESPAÑA Y LA UE

En el gráfico 1 se recoge la evolución en los últimos años de la demanda y los precios de la energía, así como del PIB, en España y la UE. Se puede observar que

Gráfico 1

PIB, consumo y precios de energía en la UE y España (2010=100)



Fuentes: IEA (1999, 2016) y Eurostat.

la demanda de energía en la UE ha permanecido bastante estable en las últimas dos décadas, experimentando una caída a partir de la crisis económica. En el caso español la demanda de energía ha seguido un patrón similar al del PIB, aunque con un incremento mayor durante buena parte de la década de los noventa y principios de este siglo, y una caída más acusada desde el inicio de la crisis económica. Sin embargo, aunque parece existir una cierta reacción de la demanda de energía a variaciones en sus precios, la relación no es tan clara.

En estas circunstancias, en las últimas décadas han ido apareciendo en la literatura académica (aunque de forma limitada en el caso español) una serie de trabajos que tratan de determinar la magnitud de la respuesta de la demanda de energía ante variaciones en sus precios. Así, en el cuadro 1 se resumen las elasticidades que se han estimado en España y la UE para los distintos productos energéticos. Destaca la gran amplitud del rango de elasticidades estimadas, tanto a corto como a largo plazo, lo que revela la conveniencia de resumir la evidencia existente en un único valor, mediante una metodología que identifique los factores más importantes que

Cuadro 1

Elasticidades de la demanda de energía en España y la UE en la literatura

Producto Energético	Rango de Elasticidades	
	Corto plazo	Largo plazo
UE		
Energía	[-0,50; 0]	[-1,25; -0,07]
Electricidad	[-0,80; 0,27]	[-4,20; 0,60]
Gas natural	[-0,92; 0,28]	[-3,17; 1,84]
Gasolina	[-1,75; -0,02]	[-22,00; -0,12]
Diésel	[-1,07; -0,03]	[-5,84; -0,25]
Carburantes	[-0,67; -0,05]	[-0,96; -0,12]
Gasóleo calefacción	[-1,87; -0,11]	[-0,26; 0,32]
España		
Energía	-	[-0,81; -0,09]
Electricidad	[-0,78; 0,01]	[-0,72; -0,19]
Gas natural	[-0,18; 0,18]	[-1,09; 1,18]
Gasolina	[-1,02; -0,04]	[-1,08; -0,15]
Diésel	[-1,07; -0,03]	[-5,84; -0,26]
Carburantes	[-0,08; -0,06]	[-0,47; -0,33]
Gasóleo calefacción	-0,27	-

Fuente: Elaboración propia a partir de los trabajos incluidos en el metaanálisis.

influyen en los resultados de la evidencia empírica con el fin de tratar de encontrar valores medios representativos, en unos casos, y reconciliar la evidencia, en otros.

RESUMEN DE METAANÁLISIS PREVIOS DE LA ELASTICIDAD DE LA DEMANDA

El metaanálisis es el análisis de los estudios empíricos que intentan integrar y explicar la literatura existente sobre un determinado parámetro importante (Stanley y Jarrell, 1989). Un metaanálisis puede ayudar a ordenar el caos que normalmente existe al comparar los resultados de distintas investigaciones sobre cuestiones similares y, de este modo, ayudar a sintetizar los resultados de estudios distintos pero semejantes, permitiendo explicar las diferencias entre los resultados de los trabajos individuales en base a las hipótesis subyacentes, estándares de diseño y/o mediciones (Wolf, 1986; Brower *et al.*, 1999). Aunque los metaanálisis tienen una larga historia en las ciencias naturales, se empezaron a aplicar en el ámbito de las ciencias sociales en la década de los 70 del siglo pasado (Glass, 1976). En el ámbito de la economía hubo que esperar hasta principios de la década de los noventa, si bien desde entonces se han llevado a cabo cientos de aplicaciones, de los cuales alrededor de un tercio corresponden al área de economía ambiental y de los recursos (Nelson y Kennedy, 2009).

En el caso de las elasticidades precio de la energía, los metaanálisis son más bien escasos, y centrados casi exclusivamente en los carburantes de automoción, como se puede observar en el cuadro 2. La primera aportación se la debemos a Espey (1996), que lleva a cabo un metaanálisis de las elasticidades precio y renta en los estudios de demanda de gasolina en Estados Unidos. Dos años después la misma autora extiende su trabajo en Espey (1998), utilizando un conjunto de estudios de demanda de gasolina en todo el mundo y distinguiendo entre elasticidades a corto o medio plazo y elasticidades a largo plazo. Posteriormente, dos informes sobre la magnitud de las elasticidades del transporte por carretera en el Reino Unido (Hanly *et al.*, 2002; Graham y Glaister, 2002) también incluyeron un metaanálisis de las elasticidades precio de la demanda de carburantes, mientras que Espey y Espey (2004) extendieron el análisis a otro producto energético (la electricidad). Más recientemente, destacan Brons *et al.* (2008) y Havranek *et al.* (2012), centrados en la gasolina pero que incorporan innovaciones en las me-
to-

dologías empleadas para el análisis, así como Labandeira *et al.* (2015) que extienden el análisis a los principales productos energéticos (electricidad, gas natural,

Cuadro 2

Metaanálisis previos sobre la elasticidad precio de la demanda de energía

Estudio	Período temporal	Alcance geográfico	Nº de artículos	Nº de elasticidades considerados	Producto energético	Elasticidades
Espey (1996)	1936-1990	EE.UU.	41	70	Gasolina	-0,65 (LP)
Espey (1998)	1929-1993	Mundial	101	640	Gasolina	-0,16 (CP) -0,81 (LP) -0,76 (CP)
Hanly <i>et al.</i> (2002)	1929-1991	Mundial	69	491	Carburantes	-1,16 (LP) -0,54 (est)
Graham y Glaister (2002)	1966-2000	Mundial	113	600	Carburantes	-0,25 (CP) -0,77 (LP)
Espey y Espey (2004)	1947-1997	Mundial	36	248	Electricidad	-0,35 (CP) -0,85 (LP)
Brons <i>et al.</i> (2008)	1949-2003	Mundial	43	312	Gasolina	-0,36 (CP) -0,81 (LP)
Havranek <i>et al.</i> (2012)	1974-2011	Mundial	41	202	Gasolina	-0,09 (CP) -0,31 (LP)
					Energía	-0,22 (CP) -0,65 (LP)
					Electricidad	-0,21 (CP) -0,69 (LP)
					Gas Natural	-0,22 (CP)
Labandeira <i>et al.</i> (2015)	1990-2014	Mundial	416	1942	Gasolina	-0,85 (LP) -0,23 (CP) -0,72 (LP)
					Diésel	-0,20 (CP) -0,60 (LP)
					Gasóleo	-0,26 (CP)
					Calefacción	-0,76 (LP)

Nota: CP, corto plazo; LP, largo plazo. Este es el resultado con un metaanálisis que utiliza solo los trabajos que emplean modelos estáticos.

