

COSTES DE LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN ESPAÑA

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL (*)

PEDRO LINARES

Universidad Pontificia de Comillas y
Economics for Energy

PABLO PINTOS

Economics for Energy

KLAAS WÜRZBURG

Rede (Universidad de Vigo) y
Economics for Energy

La reducción de la demanda sigue constituyendo uno de los pilares esenciales de la política energética de un país. Esta reducción puede permitir lograr de forma simultánea los objetivos de minimización del coste, maximización de la seguridad de suministro y reducción del impacto ambiental de la energía, tal como se expresa en numerosos documentos de instituciones internacionales (IEA, 2010; EC 2011).

Una serie de estudios, todos ellos relacionados con la eficiencia energética, refuerzan esta idea. Bernstein *et al.* (2000) muestran que el PIB de California en 1995 habría sido un 3% inferior si el estado no hubiera aumentado la eficiencia energética durante el período 1977-1995. Wesselink *et al.* (2010, p.16) defienden que las mejoras en la eficiencia energética crean puestos de trabajo. Además, desde el punto de vista de la empresa, en un entorno de creciente concienciación medioambiental, la eficiencia energética ayuda a mejorar la reputación de la marca y a aumentar la cuota de mercado y los beneficios (ver p.ej. Grant, 2008; o Andersen y Narus, 1998).

Esto explica en parte el compromiso de la UE de mejorar la eficiencia energética un 20% para 2020 (EC, 2010). Sin embargo, los países de la UE no se encuentran actualmente en la senda que permita cumplir con los objetivos acordados (EC 2011, p. 3). En lo que se refiere a España, Economics for Energy (2010) concluía que, si bien la intensidad energética española había mejorado en los últimos años, seguía situándose por encima de la media europea. En particular, gran parte de la mejora experimentada en los últimos años en España tuvo lugar a nivel estructural, mediante cambios en el modelo productivo. Sin em-

bargo, todavía existen grandes diferencias con Europa a nivel intra-sectorial, es decir, en lo que respecta a la eficiencia de los procesos productivos o de los consumos dentro de cada sector.

Así, si bien el sector eléctrico muestra una alta eficiencia, y la industria mejora significativamente, los sectores terciario y residencial presentan tendencias de empeoramiento de su eficiencia, frente a las notables mejoras experimentadas en la Unión Europea. Además, el sector residencial es el mayor consumidor de energía en España (31% del total), a través del consumo en edificación y de transporte privado.

Por tanto, en el caso español parece especialmente apropiado seguir incidiendo en la necesidad de reducir la demanda de energía, en particular en los sectores de transporte y de edificación. Las distintas administraciones vienen reconociendo en los últimos años la relevancia de este asunto, y tanto el Gobierno central como las administraciones autonómicas y locales han desarrollado distintos programas y estrategias para ello. Por ejemplo, a nivel estatal, la Estrategia de Eficiencia Energética (E4), el Plan de Acción 2005-2007 (IDAE, 2005) y el Plan de Acción 2008-2012 (IDAE, 2007) analizan cada sector pormenorizadamente,

detallando qué medidas se pueden aplicar a cada sector para mejorar la eficiencia energética y cumplir con los ambiciosos objetivos planteados.

Uno de los elementos imprescindibles para el diseño de este tipo de políticas es la evaluación correcta del potencial de reducción disponible y del coste del mismo. Tradicionalmente se ha considerado que el ahorro y eficiencia energética suponen un coste negativo, es decir, que la implantación de este tipo de medidas implica siempre un beneficio económico. Así parecen indicarlo estudios como los elaborados por McKinsey (Enkvist *et al.*, 2007; McKinsey & Company 2010) Sin embargo, si realmente son tan rentables estas medidas, ¿por qué no se acometen de forma espontánea, sin necesidad de políticas de apoyo? Esto es lo que se conoce como la paradoja de la eficiencia energética: el hecho de que medidas aparentemente rentables no sean llevadas a la práctica. Se han dado distintas respuestas a esta paradoja (ver por ejemplo Linares y Labandeira, 2010; o Convery 2011), pero entre las más importantes está el hecho de que muchas veces las estimaciones subestiman el coste de las medidas de eficiencia, al no incluir primas de riesgo, costes ocultos, o las mayores rentabilidades exigidas por los consumidores privados (que a su vez se explican por distintas razones).

La no consideración de estos mayores costes hace que, en general, se manejen potenciales mayores que los realmente disponibles desde un punto de vista económico y que, además, el coste de las políticas sea inferior al real. Otro problema habitual en las estimaciones del coste y potencial de estas actuaciones es que no se tiene en cuenta la interacción entre las distintas medidas: algunas de ellas pueden solaparse entre sí, resultando en un potencial global de reducción inferior a la simple suma de las medidas. De nuevo, el resultado es una sobreestimación del potencial y una subestimación del coste. Finalmente, también debe distinguirse entre medidas de eficiencia y de ahorro: las ganancias de eficiencia, debido al efecto rebote, pueden no traducirse directamente en reducciones de la demanda de energía. En este sentido, existen distintos mecanismos que permiten minimizar el efecto rebote y que deben ser utilizados preferentemente.

En cualquier caso, sólo si se evalúan los potenciales y costes acertadamente será posible determinar el papel que debe jugar el ahorro y la eficiencia energética en las políticas energéticas, y diseñar políticas lo más eficientes posible para su apoyo. Por tanto, parece imprescindible mejorar en la estimación de los costes y beneficios de las medidas de eficiencia energética. En este artículo presentamos una estimación lo más rigurosa posible para España tanto del potencial de reducción de energía existente como del coste de lograrlo desde el punto de vista del consumidor (1). De esta forma será posible conocer hasta qué punto deben apoyarse las medidas de ahorro y eficiencia energética, cómo diseñar las políticas de apoyo, y también en qué sectores incidir para lograr los objetivos propuestos de la mejor manera posible.

CÓMO ESTIMAR LOS COSTES Y POTENCIALES DE REDUCCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ↓

Un método muy interesante para identificar el coste económico y el potencial de reducción de energía de distintas medidas es la construcción de curvas marginales de reducción. De esta forma, a la hora de tomar una decisión se puede comparar entre las distintas medidas e identificar aquellas con mayor potencial de reducción y con menor coste. Este método es muy similar al que se ha utilizado ya para evaluar la reducción de emisiones de CO₂ (curvas MACC o «marginal abatement cost curves»), y sobre el que ya existe una cierta literatura.

Generación de curvas de costes marginales de reducción ↓

Baker *et al.* (2008) definen la curva de costes marginales de reducción como la desviación con respecto a un escenario previo. Jackson (1991) fue de los primeros en calcular una curva MACC para las emisiones de CO₂ y define su curva MACC de una manera parecida: como «una metodología para comparar el coste-efectividad de distintas opciones tecnológicas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero». Como indica esta cita de Jackson (1991, p.35), el objetivo es identificar aquellas medidas que reducen las emisiones de CO₂ con el menor coste. Obviamente, este objetivo es extrapolable al caso del ahorro energético, lo que nos ocupa en este artículo.

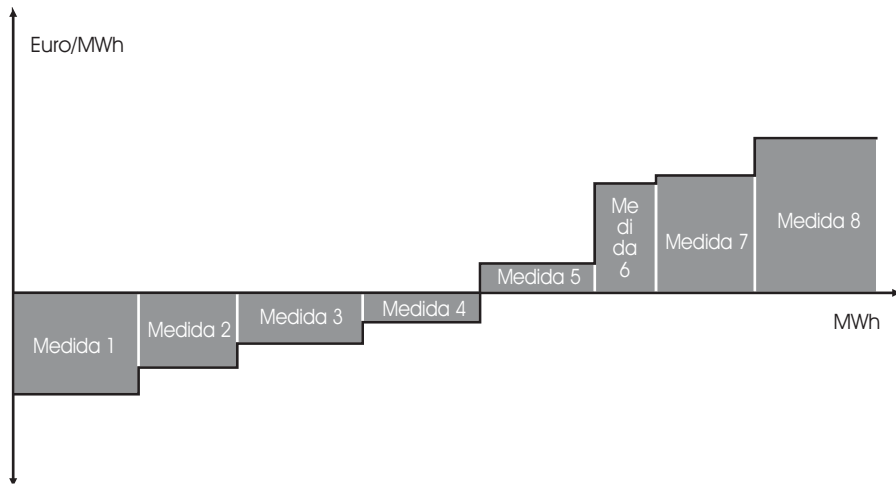
El escenario previo (de emisiones o consumo energético), esto es, el escenario base o tendencial, sería el escenario en el que se representa el comportamiento de la industria y de los consumidores en ausencia de las políticas de reducción. Los esfuerzos llevados a cabo para mejorar la eficiencia o las emisiones sobre este escenario base representarían el coste de las reducciones.