Fuente: Brons *et al.* (2008) y elaboración propia a partir de la literatura citada.

gasolina, diésel y gasóleo de calefacción), obteniendo además una estimación de la elasticidad precio de la demanda de energía considerada en su conjunto. Los resultados de estos estudios revelan una elasticidad precio de la energía entre -0,76 y -0,09 en el corto plazo, mientras que a largo plazo se sitúa entre -1,16 y -0,31, mostrando una cierta tendencia a reducirse en el tiempo (en valor absoluto), lo que podría estar relacionado con mejoras en la eficiencia energética (que hacen a los consumidores menos sensibles a los precios) así como con presencia de efectos renta. En este sentido, Fouquet (2014) considera que las elasticidades precio siguen una evolución en forma de U a medida que la economía se desarrolla, si bien factores como el consumo de mayores niveles de servicios energéticos, la entrada en el mercado de servicios energéticos de nuevos segmentos de población (generalmente más pobres) o los cambios en la calidad de los servicios energéticos pueden afectar a dicha evolución.

ANÁLISIS DE LAS ELASTICIDADES PRECIO EN LA UE Y ESPAÑA

Con el fin de realizar el análisis hemos recopilado 102 artículos, publicados entre 1990 y 2016, que estudian la reacción de la demanda de productos energéticos ante variaciones en sus precios en la UE, con un total de 598 elasticidades estimadas, de las que 305 son a corto plazo y 293 a largo plazo. De estos artículos, 24 contienen estimaciones para España, con 84 elasticidades estimadas (50 a corto plazo y 34 a largo plazo). Para evitar que los valores extremos de las elasticidades estimadas (generalmente resultado de tamaños muestrales pequeños y no estadísticamente significativos) afecten a los resultados de nuestro análisis, hemos excluido el 5% de la muestra (el 2,5% de valores menores y el 2,5% de los valores más grandes).

En el cuadro 3 se recoge un resumen estadístico de estas elasticidades una vez seleccionada la muestra eliminando los valores extremos, con un rango para el caso de la UE en su conjunto, entre -0,78 y 0,11 y una media de -0,18 en el corto plazo, mientras que las elasticidades a largo plazo están entre -1,62 y 0,22. En el caso español, el rango de elasticidades estimadas es ligeramente menor.

Como puede observarse, algunos resultados indican elasticidades de valor positivo, algo claramente contraintuitivo. Tal como se indica en el metaanálisis de

Havranet *et al.* (2012), los valores positivos de las elasticidades se deben probablemente a errores de especificación de los modelos aplicados.

El ajuste de la elasticidad media se realiza mediante un sencillo análisis de regresión lineal en la que la variable dependiente corresponde con los valores de las elasticidades extraídas del conjunto referido de trabajos. Como estamos separando la UE y España y el corto y largo plazo, ajustamos cuatro regresiones cuyo tamaño muestral corresponde a la segunda columna del cuadro 3.

Cuadro 3

Estadísticos de las elasticidades precio de la demanda de energía

Variable	Observaciones	Media	Mediana	Desviación típica	Mínimo	Máximo
Elasticidad a CP UE	290	-0,182	-0,138	0,170	-0,783	0,109
Elasticidad a LP UE	277	-0,466	-0,370	0,339	-1,621	0,218
Elasticidad a CP España	46	-0,188	-0,142	0,160	-0,783	0,01
Elasticidad a CP España	29	-0,510	-0,404	0,292	-1,094	-0,09

Nota: CP, corto plazo; LP, largo plazo.

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 4 muestra las elasticidades de la energía obtenidas tras la estimación del modelo de regresión, tanto para la UE como para España, y distinguiendo entre el corto y el largo plazo. Observamos que la elasticidad precio de la demanda de energía en la UE es, en media, -0,262 en el corto plazo y -0,754 en el largo plazo. En el caso de España, esta elasticidad es muy similar a corto plazo, mientras que en el largo plazo es ligeramente superior. Esto podría estar relacionado con el nivel de renta en España, inferior a la media de la UE, así como con mejoras en la eficiencia energética (en las que España se encuentra por debajo de la media europea)⁴ que permiten reducir la exposición de los agentes a variaciones en los precios o que se compensan a través de efectos de la renta.

⁴ En el período 2000-2013 la eficiencia energética aumentó en media un 1,2% anual en la UE, mientras que en España este incremento estuvo por debajo del 0,7% anual (Eichhammer y Lapillon, 2016).

Cuadro 4

Elasticidades medias en la literatura empírica para UE y España

	UE	España
Corto plazo		
Energía	-0,262	-0,251
Electricidad	-0,215	-0,203
Gas natural	-0,255	-0,242
Gasolina	-0,265	-0,253
Diésel	-0,212	-0,201
Gasóleo calefacción	-0,156	-0,141
Largo plazo		
Energía	-0,754	-0,865
Electricidad	-0,600	-0,705
Gas natural	-0,777	-0,897
Gasolina	-0,789	-0,900
Diésel	-0,639	-0,739
Gasóleo calefacción	-0,606	-

Nota: Todas las elasticidades son estadísticamente significativas al 1%.

Fuente: Elaboración propia.

Si nos fijamos en los distintos productos energéticos tanto a nivel de España como de la UE, vemos que a corto plazo la gasolina es el producto más sensible a precios, siendo el gasóleo de calefacción el menos sensible. La gasolina mantiene una mayor reacción a precios en el largo plazo, siendo la demanda de electricidad la que se ve menos afectada por variaciones en los precios. En cualquier caso, las elasticidades de los distintos productos energéticos se encuentran todas dentro de un rango relativamente reducido.

Si comparamos los resultados de este metaanálisis con los existentes en la literatura (véase cuadro 2), las elasticidades de la energía son superiores a las obtenidas por Labandeira *et al.* (2015) con una aproximación similar pero a nivel global, especialmente en el largo plazo, lo que muestra las mayores posibilidades existentes en la UE (y en particular en España) para lograr reducciones de la demanda de energía a largo plazo mediante

políticas de precios. Por productos energéticos se observa que las elasticidades de los carburantes se encuentran dentro del rango de la literatura, mientras que las elasticidades de gas natural y electricidad son similares a las de Labandeira *et al.* (2015), siendo las elasticidades de la electricidad más pequeñas que las reportadas por Espey y Espey (2004), lo que puede estar relacionado con el período muestral utilizado.

La segunda parte del análisis consiste en identificar las variables explicativas de las elasticidades obtenidas. Para ello consideramos los factores que explican las diferencias entre los resultados obtenidos en los distintos trabajos (lo que podríamos denominar como atributos de cada trabajo). Distinguimos entre elasticidades a corto y a largo plazo por la relevancia y habitual diferencia entre ambos valores de la elasticidad precio, pero también para seguir lo que se ha hecho en la literatura y poder realizar comparaciones. Como atributos incluimos una serie de indicadores que tratan de recoger las distintas fuentes de heterogeneidad. Siguiendo a Labandeira *et al.* (2015), se identifican ocho factores principales que se recogen en el cuadro 5:

- *Producto energético.* El comportamiento de los agentes puede ser muy distinto en función del tipo de producto energético considerado, por lo que distinguimos entre estudios que estiman la demanda de cada uno de los principales productos energéticos (electricidad, gas natural, gasolina, diésel y gasóleo de calefacción) y estudios que consideran la demanda de energía en general.
- *Tipo de modelo.* Los primeros artículos que estimaban la demanda de energía (y la mayoría de los actuales) empleaban datos agregados, utilizando técnicas de series temporales y, en muchas ocasiones, métodos de cointegración o modelos de corrección del error. Sin embargo, el uso de datos agregados supone asumir la presencia de un agente representativo, supuesto complicado en presencia de tanta heterogeneidad individual entre los consumidores como se observa en la realidad. Emplear datos a nivel microeconómico de hogares y/o empresas ayuda a solventar estos inconvenientes. Dentro de estos modelos micro, una alternativa consiste en estimar directamente la demanda de energía mediante técnicas econométricas estándar, pero también se puede tener en cuenta la influencia sobre la demanda de energía de la decisión discreta de compra de bienes duraderos que consumen energía, mediante un modelo secuencial continuo-discreto en el que los agentes primero deciden sobre la adquisición de bienes duraderos que consumen energía y, poste-

riormente y condicionados por esa decisión, eligen cuánta energía consumir. Finalmente, si bien la mayoría de los estudios ajustan la demanda de energía mediante modelos econométricos uniecuacionales, esta metodología no permite estimar efectos precio cruzados entre distintos productos energéticos o en relación a productos no energéticos, lo que puede dar lugar a sesgos en las elasticidades estimadas, por lo que como alternativa se pueden utilizar sistemas completos de demanda.

- *Tipo de datos.* Distinguimos entre artículos que emplean datos de series temporales, artículos con datos de sección cruzada y trabajos elaborados a partir de datos de panel.
- *Tipo de consumidor.* Los distintos tipos de consumidores emplean la energía para distintas finalidades, lo que provoca que el efecto de los precios sobre dicha demanda pueda ser muy diferente. De este modo distinguimos entre estudios que estiman la demanda de energía total, residencial, industrial y comercial.
- *Período muestral.* Dado que el ciclo económico tiene una influencia importante sobre el consumo energético y, en particular, las crisis económicas habitualmente provocan modificaciones en el mismo (debido a cambios hacia combustibles más económicos, mejoras en la eficiencia energética, restricciones de recursos disponibles o ajustes de otro tipo) hemos diferenciado entre estudios cuyo período muestral se encuentra (en su mayoría) antes o después de las crisis de 1973, 1979 y 2008.
- *Método de estimación.* La técnica empleada para estimar el modelo también puede afectar a los resultados obtenidos, por lo que distinguimos entre tres grandes categorías de métodos de estimación: métodos de mínimos cuadrados, métodos de variables instrumentales y otro tipo de metodologías (véase Wooldridge, 2002, para una descripción detallada).
- *Tipo de país.* Dado que la demanda de energía puede ser muy diferente en función del país analizado, distinguimos entre países exportadores netos de energía y países importadores netos de energía.
- *Tipo de publicación.* Finalmente distinguimos entre artículos publicados en revistas y que han estado sometidos a un proceso de revisión y trabajos publicados en otros formatos (libros, documentos de trabajo, informes, etc.).

Cuadro 5

Factores considerados en la estimación de las elasticidades

Factores considerados	Número de observaciones		Elasticidad media			
	UE	España	Corto plazo	España	Largo plazo	España
Producto energético						
Energía	113	3	-0,152	-	-0,535	-0,569
Electricidad	130	18	-0,172	-0,221	-0,294	-0,445
Gas natural	95	3	-0,152	-0,115	-0,435	-1,094
Gasolina	143	30	-0,217	-0,231	-0,562	-0,531
Diésel	29	16	-0,177	-0,097	-0,405	-0,430
Carburantes	51	4	-0,212	-0,069	-0,412	-0,402
Gasóleo de calefacción	6	1	-0,198	-0,273	-0,264	-
Tipo de modelo						
Modelo agregado	353	54	-0,151	-0,170	-0,433	-0,464
Modelo agregado con cointegración o ARDL	111	2	-0,162	-0,010	-0,359	-0,340
Modelo completo de demanda	72	10	-0,276	-0,320	-0,690	-0,606
Modelo micro	25	6	-0,379	-0,177	-0,908	-0,908
Modelo continuo-discreto	6	3	-0,268	-0,197	-0,479	-
Tipo de datos						
Sección cruzada	45	9	-0,318	-0,262	-0,792	-0,859
Series temporales	379	14	-0,161	-0,235	-0,419	-0,625
Panel	143	52	-0,214	-0,171	-0,402	-0,358
Tipo de consumidor						
Residencial	284	50	-0,175	-0,169	-0,472	-0,434
Industrial	82	1	-0,156	-0,031	-0,430	-
Comercial	5	-	-0,120	-	-0,208	-
Total	196	24	-0,204	-0,237	-0,483	-0,677
Período muestral						
Pre-1973	43	2	-0,246	-0,140	-0,641	-0,300
Pos-1973	524	73	-0,177	-0,189	-0,451	-0,517
Pre-1979	158	6	-0,179	-0,207	-0,580	-0,553
Pos-1979	409	69	-0,184	-0,187	-0,421	-0,505
Pre-2008	549	58	-0,184	-0,197	-0,466	-0,520
Pos-2008	18	17	-0,145	-0,155	-0,477	-0,477
Método de estimación						
Métodos de mínimos cuadrados	329	44	-0,191	-0,170	-0,432	-0,534
Métodos de variables instrumentales	95	25	-0,210	-0,214	-0,469	-0,364
Otros	143	6	-0,113	-0,213	-0,518	-0,701
Tipo publicación						
Revista científica con revisión	450	38	-0,193	-0,227	-0,502	-0,650
Otro	117	37	-0,139	-0,137	-0,340	-0,411

Fuente: Elaboración propia.