En el gráfico 1 se representa una curva tipo de costes marginales de reducción de la demanda de energía. Las áreas de la 1 a la 8 representan medidas de reducción de demanda. El atractivo de esta curva reside en que organiza las medidas de menor coste a mayor coste, lo que permite visualizar esta ordenación y calcular de manera sencilla el coste adicional de reducir una unidad más de energía o el potencial de reducción existente para un precio dado (por ejemplo, el coste de la energía). La curva también permite determinar el coste total de la reducción deseada porque, por construcción, dicho coste es la integral o el área bajo la curva hasta el punto deseado.

Métodos para el cálculo de la curva de costes marginales de reducción ↓

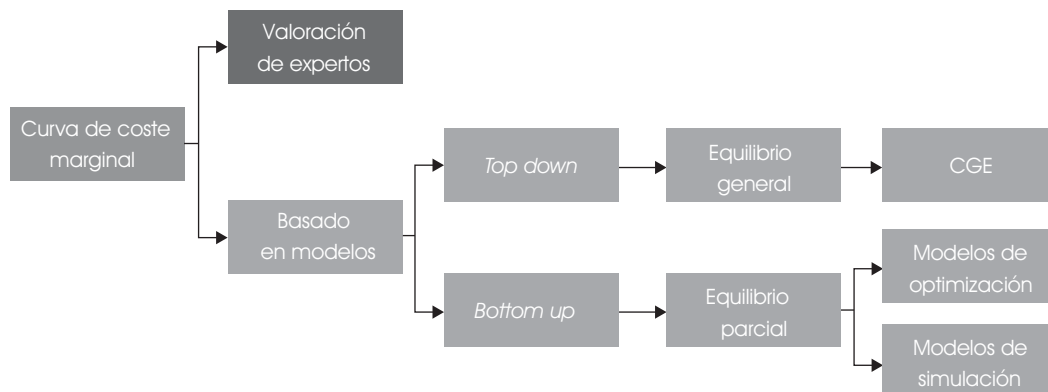
En general, existen dos formas para elaborar las curvas de costes marginales de reducción: basándose

GRÁFICO 1
CURVA TIPO DE COSTES MARGINALES DE REDUCCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA



FUENTE: Elaboración propia.

GRÁFICO 2
METODOLOGÍAS PARA CALCULAR CURVAS DE COSTES MARGINALES DE AHORRO O REDUCCIÓN



FUENTE: Elaboración propia.

en la valoración de expertos (expert-based) o en modelización (model-based). En la Figura 2 se representan las distintas opciones para calcular las curvas de costes marginales de reducción.

Curvas basadas en la valoración de expertos. Las curvas basadas en la valoración de expertos se utilizaron por primera vez para reducir el consumo de petróleo y electricidad en los años 70 (Kesicky, 2010). Actualmente las curvas basadas en la valoración de expertos más destacadas son las realizadas por Bloomberg New Energy Finance (Turner *et al.*, 2010) y McKinsey & Company (2010).

Estas curvas proporcionan información detallada de las distintas medidas de reducción, por lo que dependen en gran medida de la información suministrada por expertos sobre las medidas de reducción o ahorro. Cada tecnología es tratada independientemente

te. El mayor problema con este método es que dificulta el cálculo de los efectos que tiene la interacción de distintas medidas y, por ello, generalmente se sobrestiman los potenciales y se subestiman los costes.

Curvas basadas en modelos. Por el contrario, los cálculos basados en modelos son más generales porque se construye un modelo económico del sector energético o de toda la economía en función de valores reales. El modelo permite representar la producción actual y futura, así como las emisiones y el consumo energético.

Los métodos basados en modelos requieren el cálculo computacional de los resultados, pudiendo utilizarse un modelo de equilibrio parcial del sector energético o un modelo de equilibrio general de toda la economía. Normalmente, los detalles técnicos que

se pueden incluir en un modelo son menores a los empleados en un método basado en la valoración de expertos.

Otro inconveniente de este método es que es menos transparente en cuanto a los supuestos utilizados. Además, resulta complejo introducir en esta aproximación problemas muy habituales en el ámbito de la eficiencia energética como comportamientos no racionales, imperfecciones en los mercados o barreras difíciles de cuantificar. Sin embargo, permiten incluir los efectos sobre la economía de las medidas de ahorro y también son capaces de recoger la interacción entre distintas medidas.

También determinan la penetración en el mercado de las distintas medidas de forma endógena. Los métodos basados en modelos calculan nuevos escenarios imponiendo restricciones en las cantidades o en el precio de las emisiones o de la energía. Una vez obtenido el nuevo escenario, se puede comparar la reducción de emisiones o el ahorro en energía con respecto al coste económico de fijar límites en cantidades o aumentos de precio. Los métodos basados en modelos se pueden dividir en varias categorías:

Curvas basadas en modelos *bottom-up*. Los modelos energéticos *bottom-up* representan un equilibrio parcial del sector energético. En este caso se caracteriza una amplia variedad de tecnologías del sector energético con el fin de recoger las posibilidades de sustitución entre las distintas energías primarias y finales, la sustitución de procesos, o las mejoras de eficiencia. Los efectos sobre el sector energético se simulan mediante cálculos o mediante optimización (minimización de costes o maximización del excedente del consumidor o productor). De esta forma se obtiene el sistema energético con menor coste que logra cubrir una demanda energética dada y que cumple las restricciones técnicas y de política energética.

Los modelos *bottom-up* se han utilizado ocasionalmente para el cálculo del coste de reducción o ahorro energético. Uno de los pocos casos es el modelo TIMER (Targets Image Energy Regional) del Instituto Nacional Holandés para la Salud Pública y el Medioambiente. Es un modelo dinámico que considera la inercia, el agotamiento de los combustibles fósiles y el comercio entre regiones.

Otro ejemplo es el modelo PRIMES, utilizado por la Comisión Europea para simular los efectos de sus políticas climáticas y energéticas. Sí se han aplicado más para evaluar potenciales de reducción de CO₂: Wesselink y Deng (2009), por ejemplo, presentan un estudio de reducción de CO₂ para la UE, en el que se incluyen los 27 países de la UE y varios sectores de la economía. La estimación inicial del sector energético (precios, cantidades, etc.) se calcula con el modelo PRIMES. Wesselink *et al* (2010) utilizan esta misma metodología para calcular ahorros energéticos en Europa. Charlín y Watts (2010) emplean una metodología similar para calcular una curva de costes

marginales de ahorro de energía para el sector eléctrico de Chile.

En su estudio, también emplean un modelo de equilibrio parcial del sector energético chileno con un horizonte temporal a 2030. El trabajo incluye una serie de adaptaciones para poder considerar efectos secundarios e interdependencias entre sectores. Otro ejemplo, para el caso español, es el de Santamaría y Linares (2011), que analizan las posibilidades y los costes de reducir las emisiones de CO₂ en el sector industrial, presentando curvas de coste marginal para los sectores de cemento, acero y la generación eléctrica. Para ello construyen modelos *bottom-up* de cada uno de los sectores y simulan el impacto de restricciones crecientes en las emisiones de CO₂. En este caso, el modelo sí que optimiza la utilización de las distintas medidas de reducción.

El IDAE (2009) también ha estimado el potencial del ahorro energético para España, basándose en el modelo MURE (Mesures d'Utilisation Rationnelle de l'Énergie). El principal objetivo del estudio es estimar unos potenciales agregados, además de la contabilización y publicación de ciertos costes y características de medidas concretas. Aunque el estudio consigue reportar un potencial de ahorro energético para España, no produce una curva de costes marginales ni establece costes individuales para cada medida.

Curvas basadas en modelos *top-down*. Los modelos *top-down* consideran los efectos sobre la economía en su totalidad. Al fin y al cabo, el sector energético puede ser importante para el resto de la economía y los modelos de equilibrio general permiten representar los efectos del sector energético sobre el resto de sectores. Por tanto, los modelos *top-down* representan una economía en su conjunto, teniendo en cuenta las distorsiones del mercado, excedentes económicos y los efectos sobre los agentes económicos como las familias y el gobierno. Obviamente, las necesidades computacionales de estos modelos hacen que el nivel de detalle de los mismos sea necesariamente menor.