Entre los factores que influyen sobre las elasticidades estimadas⁵, en el corto plazo destaca el empleo de datos anteriores o posteriores a la crisis del petróleo de 1973. Así, se observa que, a partir de esta crisis, y debido a los cambios en el comportamiento energético de los agentes, se produce una reducción significativa en la elasticidad de la demanda de energía a corto plazo.

Otro factor importante es el tipo de modelo empleado para realizar el estudio, observándose que la utilización de modelos con datos microeconómicos da lugar a elasticidades estimadas significativamente mayores (en valor absoluto) que las obtenidas mediante modelos agregados. En principio podría parecer que la utilización de modelos microeconómicos, que incluyen una serie de variables demográficas y socioeconómicas, debería dar lugar a efectos precio más reducidos, sin embargo, la ausencia de un consumidor representativo o la estimación conjunta de efectos en los márgenes extensivo e intensivo en los modelos agregados podrían estar detrás de este resultado. Finalmente, el método de estimación también está afectando a los resultados a corto plazo, de modo que emplear variables instrumentales conduce a valores de la elasticidad significativamente mayores (en valor absoluto) que los modelos estimados por mínimos cuadrados, ocurriendo lo contrario en el caso de los trabajos que emplean otros métodos de estimación.

Con respecto al largo plazo, vemos que las elasticidades precio son significativamente menores a partir de la crisis del petróleo de 1979, seguramente como resultado de las inversiones y cambios de comportamiento de los agentes derivados del fuerte incremento en el precio de los productos energéticos y que reducen el margen de maniobra ante futuros incrementos de precio. A este respecto también es interesante señalar que, en media, las elasticidades precio a largo plazo son menores tras la crisis de 2008. Sin embargo, en este caso los resultados de la estimación de la regresión del metaanálisis nos indican que el parámetro de la *dummy* “poscrisis 2008” no es significativo, por lo que no podemos afirmar que haya tenido efectos. Este resultado también puede estar influido por el hecho de que existen muy pocos trabajos con datos posteriores a 2008.

Otros factores importantes son el tipo de datos empleados, con los trabajos que utilizan datos de sección cruzada estimando elasticidades significativamente mayores en valor absoluto, y el tipo de modelo, donde se observa que los modelos de cointegración proporcionan también elasticidades significativamente mayores.

5 En el Anexo I se incluyen los resultados completos de las estimaciones.

CONCLUSIONES

En este trabajo se lleva a cabo un metaanálisis de la literatura existente sobre elasticidades precio de la demanda de energía en España y la UE, con la finalidad de conocer el impacto que a corto y largo plazo tendrán las variaciones en los precios, tanto exógenas como inducidas por políticas públicas, sobre el consumo de energía y otras variables asociadas. De este modo, los resultados de este trabajo permiten anticipar, y por tanto informar adecuadamente, los efectos de políticas energéticas, fiscales y/o ambientales que afecten a los precios de la energía. En este sentido, los resultados muestran una elasticidad precio de la demanda de energía a corto plazo de -0,26 para la UE y de -0,25 para España, con rangos muy similares para los distintos productos energéticos (-0,27 y -0,16 para la UE, mientras que para España se sitúan entre -0,25 y -0,14). A largo plazo, estas elasticidades son de -0,75 y -0,87, respectivamente, con rangos más amplios y diferentes para los distintos productos energéticos (entre -0,78 y -0,60 en la UE y entre -0,90 y -0,71 para España).

Los principales factores que afectan a las elasticidades estimadas en la literatura son, en el corto plazo, el período muestral, el tipo de modelo y el método de estimación. Así, los resultados indican que los trabajos que emplean datos posteriores a la crisis del petróleo de 1973 dan lugar a elasticidades significativamente menores en valor absoluto que cuando se trabaja con datos anteriores a esa fecha, mientras que son significativamente mayores cuando se trabaja con modelos microeconómicos en relación a los resultados con modelos agregados. Asimismo, las elasticidades estimadas por mínimos cuadrados son menores en valor absoluto que las que se obtienen por variables instrumentales pero mayores que las estimadas con otras metodologías. Con respecto a las elasticidades a largo plazo, los factores más importantes son el período muestral, el tipo de datos y el tipo de modelo, de modo que los trabajos que emplean datos de sección cruzada o modelos de cointegración dan lugar a elasticidades significativamente mayores en valor absoluto, mientras que cuando se utilizan datos posteriores a la crisis del petróleo de 1979 las elasticidades son significativamente menores.

Por tanto, se puede concluir que existe una cierta reacción de los agentes ante variaciones en los precios de los productos energéticos, reacción que es bastante

similar entre los distintos productos energéticos y mayor a largo que a corto plazo. La respuesta de los agentes en el corto plazo es muy similar en España y en la UE en su conjunto, mientras que la demanda de energía a largo plazo es más sensible a los precios en España, lo que puede estar reflejando un efecto renta, así como el progreso más lento de España en mejorar la eficiencia energética. De este modo, los resultados de nuestro análisis indican que las políticas públicas destinadas a influir sobre los precios de la energía tendrían un impacto similar en España y en la UE a corto plazo, pero a largo plazo tendrían un efecto mayor sobre la demanda de energía en España.

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que los valores obtenidos de las elasticidades no son muy elevados, de manera que el incremento de los precios de la energía (exógeno o causado por la aplicación de políticas públicas) dará lugar, *ceteris paribus*, a una reducción menos que proporcional en la demanda tanto a corto como a largo plazo. Por tanto, las políticas energéticas, fiscales o ambientales orientadas exclusivamente a influir sobre los precios de la energía tendrán un alcance limitado y deberán complementarse con otro tipo de políticas (información, incentivos, regulaciones, etc.) si pretenden alcanzar objetivos ambiciosos de reducción de la demanda de energía.

Por último, si distinguimos entre productos energéticos, observamos que tanto a corto como a largo plazo la gasolina es el producto más sensible a variaciones en los precios y, por tanto, las políticas correctoras que pivoten sobre el aumento de los precios de la energía serán más efectivas si se concentran sobre este producto energético. Por el contrario, el gasóleo de calefacción a corto plazo y la electricidad a largo plazo son los productos energéticos menos sensibles a precios. Por ello, si el gobierno quisiese introducir tributos con fines puramente recaudatorios, estos bienes serían candidatos a un mayor gravamen (a expensas de su menor efecto corrector, en un claro *trade-off*). Asimismo, los resultados muestran que las sucesivas crisis del petróleo han influido sobre el comportamiento de los agentes, haciendo que adopten medidas que les permiten reducir su exposición a las variaciones en los precios de la energía, de modo que tras las crisis se reduce la sensibilidad de los agentes ante cambios en dichos precios.

REFERENCIAS

BRONS, M.; NIJKAMP, P.; PELS, E., y P. RIETVELD (2008), “A meta-analysis of the price elasticity of gasoline demand”, *A SUR approach. Energy Economics*, 30: 2105-2122.

BROUWER, R.; LANGFORD, I. H.; BATEMAN, I. J., y R. K. TURNER (1999), “A meta-analysis of wetland contingent valuation studies”, *Regional Environmental Change*, 1: 47-57.

DAHL, C. A. (2012), “Measuring global gasoline and diesel price and income elasticities”, *Energy Policy*, 41: 2-13.

EICHHAMMER, W., y B. LAPILLONNE (2015), *Monitoring of energy efficiency trends and policies in the EU. ODYSSEE-MURE project*, disponible en <http://www.odyssee-mure.eu/publications/br/synthesis-energy-efficiency-trends-policies.pdf>

ESPEY, J. A., y M. ESPEY (2004), “Turning on the lights: a meta-analysis of residential electricity demand elasticities 2, *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 36: 65-81.

ESPEY, M. (1996), “Explaining the variation in elasticity estimates of gasoline demand in the United States: a meta-analysis”, *Energy Journal*, 17: 49-60.

— (1998), “Gasoline demand revisited: an international meta-analysis of elasticities”, *Energy Economics*, 20: 273-295.

EUROSTAT (2016), “Energy dependency in the EU”, *Eurostat News Release*, 28/2016, disponible en <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7150363/8-04022016-AP-EN.pdf/c92466d9-903e-417c-ad76-4c35678113fd>

FOUQUET, R. (2014), “Long-run demand for energy services: income and price elasticities over two hundred years”, *Review of Environmental Economics and Policy*, 8: 186-207.

GLASS, G. V. (1976), "Primary, secondary, and meta-analysis of research", *Educational Researcher*, 5: 3-8.

GRAHAM, D., y S. GLAISTER (2002), *Review of Income and Price Elasticities in the Demand for Road Traffic*, Centre for Transport Studies, Imperial College of Science, Technology and Medicine.

HANLY, M.; DARGAY, J., y P. GOODWIN (2002), "Review of income and price elasticities in the demand for road traffic", *ESRC TSU publication 2002/13*, Centre for Transport Studies, University of London.

HAVRANEK, T.; IRSOVA, Z., y K. JANDA (2012), "Demand for gasoline is more price-inelastic than commonly thought", *Energy Economics*, 34: 201-207.

IEA (1999), *Energy Prices and Taxes*, Quarterly statistics, first quarter 1999, International Energy Agency, Paris.

— (2016), *Energy Prices and Taxes*, Quarterly statistics, second quarter 2016, International Energy Agency, Paris.

LABANDEIRA, X.; LABEAGA, J. M., y X. LÓPEZ (2015), "A meta-analysis on the price elasticity of energy demand", *Economics for Energy WP 04/2015*.

MADLENER, R. (1996), "Econometric analysis of residential energy demand: a survey", *Journal of Energy Literature*, 2: 3-32.

NELSON, J. P., y P. E. KENNEDY (2009), "The use (and abuse) of meta-analysis in environmental and natural resource economics: an assessment", *Environmental Resource Economics*, 42: 345-377.

STANLEY, T. D., y S. B. Jarrell (1989), "Meta-regression analysis: a quantitative method of literature surveys", *Journal of Economic Surveys*, 3: 161-170.

WOLF, F. (1986), *Meta-Analysis: Quantitative Methods for Research Synthesis*, Sage Publications, Newbury Park.

WOOLDRIDGE, J. M. (2002), *Econometric analysis of cross section and panel data*, MIT Press, Cambridge.

ANEXO I

Cuadro A1

Parámetros estimados: UE

Regresor	Corto plazo	Largo plazo
Constante	-0,262***	-0,754***
Electricidad	0,048	0,154
Gas natural	0,007	-0,023
Gasolina	-0,003	-0,035
Diésel	0,050*	0,115*
Gasóleo calefacción	0,107	0,144
País exportador	0,020	0,062
Pos1973	0,083**	0,082
Pos 1979	-0,025	0,224***
Pos 2008	0,036	0,076
Residencial	0,058	0,018
Industrial	0,057	0,009
Comercial	0,111	0,138
Sección cruzada	0,004	-0,293**
Series temporales	0,004	0,116
Modelo de cointegración	-0,056*	-0,117**
Modelo completo de demanda	-0,174***	-0,067
Modelo micro	-0,281***	-0,356
Modelo continuo-discreto	-0,189**	-0,127
Otro tipo de publicación	0,018	0,029
Variables instrumentales	-0,050*	-0,011
Otros métodos de estimación	0,054*	0,001
Test de significatividad conjunta	F (21,268)=4,77 (p-valor=0,000)	F (21,255)=5,13 (p-valor=0,000)
R2	0,272	0,297

Notas: ***Significativo al 1%, ** al 5%, y * al 10%.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A2

Parámetros estimados: España

Regresor	Corto Plazo	Largo plazo
Constante	-0,271***	-0,725***
España	0,019	-0,140*
Electricidad	0,048	0,159**
Gas natural	0,010	-0,032
Gasolina	-0,002	-0,036
Diésel	0,050*	0,125**
Gasóleo calefacción	0,110	0,097
País exportador	0,022	0,055
Pos 1973	0,083**	0,086
Pos 1979	-0,025	0,232***
Pot 2008	0,028	0,160
Residencial	0,059	0,015
Industrial	0,060	-0,013
Comercial	0,112	0,132
Sección cruzada	-0,001	-0,339***
Series temporales	0,011	0,093
Modelo de cointegración	-0,054*	-0,133**
Modelo completo de demanda	-0,175***	-0,045
Modelo micro	-0,278***	-0,301
Modelo continuo-discreto	-0,192**	-0,177
Otro tipo de publicación	0,014	0,042
Variables instrumentales	-0,050*	-0,012
Otros métodos de estimación	0,054*	-0,006
Test de significatividad conjunta	F (22,267)=4,56 (p-valor=0,000)	F (22,254)=5,11 (p-valor=0,000)
R2	0,273	0,307

Notas: ***Significativo al 1%, ** al 5%, y * al 10%.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO II

Trabajos incluidos en el metaanálisis

AGNOLUCCI, P. (2009), “The energy demand in the British and German industrial sectors: Heterogeneity and common factors”, *Energy Economics*, 31: 175-187.