Dificultades en la estimación de potenciales de reducción y sus costes ↓

Como hemos visto, tanto los métodos basados en la valoración de expertos como los basados en modelos tienen inconvenientes. Esto hace que sea difícil elegir el método adecuado, algo importante porque los resultados dependen en buena medida del método utilizado (Fischer y Morgenstern, 2006; Edenhofer *et al.*, 2006). Algunos problemas se deben a la utilización de un método en concreto; otras veces se deben a los datos de entrada o a la forma en que se utiliza el método. A continuación resumimos los inconvenientes principales identificados en los trabajos previos.

En primer lugar, la necesidad de definir adecuadamente la referencia sobre la que calcular los ahorros de energía (contrafactual). Algunos estudios no tienen en

cuenta que las medidas ya en vigor (normativas existentes) o la propia evolución económica o tecnológica producirán cambios en la demanda de energía. Al no considerar estos factores, se producirá una sobreestimación del potencial existente.

Otro inconveniente es la difícil representación de las imperfecciones de los mercados o los comportamientos «extraños» de los consumidores. Tietenberg (2009) y Convery (2011) evalúan y discuten estos efectos en más detalle. Como ya se ha mencionado, los consumidores domésticos pueden requerir tasas de rentabilidad más altas para sus inversiones y, por tanto, invertir menos de lo estimado por los modelos. De igual forma, la existencia de imperfecciones o barreras en algunos mercados puede hacer inviable la inversión en medidas aparentemente beneficiosas. De nuevo, si no se tienen en cuenta estos elementos se producirá una sobreestimación de los potenciales o una subestimación de los costes. El caso más llamativo es el de las medidas con coste negativo, que son aparentemente rentables pero no se han llevado a la práctica.

Un problema habitual en los estudios basados en expertos aparece por las interacciones entre tecnologías. Las distintas medidas de ahorro pueden interactuar entre ellas, por lo que hay que tener cuidado para no sobreestimar los potenciales de ahorro energético: al fin y al cabo, un MWh de electricidad solo se puede ahorrar una vez. Por ello, si se aplican simultáneamente varias medidas a una misma instalación, hay que considerar su posible solapamiento. También puede haber solapamientos entre sectores: por ejemplo, si se llevan a cabo medidas en el sector del transporte para incentivar los vehículos eléctricos en favor de los vehículos de gasolina, el consumo eléctrico se verá afectado y será necesario considerar los efectos sobre los ahorros potenciales en el sector eléctrico.

Otro inconveniente de los métodos basados en expertos es que no permiten recoger el llamado «efecto rebote», es decir, el posible aumento de consumo de energía al reducirse el precio relativo de la misma por la mayor eficiencia energética, o al disponer de mayor renta. La cuantificación de este efecto requiere utilizar modelos de equilibrio general, más complejos. Aunque, en este caso, hay que mencionar que el efecto rebote depende del instrumento empleado para lograr la eficiencia energética, y por tanto no puede estimarse con carácter general.

También es necesario mencionar las dificultades de incorporar el avance tecnológico. Estos estudios tienen sentido a medio plazo, en el que hay una gran incertidumbre sobre el nivel de desarrollo de las distintas tecnologías, sobre sus costes y sobre el precio de los combustibles. Se trata de una cuestión sin solución simple, siendo especialmente recomendable la transparencia de los supuestos considerados para así poder evaluar la sensibilidad de los resultados a los mismos.

Y finalmente, quizá el mayor problema de todos: la ausencia generalizada de datos fiables para realizar los cálculos: consumos actuales (para establecer la referencia o baseline), costes de tecnologías, etc. Esta es posiblemente la limitación más importante, particularmente en el caso español, y difícil de solucionar en un trabajo de este tipo.

Tal y como se recoge en el apartado siguiente, en este estudio se han tratado de contrarrestar estas dificultades mediante una combinación de enfoques metodológicos, que se describen a continuación.

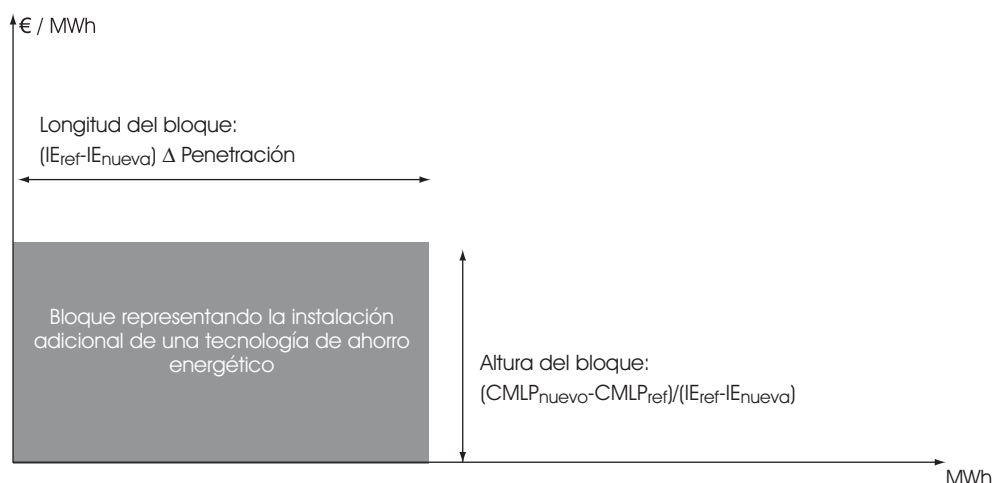
METODOLOGÍA

En esta sección se describe tanto la metodología escogida como las estrategias empleadas para afrontar las dificultades y limitaciones antes descritas. Así, el método utilizado en este estudio se basa en las valoraciones de expertos, aunque con algunas modificaciones. La evaluación de expertos interviene en la determinación de las penetraciones en el mercado de las distintas medidas para cada uno de los escenarios considerados, con un elevado nivel de detalle: para cada uno de los sectores se incluyen entre 15 y 50 posibles medidas, todas ellas caracterizadas a través de sus costes de inversión, mantenimiento y operación o combustible, y de su intensidad energética. La intensidad energética de cada medida se divide a su vez en intensidad eléctrica y térmica porque es necesario conocer la reducción en la demanda eléctrica para corregir el potencial de reducción en este sector. En todo caso, ambas se agregan en una única cifra de energía total, utilizando el factor de eficiencia medio del sector eléctrico.

A continuación describimos someramente el método de cálculo y la forma de resolver algunas de las limitaciones identificadas:

- En primer lugar, para cada medida de ahorro de energía se calcula su coste marginal a largo plazo por unidad. Para ello se agregan los costes de operación, mantenimiento y combustible, y se les suma el coste de inversión anualizado. Para anualizar el coste se utiliza una tasa de amortización que puede ser distinta según el sector tal y como se indicará más adelante.
- Posteriormente, para cada medida, se identifica la situación de referencia o contrafactual. Por ejemplo, se supone que las calderas de gas de condensación sustituirán a las calderas de gas normales o que los coches diesel avanzados sustituirán a los coches diesel actuales. En algunos casos la referencia no es una tecnología específica sino una media del sector (esta es la situación para el sector eléctrico, en que es muy difícil determinar a qué tecnologías sustituyen otras).
- Una vez identificada la referencia, se calcula el coste de la medida como la diferencia entre el coste marginal a largo plazo de la misma y el de la referencia.

GRÁFICO 3 CONSTRUCCIÓN DE LOS BLOQUES DE LA CURVA DE COSTES MARGINALES DE REDUCCIÓN DE DEMANDA DE ENERGÍA



FUENTE: Elaboración propia.

□ Igualmente, se calcula el ahorro energético proporcionado por cada medida como la diferencia entre las intensidades energéticas de la medida y de su referencia, multiplicado por el ámbito de actuación (que a su vez viene determinado por las diferencias entre las penetraciones en el mercado de las medidas en el escenario base y el escenario analizado). Las penetraciones se determinan exógenamente mediante el juicio de expertos.

□ Se divide el coste de la medida por el ahorro energético que proporciona para obtener así un coste por MWh ahorrado, que es el que permite ordenar las medidas de menor a mayor (de más a menos interesantes desde un punto de vista económico).

Con esto ya se cuenta con los elementos necesarios para construir cada uno de los bloques de la curva, tal y como se muestra en el gráfico 3.

La metodología propuesta también pretende resolver algunas de las limitaciones indicadas anteriormente para este tipo de modelos porque se consideran dos posibles evaluaciones de coste y potencial, una bajo una perspectiva pública o social y otra bajo una privada. Como ya se comentó anteriormente, en este artículo se presenta únicamente la valoración privada, ya que es la más apropiada para diseñar políticas, al reflejar mejor las decisiones de los inversores. Los resultados desde el punto de vista público están disponibles en Economics for Energy (2011).

Las diferencias entre las dos valoraciones son las siguientes: La valoración pública pretende analizar esta cuestión desde el punto de vista de la sociedad, o de la administración pública como su representante. Para ello, considera precios sin impuestos (dado que sería extraño pensar en que la promoción de la eficiencia energética lleve aparejada una pérdida

de recaudación fiscal, se asume así que los impuestos se ajustarán para evitar ese fenómeno); y una tasa de descuento única para todas las actuaciones. Por el contrario, en la evaluación desde la perspectiva privada se utilizan precios finales con impuestos y distintas tasas de descuento para los diferentes sectores, de forma que se trata de reflejar lo mejor posible la decisión del consumidor privado. Así, mientras la tasa de descuento empleada para anualizar las inversiones es de un 9% para los sectores industriales, en el sector residencial se utiliza una tasa del 30% para reflejar las decisiones reales adoptadas por los consumidores individuales. En el sector del transporte privado también se utilizan tasas de descuento elevadas, en este caso del 20% (véase, por ejemplo, Hausman (1979); Allcott y Wozny (2011)).

Sin embargo, hay imperfecciones y barreras que no pueden recogerse mediante la modificación de la tasa de descuento. Algunas de ellas se incorporan mediante la determinación por expertos de la penetración esperada de las distintas medidas, indicando explícitamente si se espera que una medida tenga una penetración distinta a la que le correspondería por su coste. No obstante, cuando se ve afectado el coste de implantación de la medida por la existencia de costes de transacción o costes de información, entre otros, también se corrige de forma explícita el coste original de la medida.

En cualquier caso, la existencia de efectos que no se pueden incluir de forma explícita puede provocar que aparezcan medidas con coste negativo, esto es, medidas aparentemente rentables pero que no se llevan a la práctica en la realidad. Ahora el modelo es igualmente útil al mostrar de forma clara estas situaciones que, como ya se indicó, probablemente reflejan la existencia de barreras no consideradas y que sería conveniente corregir mediante las políticas adecuadas.

Por último, la interdependencia entre las medidas se trata con un tratamiento posterior de la información obtenida en el modelo básico. Así, una vez calculado el coste y el potencial de cada medida, se identifican aquellas que pueden solaparse entre sí (por ejemplo, tecnologías de calefacción y medidas de aislamiento, o medidas de reducción de demanda eléctrica y tecnologías de generación eléctrica) y se corrige secuencialmente tanto el potencial como el coste de las medidas que se van introduciendo después de la inicial. Así, por ejemplo, la introducción en primer lugar de medidas que reducen la demanda eléctrica hace que cambie el potencial de reducción de los cambios de tecnología en el sector eléctrico, y consecuentemente su coste por MWh reducido.

Por supuesto, la metodología presentada no impide que sigan existiendo numerosas incertidumbres, difíciles de resolver: respecto a la caracterización de las medidas, y sobre todo, a su penetración en el mercado. Estas incertidumbres se gestionan parcialmente mediante el uso de escenarios, tal y como se describe en la sección siguiente.

ESCENARIOS Y MEDIDAS CONSIDERADAS †

Dado que el objetivo de este trabajo es informar las políticas de ahorro y eficiencia, y que estas políticas actúan con unos horizontes largos, hemos considerado conveniente establecer el horizonte del estudio en el año 2030. Por tanto, los resultados serán los ahorros potenciales de energía a lograr en España en esa fecha, bajo distintos supuestos que se agrupan en dos escenarios, tecnológico y político, que se describirán posteriormente. En todo caso, es importante señalar que el objetivo del estudio es identificar los ahorros que podrían lograrse con políticas distintas o adicionales a las previstas en la actualidad. Por tanto, en estos escenarios se compara la situación alcanzable con la tendencial en 2030 (es decir, lo que se lograría si no se hiciera nada adicional a lo existente).

El escenario tendencial recoge por tanto los planes de energías renovables o políticas de eficiencia energética ya aprobados o previstos en el horizonte considerado. Evalúa, con fines informativos, la reducción en la demanda de energía de acuerdo con estos cambios ya previstos. En este caso el escenario toma 2010 como año base para hacer los cálculos. Esta es una de las importantes limitaciones identificadas en estudios anteriores y que este trabajo pretende corregir.

En cuanto a los escenarios, pretenden recoger los distintos elementos de incertidumbre que pueden presentarse: de evolución tecnológica, de penetraciones de mercado, de costes de las medidas, etc., y también las distintas políticas que se podrían adoptar. Pero a la vez, hemos pretendido no crear un marco confuso, y por tanto sólo se plantean dos escenarios, quizá algo extremos, pero que tratan de recoger el amplio abanico de resultados posibles de forma concisa.

El escenario tecnológico considera así penetraciones elevadas de tecnologías aún consideradas como de futuro (por ejemplo, solar fotovoltaica en el sector eléctrico, calderas de alta eficiencia para climatización, coches eléctricos, etc.) asociadas a reducciones en los costes de las citadas tecnologías. Este escenario también asume unos precios bajos para el gas natural ligados a la mejora tecnológica en los procesos de extracción de este combustible. Este escenario probablemente precise de apoyos políticos, pero orientados al desarrollo tecnológico y no tanto a la implantación en sí de las medidas.

El escenario político, por el contrario, no considera mejoras en los costes de las tecnologías sino que trata de representar un compromiso político para la promoción de tecnologías más eficientes energéticamente con independencia de su coste.

En Economics for Energy (2011) puede encontrarse una descripción detallada de los costes y penetraciones supuestos para cada una de las medidas en los distintos escenarios. También se presenta una lista detallada de las medidas contempladas a este respecto.

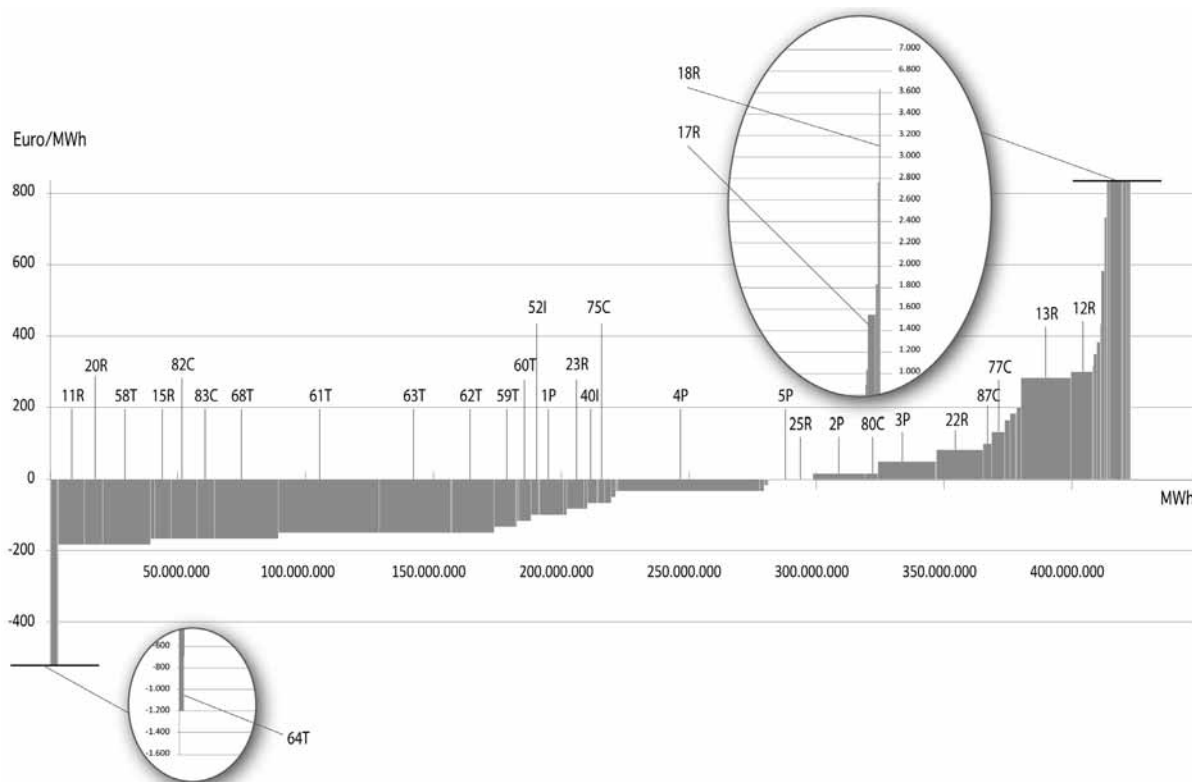
Los sectores considerados en nuestro análisis son: edificios residenciales, edificios comerciales, transporte (público y privado, carretera y ferrocarril), y sector eléctrico. Además se incluye un sector industrial, en el que se consideran la fabricación de aluminio, amoníaco, ladrillos, cemento, acero, cerámica, la industria petroquímica y el refino de petróleo. En total, los sectores y consumos considerados cubren el 81% de la demanda de energía en España en 2010, correspondiendo el 20% restante a otros consumos industriales más desagregados o con más dificultad para obtener datos.