AGOSTINI, P.; BOTTEON, M., y C. CARRARO (1992), “A carbon tax to reduce CO₂ emissions in Europe”, *Energy Economics*, 14: 279-290.

AJANOVIC, A., y R. HAAS (2012), “The role of efficiency improvements *vs.* price effects for modeling passenger car transport demand and energy demand. Lessons from European countries”, *Energy Policy*, 41: 36-46.

AL-RABBAIE, A., y L. HUNT (2006), “OECD energy demand: modelling underlying energy demand trends using the structural time series model”, *Surrey Energy Economics Discussion paper Series*, 114, Surrey Energy Economics Centre, University of Surrey.

ALLEN, C., y G. URGA (1999), “Interrelated factor demands from dynamic cost functions: an application to the non-energy business sector of the UK economy”, *Economica*, 66; 403-413.

ANDERSEN, T. B.; NILSEN, O. B., y R. TVETERAS, (2011), “How is demand for natural gas determined across European industrial sectors?”, *Energy Policy*, 39: 5499-5508.

ASCHE, F.; NILSEN, O., y R. TVETERAS (2008), “Natural gas demand in the European household sector”, *Energy Journal*, 29: 27-46.

ASENSIO, J.; GÓMEZ-LOBO, A., y A. MATAS (2014), “How effective are policies to reduce gasoline consumption? Evaluating a set of measures in Spain”, *Energy Economics*, 42: 34-42.

AZEVEDO, I. M.; MORGAN, M. G., y L. LAVE (2011), “Residential and regional electricity consumption in the U.S. and EU: how much will higher prices reduce CO₂ emissions?”, *Electricity Journal*, 24: 21-29.

BAKER, P., y R. BLUNDELL (1991), “The microeconometric approach to modelling energy demand: some results for UK households”, *Oxford Review of Economic Policy*, 7: 54-76.

BAKHAT, M.; LABEAGA, J. M.; LABANDEIRA, X., y X. LÓPEZ-OTERO (2013), “Economic crisis and elasticities of car fuels: evidence for Spain”, *WP FA15/2013, Economics for Energy*.

BAKHAT, M., y J. ROSELLÓ (2013), “Evaluating a seasonal fuel tax in a mass tourism destination: a case study for the Balearic Islands”, *Energy Economics*, 38: 12-18.

BALTAGI, B. H.; BRESSON, G.; GRIFFIN, J. M., y A. PIROTTE, (2003), “Homogeneous, heterogeneous or shrinkage estimators? Some empirical evidence from French regional gasoline consumption”, *Empirical Economics*, 28: 795–811.

BALTAGI, B. H., y J. M. GRIFFIN (1997), “Pooled estimators *vs.* their heterogeneous counterparts in the context of dynamic demand for gasoline”, *Journal of Econometrics*, 77: 303-327.

BANFI, S.; FILIPPINI, M., y L. HUNT (2005), “Fuel tourism in border regions: the case of Switzerland”, *Energy Economics*, 27: 689-707.

BANKS, J.; BLUNDELL, R., y A. LEWBEL (1997), “Quadratic Engel curves and consumer demand”, *Review of Economics and Statistics*, 79: 527-539.

BENTZEN, J. (1994), “An empirical analysis of gasoline demand in Denmark using cointegration techniques”, *Energy Economics*, 16: 139-143.

BENTZEN, J., y T. ENGSTED (1993), “Short- and long-run elasticities in energy demand: A cointegration approach”, *Energy Economics*, 15: 9-16.

— (2001), “A revival of the autoregressive distributed lag model in estimating energy demand relationships”, *Energy*, 26: 45-55.

BERKHOUT, P.; FERRER-CARBONELL, A., y J. MUSKENS (2004), “The ex post impact of an energy tax on household energy demand”, *Energy Economics*, 26: 297-317.

BERNSTEIN, R., y R. MADLENER, (2010), “Short- and long-run electricity demand elasticities at the subsectoral level: A cointegration analysis for German manufacturing industries”, *FCN Working Paper*, 19/2010.

— (2011a), “Responsiveness of residential electricity demand in OECD countries: A panel cointegration and causality analysis”, *FCN Working Paper*, 8/2011.

— (2011b), ”Residential natural gas demand elasticities in OECD countries: An ARDL bounds testing approach”, *FCN Working Paper*, 15/2011.

BEZNOSKA, M. (2014), “Estimating a consumer demand system of energy, mobility and leisure: A microdata approach for Germany”, *Discussion Paper*, School of Business & Economics: Economics, 2014/8, Freie Universität Berlin.

BIANCO, V.; MANCA, O., y S. NARDINI (2009), “Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models”, *Energy*, 34: 1413-1421.

BIANCO, V.; SCARPA, F., y L. A. TAGLIAFICO (2014), “Scenario analysis of nonresidential natural gas consumption in Italy”, *Applied Energy*, 113: 392-403.

BIGERNA, S., y C. A. BOLLINO (2014), “Electricity demand in wholesale Italian market”, *Energy Journal*, 35: 25-46.

BJØRNER, T., y H. JENSEN, (2002 a), “Energy taxes, voluntary agreements and investment subsidies. A micro-panel analysis of the effect on Danish industrial companies’ energy demand”, *Resource and Energy Economics*, 24: 229-249.

— (2002b), “Inter-fuel substitution within industrial companies: An analysis based on panel data at company level”, *Energy Journal*, 23: 27-50.

BJØRNER, T.; TOGBY, M., y H. JENSEN, (2001), “Industrial companies’ demand for electricity: Evidence from a micropanel”, *Energy Economics*, 23: 595-617.

BLÁZQUEZ, L.; BOOGEN, N., y M. FILIPPINI (2013 a), “Residential electricity demand in Spain: new empirical evidence using aggregate data”, *Energy Economics*, 36: 648-657.

BLÁZQUEZ, L.; FILIPPINI, M., y F. HEIMSCH (2013b), “Regional impact of changes in disposable income on Spanish electricity demand: A spatial econometric analysis”, *Energy Economics*, 40: S58-S66.