Es importante destacar que el estudio solo considera medidas «tecnológicas» y no de cambio de comportamiento: por ejemplo, se contempla la posibilidad de cambiar de vehículo pero no la de reducir la velocidad media, conducir eficientemente o disminuir los desplazamientos. La razón para ello no es la falta de interés o utilidad de dichas medidas sino la dificultad para estimar sus costes, no tan evidentes como podría parecer porque existen muchas alternativas: publicidad y concienciación, incentivos de precio o prohibición. Cada una de esas posibles actuaciones presenta costes de administración y efectos sobre el bienestar de los consumidores de difícil cálculo (aunque en ocasiones podría hacerse midiendo los cambios en el excedente del consumidor). Además, cuanto más ligera sea la actuación más difícil será saber cómo responderán los consumidores y, por tanto, estimar el potencial de reducción. Esto explica que hayamos optado por no incluir los cambios de comportamiento, que en todo caso podrían añadirse ex-post, para no contaminar con cálculos imprecisos el resultado global del trabajo.

RESULTADOS †

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el trabajo para los tres escenarios descritos ante-

GRÁFICO 4
POTENCIAL DE REDUCCIÓN 2010–2030 (TENDENCIAL), PERSPECTIVA PRIVADA



NOTA: La clave de identificación de las medidas puede consultarse en el anexo al final del artículo.
FUENTE: Elaboración propia.

riormente (tendencial, tecnológico y político). Como ya se avanzó, se representan únicamente los resultados bajo valoración privada. Los resultados desde el punto de vista público están disponibles en Economics for Energy (2011).

El escenario tendencial compara la demanda energética prevista en 2030, dada la evolución esperada de las distintas tecnologías y la implantación de las políticas previstas en este período, con la que tendría lugar si se mantuviera la estructura tecnológica de 2010. Los resultados muestran que la demanda energética final en 2030 es un 2% inferior a la de 2010 porque, a pesar del crecimiento en algunos de los factores explicativos del consumo energético (edificación, transporte, etc.), el cambio tecnológico previsto consigue reducir en un 26% la demanda prevista en ausencia de dichas mejoras. Por ello, simplemente con la evolución esperada de las distintas tecnologías y con la aplicación de las políticas ya previstas, asumiendo que los factores subyacentes se mantengan en las sendas contempladas en este estudio, sería posible estabilizar la demanda energética a niveles de 2010.

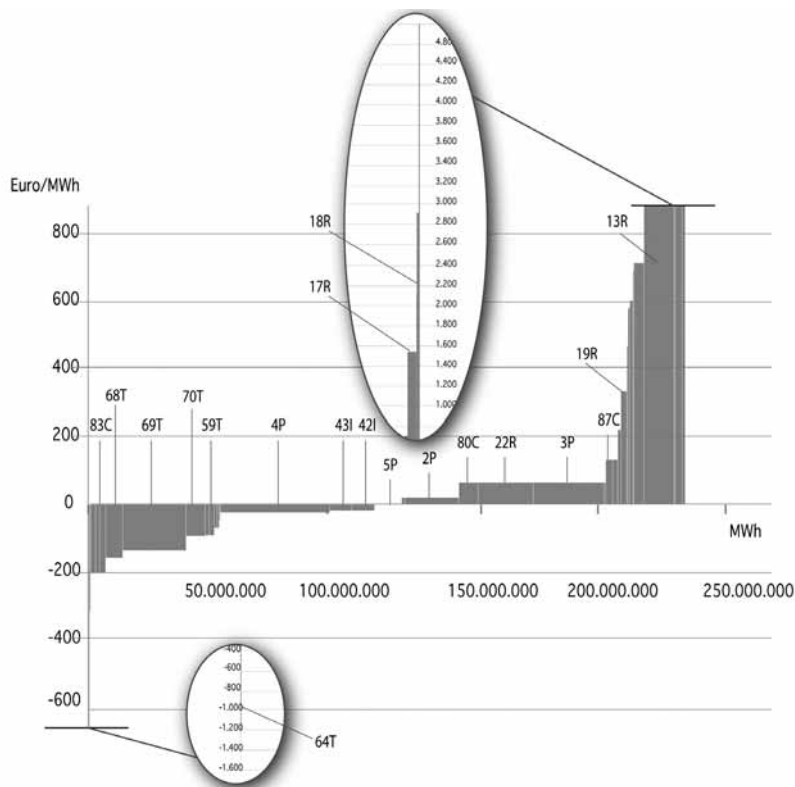
El gráfico 4 muestra la curva de costes marginales de reducción para este escenario bajo la perspectiva privada.

Entre las tecnologías que más contribuyen a la anterior reducción de demanda figuran la eólica y solar en el

sector eléctrico, la mayor penetración de coches híbridos y de camiones y ferrocarriles más eficientes y el cambio modal hacia el ferrocarril. También tienen una contribución importante las bombas de calor, las calderas de gas eficientes y la reducción en el consumo de los vehículos convencionales, que permiten reducir el consumo de una gran cantidad de energía a un coste negativo.

El coste de la reducción de demanda de energía en este escenario no es nulo, aunque sí en una gran medida: del 26% de ahorro previsto con respecto a la situación sin cambio tecnológico, un 73% del potencial de reducción (es decir, un 19% de ahorro con respecto a la situación sin ahorro) puede alcanzarse a coste negativo o nulo. Y un 84% sería rentable con costes por debajo de 50€/MWh (que a su vez es inferior al precio considerado para el gas natural). Por ello, de compensar los ahorros económicos de unas medidas con el coste de otras, el paquete de medidas considerado presentaría unos costes negativos de 4.100 millones de Euros. Se puede observar cómo, incluso a pesar de considerar tasas de descuento que reflejan la paradoja de la eficiencia energética, existen también numerosas medidas con coste negativo o inferior a 50€/MWh. Ahora debe evaluarse si pueden existir costes no contemplados, ocultos o de transacción, o si los costes negativos más bien reflejan la existencia de barreras administrativas, institucionales o de comportamiento.

GRÁFICO 5
POTENCIAL DE REDUCCIÓN 2010-2030 (POLÍTICO), PERSPECTIVA PRIVADA



NOTA: La clave de identificación de las medidas puede consultarse en el anexo al final del artículo.
FUENTE: Elaboración propia.

También, y dado su elevado coste, cabe preguntarse por el interés de llevar a cabo algunas de las medidas consideradas. En particular, el estudio señala como tecnologías especialmente costosas la bomba de calor geotérmica, el aislamiento de las viviendas (que sin embargo tiene un gran potencial de reducción) o algunos electrodomésticos eficientes.

En lo que respecta al aislamiento, hay que comentar que el estudio utiliza los costes de una rehabilitación energética llevada a cabo de forma aislada. Incluir estas reformas en un proyecto de rehabilitación o modernización necesario por otros motivos (p.ej, accesibilidad o requerimientos constructivos), o incluir una mejor envolvente en una construcción nueva conllevará siempre costes muy inferiores, por lo que la rentabilidad de esta medida podría aumentar significativamente.

Ahora bien, como se indicó con anterioridad, la línea de base a considerar no es la de 2010 sino la situación tendencial a 2030, porque sobre ella se aplicarán las políticas. Esta situación se analiza en los escenarios tecnológico y político, en los que se puede observar cómo existe potencial de reducción adicional sobre el ya logrado en el escenario tendencial.

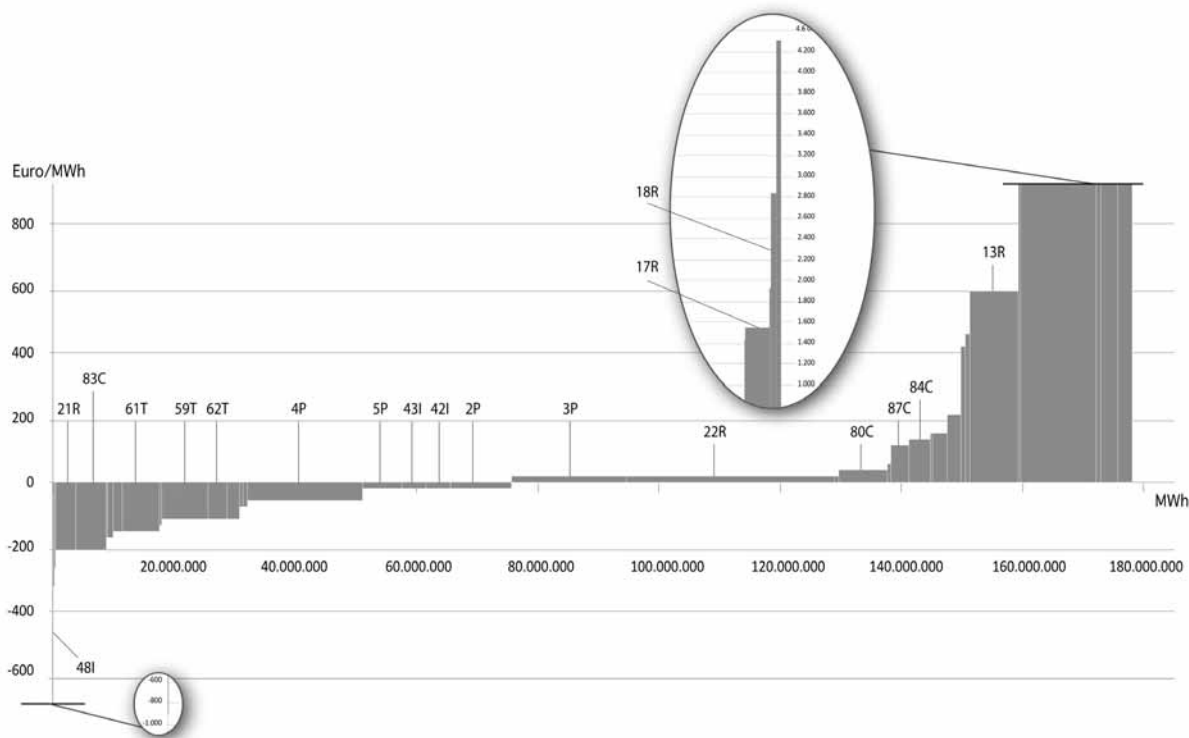
El escenario político es el más ambicioso porque se logran reducciones del 19% en 2030 con respecto al consumo energético del escenario tendencial, es de-

cir, adicionales a las ya consideradas anteriormente. La reducción acumulada sobre la demanda en 2030 sería de un 40%. El coste marginal de la reducción es algo mayor que en el escenario tendencial: el porcentaje de medidas con coste negativo es del 50%, y las medidas con coste inferior a 50€/MWh suponen un 60% del potencial.

En este escenario ir más allá de este 60% tiene un coste significativo, lo que indica que se está cerca del límite económico del potencial de reducción. Efectivamente, las tecnologías más costosas (de nuevo, el aislamiento, las bombas geotérmicas o algunos electrodomésticos eficientes) hacen subir mucho los costes totales de la reducción: mientras que en el caso tendencial la suma de todos los costes era negativa, ahora ascienden a 35.000 millones de Euros. No obstante, si se limitaran las medidas a adoptar a las que presentasen un coste inferior a 1.000 €/MWh, el coste total sería nulo.

Lo precedente está obviamente relacionado al hecho de que algunos potenciales de reducción muy coste-efectivos, como la instalación de calderas eficientes de gas, ya fueron agotados en gran medida en el escenario tendencial. Como se puede observar, las tecnologías más interesantes son los vehículos eficientes, el cambio modal para el transporte de mercancías, o la energía eólica. El gráfico 5 (en pá-

GRÁFICO 6
POTENCIAL DE REDUCCIÓN 2010–2030 (TECNOLÓGICO), PERSPECTIVA PRIVADA



NOTA: La clave de identificación de las medidas puede consultarse en el anexo al final del artículo.

FUENTE: Elaboración propia.

gina anterior) muestra la curva de costes marginales de reducción de energía para este escenario.

Finalmente, el escenario tecnológico asume una evolución avanzada de las tecnologías eficientes (incluyendo una bajada de su coste) pero, al no incorporar el escenario una política intensa de ahorro y eficiencia, supone unas penetraciones inferiores. Con respecto al escenario anterior, representaría una situación menos agresiva en cuanto a adopción de medidas eficientes, con los resultados esperables: el potencial de reducción es en este caso inferior al del escenario político, de un 15% de reducción adicional frente al consumo tendencial en 2030 (comparado con una reducción del 19% en el escenario político). Asimismo, cobran mayor importancia en la reducción las tecnologías (eficientes) más baratas de iluminación, hibridación de vehículos, ACS solar y electrificación del parque móvil.

En cuanto a los costes, el resultado no es tan evidente. Aunque por una parte se podría esperar que el coste de las medidas se redujese por los mayores avances tecnológicos, los ahorros también caen al asumir un precio bajo del gas natural. Por ello, el coste total es algo superior incluso al del escenario político, incluso para una reducción de la demanda tres veces inferior a la de dicho escenario: 43.200 M€ en el caso privado. La estructura de costes es algo más desfavorable en términos relativos porque los ahorros alcanzables

con un coste negativo se sitúan en el 42%. Como en los escenarios anteriores, las tecnologías más costosas vuelven a ser las de aislamiento en edificios residenciales y comerciales que mantienen un elevado potencial de reducción.

Finalmente, es interesante señalar la influencia de las interacciones entre medidas. En general la consideración de las interacciones hace que el potencial de reducción se reduzca entre un 5% y un 10% en función del escenario. En particular, se reduce el potencial y aumenta el coste de las medidas más caras, que en casi todos los escenarios son las relacionadas con el aislamiento de los edificios residenciales y comerciales (con las salvedades ya comentadas).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo ha realizado, de manera pionera para España, una estimación de los potenciales y costes de reducción de la demanda de energía, para lo cual también ha introducido algunas novedades metodológicas sobre estudios previos. Los resultados muestran que, por una parte, la propia evolución tecnológica y la aplicación de las políticas existentes pueden lograr una importante reducción en la demanda de energía en España. Así, el estudio prevé que para 2030 la demanda pueda estabilizarse cerca de los niveles de 2010, lo que supondría una re-

ducción de un 26% respecto a la demanda previsible en ausencia de este cambio tecnológico. Más allá de esta reducción, la implantación de políticas más agresivas, o una evolución acelerada de las distintas tecnologías, podría proporcionar un potencial de reducción aún mayor.

Tal como muestra el escenario político, la apuesta por las tecnologías más eficientes conllevaría una reducción adicional de un 19% sobre el escenario esperable para 2030. Puesto que el estudio no ha considerado los efectos de cambios de comportamiento, el recurso a nuevas políticas de concienciación de los consumidores o señales de precios (por ejemplo a través de impuestos) podrían llevar a ahorros aún mayores.

En cuanto a los costes, los resultados también son llamativos. A pesar de que incorporan la interacción entre las tecnologías y, sobre todo, unas tasas de descuento elevadas para los consumidores residenciales, todos los escenarios muestran cómo más del 40% del potencial de reducción podría lograrse con costes negativos y más del 60% se lograría a un coste inferior a 50€/MWh (que es inferior al coste considerado para casi todos los combustibles en 2030). La comparación de costes entre escenarios también apunta a la enorme influencia de los precios de la energía: una bajada en el coste del gas natural, asumida por este trabajo para el escenario tecnológico, hace que el coste de las medidas de eficiencia energética aumenten considerablemente porque se reducen los ahorros monetarios. Por ello, es especialmente necesario reiterar la importancia de que los precios de la energía recojan todos los costes para dar la señal correcta al ahorro energético también desde esta perspectiva.