BLUNDELL, R., y J. M. ROBIN (1999), “Estimation in large and disaggregated demand systems: An estimator for conditionally linear systems”, *Journal of Applied Econometrics*, 14: 209-232.

BORGES, A. M., y A. M. PEREIRA (1992), “Energy demand in Portuguese manufacturing: A two-stage model”, *Energy*, 17: 61-77.

BRÄNNLUND, R. (2013), “The effects on energy saving from taxes on motor fuels: The Swedish case”, *CERE Working Paper*, 06-2013.

BRÄNNLUND, R.; GHALWASH, T., y J. NORDSTRÖM (2007), “Increased energy efficiency and the rebound effect: Effects on consumption and emissions”, *Energy Economics*, 29: 1-17.

BRENTON, P. (1997), “Estimates of the demand for energy using cross-country consumption data”, *Applied Economics*, 29: 851-859.

BROADSTOCK, D. C.; COLLINS, A., y L. C. HUNT (2011), “Transportation oil demand, consumer preferences and asymmetric prices”, *Journal of Economic Studies*, 38: 528-536.

CHITNIS, M., y L. C. HUNT (2012), “What drives the change in UK household energy expenditure and associated CO₂ emissions? Implication and forecast to 2020”, *Applied Energy*, 94: 202-214.

CHRISTODOULAKIS, N. M., y S. C. KALYVITIS (1997), “The demand for energy in Greece: Assessing the effects of the Community Support Framework 1994-1999”, *Energy Economics*, 19: 393-416.

CHRISTODOULAKIS, N. M.; KALYVITIS, S. C.; LALAS, D. P., y S. PESMAJOGLOU (2000), “Forecasting energy consumption and energy related CO₂ emissions in Greece: An evaluation of the consequences of the Community Support Framework II and natural gas penetration”, *Energy Economics*, 22: 395-422.

CHRISTOPOULOS, D.(2000), “The demand for energy in Greek manufacturing”, *Energy Economics*, 22: 569-586.

CHRISTOPOULOS, D., y E. TSIONAS (2002), “Allocative inefficiency and the capital-energy controversy”, *Energy Economics*, 24: 305-318.

DANESIN, A., y P. LINARES (2015), “An estimation of fuel demand elasticities for Spain: An aggregated panel approach accounting for diesel share”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 49: 1-16.

DARGAY, J. (1992), “The irreversible effects of high oil prices: Empirical evidence for the demand for motor fuels in France, Germany, and the U.K”, en HAWDON, D. (ed.), *Energy Demand: Evidence and Expectations*, Surrey University Press, New York.

DI COSMO, V., y M. HYLAND (2013), “Carbon tax scenarios and their effects on the Irish energy sector”, *Energy Policy*, 59: 404-414.

DICEMBRINO, C., y G. TROVATO (2013), *Structural breaks, price and income elasticity and forecast of the monthly Italian electricity demand*, 10th International Conference on the European Energy Market.

DIMITROPOULOS, J.; HUNT, L., y G. JUDGE (2005), “Estimating underlying energy demand trends using UK annual data”, *Applied Economics Letters*, 12: 239-244.

DODGSON, J. S.; MILLWARD, R., y R. WARD (1990), “The decline in residential electricity consumption in England and Wales”, *Applied Economics*, 22: 59-68.

DONATOS, G. S., y G. J. MERGOS (1991), “Residential demand for electricity: The case of Greece”, *Energy Economics*, 13: 41-47.

DULLECK, U., y S. KAUFMANN (2004), “Do customer information programs reduce household electricity demand? The Irish program”, *Energy Policy*, 32: 1025-1032.

FLOROS, N., y A. VLACHOU (2005), “Energy demand and energy-related CO₂ emissions in Greek manufacturing: Assessing the impact of a carbon tax”, *Energy Economics*, 27: 387-413.

FOUQUET, R. (1995), “The impact of VAT introduction on UK residential energy demand. An investigation using the cointegration approach”, *Energy Economics*, 17: 237-245.

FRONDEL, M.; PETERS, J., y C. VANCE (2008), “Identifying the rebound: Evidence from a German household panel”, *Energy Journal*, 29: 145-163.

FRONDEL, M., y C. VANCE (2010), “Driving for fun? Comparing the effect of fuel prices on weekday and weekend fuel consumption”, *Energy Economics*, 32: 102-109.

—(2014), “More pain at the diesel pump? An econometric comparison of diesel and petrol price elasticities”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 48: 449-463.

GÁLVEZ, P.; MARIEL, P., y D. HOYOS (2015), “Estimating the direct rebound effect in the residential energy sector: an application in Spain”, en ANSUATEGI, A., DELGADO, J., e I. GALARRAGA (eds.), *Green Energy and Efficiency*, Springer, Switzerland.

GONZÁLEZ-MARRERO, R. N; LORENZO-ALEGRÍA, R. M., y G. A. MARRERO (2012), “A dynamic model for road gasoline and diesel consumption: An application for Spanish regions”, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2: 201-209.

HAAS, R.; BIERMAYR, P.; ZOECHLING, J., y H. AUER (1998), “Impacts on electricity consumption of household appliances in Austria: A comparison of time series and cross-section analyses”, *Energy Policy*, 26: 1031-1040.

HAAS, R., y L. SCHIPPER (1998), “Residential energy demand in OECD-countries and the role of irreversible efficiency improvements”, *Energy Economics*, 20: 421-442.

HANEMANN, M.; LABANDEIRA, X., LABEAGA, J. M., y X. LÓPEZ-OTERO (2013), “Energy demand for heating: short run and long run”, *WP Economics for Energy*, 07/2013.

HARVEY, A. C., y P. MARSHAL (1991), “Inter-fuel substitution, technical change and the demand for energy in the UK economy”, *Applied Economics*, 23: 1077-1086.

HENLEY, A., y J. PEIRSON (1998), Residential energy demand and the interaction of price and temperature: British experimental evidence”, *Energy Economics*, 20: 157-171.

HONDROYIANNIS, G. (2004),”Estimating residential demand for electricity in Greece”, *Energy Economics*, 26: 319-334.

HUNT, L. C.; JUDGE, G., e Y. NINOMIYA (2003), “Underlying trends and seasonality in UK energy demand: A sectoral analysis”, *Energy Economics*, 25: 93-118.

HUNT, L. C., e Y. NINOMIYA (2003), “Unravelling trends and seasonality: A structural time series analysis of transport oil demand in the UK and Japan”, *Energy Journal*, 24: 63-96.