Una segunda conclusión del estudio se refiere a la existencia de una importante reducción de demanda que proviene de la aplicación de las políticas existentes. Por ello, es fundamental asegurarse de que estas políticas se ejecuten correctamente. De hecho, las políticas previstas en nuestro país en este ámbito incorporan las medidas más baratas y más efectivas, como la sustitución de calderas en edificios o la reducción de consumos en el transporte.

En cuanto a los sectores y medidas prioritarias, conviene distinguir entre la situación tendencial y los escenarios más ambiciosos. En el escenario tendencial es imprescindible asegurar una mayor penetración de energías renovables en el sector eléctrico, la reducción de consumos en los vehículos (fundamentalmente a través de la hibridación, pero también mejorando los vehículos convencionales), el cambio modal hacia el ferrocarril y la mejora de la eficiencia en la climatización de edificios (calderas eficientes y bombas de calor).

En el escenario político, puesto que la sustitución de sistemas de climatización en edificios ya está parcialmente agotada, las medidas más interesantes a promover son un incremento aún mayor de la energía eólica, la mayor eficiencia de los vehículos, o el cambio modal en el transporte de mercancías. Por su parte, el escenario tecnológico apunta a las tecnologías con

mayor potencial de evolución: las de iluminación eficiente, los coches híbridos o los coches eléctricos. En este caso será fundamental que la evolución tecnológica se materialice y se abarate su coste (para lo que puede ser esencial un esfuerzo adicional en I+D).

En cualquier caso, se observa un potencial de reducción muy importante, que puede ser alcanzado a costes muy bajos. Pero esto no implica que la tarea sea sencilla, puesto que la existencia de abundantes medidas con costes negativos confirma la presencia de numerosas barreras no económicas al desarrollo de este potencial que deberían afrontarse mediante las políticas adecuadas. Así, estas políticas deben venir determinadas entre otras cosas por el coste para el consumidor de las medidas de ahorro.

Las medidas con costes muy negativos son las más interesantes a promover desde el punto de vista público, ya que ofrecen un alto potencial de reducción a un coste negativo. Sin embargo, el hecho de que el coste sea muy negativo, y que típicamente no se estén llevando a cabo, indica que no es el elemento económico el que dirige su implantación o no, sino la existencia de otro tipo de barreras: costes ocultos o de transacción, falta de concienciación, inercias al comportamiento, problemas principal-agente, lock-in tecnológico, riesgos no socializados, etc.

Por tanto, las acciones para promover estas medidas deben dirigirse no tanto a mejorar su rentabilidad (por ejemplo, mediante las típicas subvenciones generalistas o a través de la fiscalidad), sino a eliminar dichas barreras. Esto incluiría:

- ✓ Políticas de concienciación e información
- ✓ Reformas institucionales que alineen objetivos (por ejemplo en los problemas principal-agente) o que hagan aflorar costes ocultos
- ✓ Reformas administrativas que reduzcan los costes de transacción
- ✓ Esquemas financieros para racionalizar el riesgo o socializarlo
- ✓ Inversión en infraestructuras para romper con el lock-in tecnológico

Algunos ejemplos serían: la inversión en intercambiadores e infraestructuras para favorecer el cambio modal del transporte de mercancías, el facilitar el uso de residuos por parte de la industria del cemento, la realización de auditorías para concienciar a la industria sobre las oportunidades de mejora, los programas de concienciación para la sustitución de calderas, etc.

También se podrían considerar en algunos casos apoyos económicos o señales de precio, pero siempre que vayan dirigidos a eliminar barreras. Así, las señales de precio o subvenciones pueden romper en ocasiones inercias, o crear concienciación. Pero dado que su efecto sería típicamente temporal, y su

uso continuado muy ineficiente, deberían ser políticas con una fecha de caducidad muy limitada.

En un segundo grupo se incluyen medidas de bajo coste y alto potencial, y por tanto, también medidas interesantes de promover desde el sector público. Podemos encontrar dos casos: medidas como las anteriores, que sufren barreras no económicas (en cuyo caso lo dicho para las anteriores también sería aplicable); y medidas que no necesitan de apoyo adicional, porque su coste las hace rentables y no experimentan este tipo de barreras. En este segundo caso no serían necesarias políticas específicas, salvo la ya mencionada de asegurarse de que el coste de la energía recoge todos sus costes, y por tanto de que la rentabilidad privada coincide con la social.

Si el coste público es bajo, mientras que el privado es alto, podemos estar en presencia de un problema de externalidades ambientales, energéticas, o de falta de asignación eficiente del riesgo. En este caso, las políticas razonables serían las que tratan de corregir estas externalidades, típicamente mediante señales de precio.

Si el coste público también es alto (algo que sucede por ejemplo con el aislamiento de viviendas), entonces hay varios aspectos a considerar. En primer lugar, hay que plantearse cuál es el coste al que estamos dispuestos a pagar el ahorro energético: el ahorro energético es deseable, pero no a cualquier precio. Por tanto, es imprescindible evaluar este coste cuidadosamente, incluyendo todas las externalidades implicadas (dos ejemplos especialmente relevantes en el sector energético son el cambio climático o la seguridad energética). También puede ser recomendable incorporar reflexiones acerca del plazo de construcción y del lock-in, como defienden Vogt y Hallegatte (2011)

En segundo lugar, puede ser conveniente apoyar el avance tecnológico que permita abaratar los costes de las tecnologías, tal como se muestra parcialmente en el escenario tecnológico. De hecho, los esfuerzos en I+D deberían concentrarse en estas medidas de alto potencial y coste elevado, para tratar de reducirlo.

Y finalmente, puede ser conveniente evaluar la repercusión de estas actuaciones fuera del ámbito energético. Un buen ejemplo es la rehabilitación energética de edificios, una de las medidas menos rentables en términos de ahorro energético, pero con muchas implicaciones en términos de impulso de la actividad económica, rescate de sectores muy importantes en nuestro país como es la construcción, o rehabilitación en términos sociales de las ciudades. Estos aspectos podrían hacer que, incluso a pesar de su baja rentabilidad económico-energética, pueda ser interesante impulsar estas medidas.

Para terminar, y como ya se ha adelantado en algunas de estas conclusiones y recomendaciones, es in-

terésante recordar que en un estudio como éste la incertidumbre sobre los costes o penetraciones de mercado de las distintas tecnologías juega un papel fundamental. Por ello, los resultados pueden cambiar significativamente si se modifican dichos parámetros. El lector interesado tiene a su disposición en el informe completo (Economics for Energy, 2011) toda la información necesaria para evaluar la sensibilidad de los resultados a cambios en los parámetros que considere de interés.

(*) Agradecimientos. El presente trabajo ha sido elaborado con la colaboración de Bloomberg New Energy Finance en lo que respecta a datos y modelos, y de Alberto Santamaría, del Instituto de Investigación Tecnológica, para el cálculo de las interacciones entre las medidas de ahorro. Además, el informe ha contado con la valiosa ayuda de varios expertos de los sectores analizados, que han contrastado la validez de los supuestos utilizados para el análisis: Peter Sweatman, José J. Guerra, José M. García Salvador, María Mendiuce, Valentín Alfaya, Antón Navarro, Alberto García Álvarez y el IDAE. No obstante, la responsabilidad de los datos, resultados y opiniones corresponde totalmente a los autores

NOTAS ↴

- [1] Este artículo está basado en un informe más amplio (Economics for Energy, 2011) en el que también pueden encontrarse evaluaciones de costes desde el punto de vista público. Si bien para la evaluación de políticas es el coste social el que debe emplearse, para su diseño puede tener más sentido utilizar la evaluación desde el punto de vista privado.