HUNT, L. C., y D. L. RYAN (2014), “Economic modelling of energy services: Rectifying misspecified energy demand functions”, *Surrey Energy Economics Discussion paper Series*, 147, Surrey Energy Economics Centre, University of Surrey.

HUNT, L. C., y R. WITT (1995), “An analysis of UK energy demand using multivariate cointegration”, *Surrey Energy Economics Discussion paper Series*, 86.

JONES, C. T. (1996), “A pooled dynamic analysis of inter-fuel substitution in industrial energy demand by the G-7 countries”, *Applied Economics*, 28: 815-821.

LABANDEIRA, X.; LABEAGA, J. M., y X. LÓPEZ-OTERO (2012), “Estimation of elasticity price of electricity with incomplete information”, *Energy Economics*, 34: 627-633.

LABANDEIRA, X.; LABEAGA, J., y M. RODRÍGUEZ (2006), “A residential energy demand system for Spain”, *Energy Journal*, 27: 87-112.

LABEAGA, J. M., y A. LÓPEZ (1997), “A study of petrol consumption using Spanish panel data”, *Applied Economics*, 29: 795-802.

LABANDEIRA, X., y A. LÓPEZ-NICOLÁS (2002), “La imposición de los carburantes de automoción en España: algunas observaciones técnicas y empíricas”, *Hacienda Pública Española. Revista de Economía Pública*, 160: 177-210.

LAMPIN, L. B. A.; NADAUD, F.; GRAZI, F., y J. C. HOURCADE (2013), ”Long-term fuel demand: Not only a matter of fuel price”, *Energy Policy*, 62: 780-787.

LEE, C. C, y Y. B. CHIU (2011), “Electricity demand elasticities and temperature: Evidence from panel smooth transition regression with instrumental variable approach”, *Energy Economics*, 33: 896-902.

LETH-PETERSEN, S., y M. TOGEBY (2001), “Demand for space heating in apartment blocks: Measuring effects of policy measures aiming at reducing energy consumption”, *Energy Economics*, 23: 387-403.

LIJESSEN, M. G. (2007), “The real-time price elasticity of electricity”, *Energy Economics*, 29: 249-258.

LIU, G. (2004), “Estimating energy demand elasticities for OECD countries. A dynamic panel data approach”, *Discussion Papers*, 373, Statistics Norway, Research Department.

LUNDBERG, L. (2009), *An econometric analysis of the Swedish industrial electricity demand*, Master thesis, Lulea University of Technology.

MADLENER, R., y R. ALT (1996), “Residential energy demand analysis: An empirical application of the closure test principle”, *Empirical Economics*, 21: 203-220.

MEIER, H., y K. REHDANZ (2010), “Determinants of residential space heating expenditures in Great Britain”, *Energy Economics*, 32: 949-959.

MORANA, C. (2000), “Modelling evolving long-run relationships: an application to the Italian energy market”, *Scottish Journal of Political Economy*, 47: 72-93.

NARAYAN, P. K.; SMYTH, R., y A. PRASAD (2007), “Electricity consumption in G7 countries: A panel cointegration analysis of residential demand elasticities”, *Energy Policy*, 35: 4485-4494.

ORASCH, W., y F. WIRL (1997), “Technological efficiency and the demand for energy (road transport)”, *Energy Policy*, 25: 1129-1136.

POCK, M. (2010), “Gasoline demand in Europe: New insights”, *Energy Economics*, 32: 54-62.

POLEMIS, M. L. (2006), “Empirical assessment of the determinants of road energy demand in Greece”, *Energy Economics*, 28: 385-403.

— (2007), “Modeling industrial energy demand in Greece using cointegration techniques”, *Energy Policy*, 35: 4039-4050.

POLEMIS, M. L., y A. S. DAGOUMAS (2013), “The electricity consumption and economic growth nexus: Evidence from Greece”, *Energy Policy*, 62: 798-808.

RAPANOS, V., y M. POLEMIS (2006), The structure of residential energy demand in Greece, *Energy Policy*, 34: 3137-3143.

REHDANZ, K. (2007), “Determinants of residential space heating expenditures in Germany”, *Energy Economics*, 29: 167-182.

RENOU-MAISSANT, P. (1999), “Inter-fuel competition in the industrial sector of seven OECD countries”, *Energy Policy*, 27: 99-110.

ROMERO-JORDÁN, D.; DEL RÍO, P.; JORGE-GARCÍA, M., y M. BURGUILLO (2010), “Price and income elasticities of demand for passenger transport fuels in Spain. Implications for public policies”, *Energy Policy*, 38: 3898-3909.

ROMERO-JORDÁN, D.; DEL RÍO, P., y C. PEÑASCO (2014), “Household electricity demand in Spanish regions. Public policy implications”, *Document de treball*, 2014/24, Institut d’Economia de Barcelona.

— (2016), “An analysis of the welfare and distributive implications of factors influencing household electricity consumption”, *Energy Policy*, 88: 361-370.

SEALE JR., J.; WALKER, W. E., e I. M. KIM (1991), “The demand for energy: Cross-country evidence using the Florida model”, *Energy Economics*, 13: 33-40.

STERNER, T.; DAHL, C., y M. FRANZEN (1992), “Gasoline tax policy, carbon emissions and the global environment”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 26: 109-119.

VIRLEY, S. (1993), “The effect of fuel price increases on road transport CO₂ emissions”, *Transport Policy*, 1:43-48.

WALKER, I. O., y F. WIRL (1993), “Irreversible price-induced efficiency improvements: Theory and empirical application to road transportation”, *Energy Journal*, 14: 183-205.

WIRL, F. (1991), “Energy demand and consumer price expectations. An empirical investigation of the consequences from the recent oil price collapse”, *Resources and Energy*, 13: 241-262.

WOHLGEMUTH, N. (1997), “World transport energy demand modelling. Methodology and elasticities”, *Energy Policy*, 25: 1109-1119.

YI, F. (2000), “Dynamic energy-demand models: a comparison”, *Energy Economics*, 22: 285-297.

ZACHARIADIS, T., y N. PASHOURTIDOU (2007), “An empirical analysis of electricity consumption in Cyprus”, *Energy Economics*, 29: 183-198.

Información Publicaciones / Publications Information:

Funcas
Caballero de Gracia, 28
28013 Madrid
España / Spain
Tfno. / Phone: +34 91 596 54 81
Fax: +34 91 596 57 96
publica@funcas.es

P.V.P.: Suscripción anual papel, 20 € (IVA incluido)
Edición digital, gratuita