BIBLIOGRAFÍA ↴

- ALLCOTT, H. y WOZNY, J.N. (2011): Gasoline Prices, Fuel Economy, and the Energy Paradox, Working Papers 1003, Massachusetts Institute of Technology, Center for Energy and Environmental Policy Research.
- ANDERSON, J.C. y NARUS, J.A. (1998): Business Marketing: Understand What Customers Value, *Harvard Business Review*, vol. 76, nº 6, p. 53-65.
- BAKER, E., CLARKE, L. y SHITTU, E. (2008): Technical change and the marginal cost of abatement, *Energy Economics*, nº 30, p. 2799-2816.
- BERNSTEIN, M., LEMPERT, R., LOUGHRAN, D. y ORTIZ, D. (2000): The Public Benefit of California's Investment in Energy Efficiency, Rand Report MR-1212.O-CEC, prepared for the California Energy Commission. Santa Monica, CA: RAND Corporation.
- CHARLÍN, D. y WATTS, C. (2010): Influencia del impacto de la Eficiencia en la Energía Eléctrica (EEE) en el desarrollo de inversiones de Generación en Chile. Papers for DIPEI's «Congreso de Estudiantes de Postgrado UC». 28 de Mayo de 2010, Santiago de Chile, disponible en: www.electricitymarket.net.
- CONVERY, F.J. (2011): Reflections – Energy Efficiency Literature for Those in the Policy Process, *Review of Environmental Economics and Policy*, doi: 10.1093/reep/req026.
- Economics for Energy (2010) Análisis de la Evolución de la Intensidad Energética en España, http://www.eforenergy.org/actividades/Resumen_ejecutivo.pdf.
- ECONOMICS FOR ENERGY (2011) Potencial Económico de Reducción de la Demanda de Energía en España, <http://www.eforenergy.org/actividades/Presentacion-del-Informe-sobre-Potencial-Economico-de-Reduccion-de-la-Demanda-de-Energia-en-Espana.php>.
- EDENHOFER, O., LESSMANN, K., KEMFERT, C., GRUBB, M. y KÖHLER, J. (2006): Induced Technological Change: Exploring its Implications for the Economics of Atmospheric Stabilization, Synthesis Report from the Innovation Modeling Comparison Project,

ANEXO
CLAVES DE IDENTIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE REDUCCIÓN

Clave	Sector	Descripción
1 P	Eléctrico	Ciclo combinado de gas - eficiencia alta
2 P	Eléctrico	Solar FV
3 P	Eléctrico	Solar termoeléctrica
4 P	Eléctrico	Eólica onshore
5 P	Eléctrico	Eólica offshore
6 P	Eléctrico	Hidro (fluyente)
7 P	Eléctrico	Mareas
8 R	Residencial	Caldera de biomasa
9 R	Residencial	Microgeneración
10 R	Residencial	Calefacción urbana
11 R	Residencial	Caldera de gas de condensación
12 R	Residencial	Bomba de calor
13 R	Residencial	Bomba de calor avanzada
14 R	Residencial	Bomba de calor geotérmica
15 R	Residencial	Caldera de gas de baja temperatura
16 R	Residencial	Aire acondicionado avanzado
17 R	Residencial	Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión)
18 R	Residencial	Doble acristalamiento
19 R	Residencial	Sistemas de gestión de la climatización
20 R	Residencial	Iluminación fluorescente
21 R	Residencial	Iluminación LED
22 R	Residencial	Calentador de agua solar
23 R	Residencial	Calentador de agua gas condensación
24 R	Residencial	Calentador de agua biomasa
25 R	Residencial	Frigoríficos eficientes
26 R	Residencial	Hornos eficientes
27 R	Residencial	Lavadoras eficientes
28 R	Residencial	Lavavajillas eficientes
29 R	Residencial	Cocina de inducción de alta eficiencia
30 I	Industrial - amoníaco	Recuperación de hidrógeno
31 I	Industrial - amoníaco	Síntesis de baja presión
32 I	Industrial - amoníaco	Gestión de la energía
33 I	Industrial - ladrillos	Recuperación de gases - Túnel
34 I	Industrial - ladrillos	Aislamiento del horno - Túnel
35 I	Industrial - ladrillos	Mejora del flujo y presión - Túnel
36 I	Industrial - ladrillos	Upgrade de Hoffman a Túnel mejorado
37 I	Industrial - ladrillos	Secado continuo - Hoffman
38 I	Industrial - cemento	Precalcinadores
39 I	Industrial - cemento	Enfriado de rejilla
40 I	Industrial - cemento	Control de procesos y automatización
41 I	Industrial - cemento	Mantenimiento preventivo
42 I	Industrial - cemento	Precalcinadores - residuos
43 I	Industrial - cemento	Control de procesos y automatización - residuos
44 I	Industrial - aluminio	Mejora de procesos
45 I	Industrial - petroquímica	Mejora de procesos
46 I	Industrial - acero	Gestión de energía EAF
47 I	Industrial - acero	Fundición Near net shape strip EAF
48 I	Industrial - acero	Gestión de energía BOF
49 I	Industrial - acero	Fundición Near net shape strip BOF
50 I	Industrial - acero	Recuperación de gases - BOF
51 I	Industrial - acero	Sustitución de BOF por EAF
52 I	Industrial - refinería	Gestión de procesos y de la energía
53 I	Industrial - cerámica	Aislamiento de hornos

continúa en página siguiente.../...

The Energy Journal – Endogeneous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilization Special Issue (IAEE).

ENKVIST, P., NAUCLÉR, T. y ROSANDER, J. (2007): A cost curve for greenhouse gas reduction, *MCKinsey Quarterly*.

EUROPEAN COMMISSION (2010): *Europe 2020 – a strategy for smart, sustainable and inclusive growth*, Bruselas.

EUROPEAN COMMISSION (2011) *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, Bruselas, http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/index_en.htm.

FISCHER, C. y MORGENSTERN, R. D. (2006): Carbon Abatement Costs: Why the big range of Estimates? *Energy Journal* 27(2), p. 73-86.

GRANT, J. (2008): «Green marketing», *Strategic Direction*, vol. 24, nº 6, p. 25-27.

HAUSMAN, J.A. (1979): Individual Discount Rates and the Purchase and Utilization of Energy-Using Durables, *The Bell Journal of Economics*, vol. 10, nº 1, p. 33-54.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (2005): *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-*

viene de la página anterior

Clave	Sector	Descripción
54 I	Industrial - cerámica	Mejora del flujo de aire
55 I	Industrial - cerámica	Precaentamiento con recuperación de gases
56 I	Industrial - cerámica	Recuperación de calor
57 I	Industrial - cerámica	Cambio de túnel a rodillos
58 T	Transporte	Coche diesel más eficiente
59 T	Transporte	Coche eléctrico
60 T	Transporte	Coche de gasolina más eficiente
61 T	Transporte	Coche híbrido no enchufable
62 T	Transporte	Coche híbrido enchufable
63 T	Transporte	Camión diesel Euro V
64 T	Transporte	Camión de biodiesel
65 T	Transporte	Autobús Euro V
66 T	Transporte	Autobús eléctrico
67 T	Transporte	Autobús híbrido
68 T	Transporte	Tren de pasajeros eficiente
69 T	Transporte	Transporte de mercancías por ferrocarril
70 T	Transporte	Neumáticos de baja resistencia a la rodadura
71 C	Comercial	Bomba de calor geotérmica
72 C	Comercial	Caldera de biomasa
73 C	Comercial	Microgeneración
74 C	Comercial	Calefacción urbana
75 C	Comercial	Caldera de gas de condensación
76 C	Comercial	Bomba de calor
77 C	Comercial	Bomba de calor eficiente
78 C	Comercial	Caldera de gas de baja temperatura
79 C	Comercial	Sistemas de gestión de la climatización
80 C	Comercial	Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)
81 C	Comercial	Doble acristalamiento
82 C	Comercial	Iluminación fluorescente
83 C	Comercial	Iluminación LED
84 C	Comercial	Calentador de agua solar
85 C	Comercial	Calentador de agua gas de condensación
86 C	Comercial	Calentador de agua biomasa
87 C	Comercial	Equipos eléctricos eficientes

FUENTE: Elaboración propia.

2012 (E4). Plan de acción 2005-2007, http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/Documents/E4_DocResumen.pdf.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (2007): Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4). Plan de acción 2008-2012, http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Plan_de_Accion_2008-2012_19-07-07_con_TABLAS_PDF_ACC_2936ad7f.pdf.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (2009): Energy Efficiency Policies and Measures in Spain.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2010): Energy Technology Perspectives – Scenarios & Strategies to 2050, París.

JACKSON, T. (1991): Least-cost greenhouse planning supply curves for global warming abatement, *Energy Policy*, vol. 19, nº 1, p. 35-46.

KESICKY, F. (2010) Marginal Abatement Cost Curves for Policy Making – Expert-Based vs. Model-Derived Curves, Energy Institute, University College London. Londres, Inglaterra.

LINARES, P. y LABANDEIRA, X. (2010): Energy Efficiency: Economics and Policy, Colección Estudios Económicos – Economía de Cambio Climático, Fundación de Estudios de Economía Aplicada.

MCKINSEY & COMPANY (2010): Climate Change Special Initiative – Greenhouse gas abatement cost curves (joint report).

SANTAMARÍA, A. y LINARES, P. (2011): Effects from carbon pricing and anti-leakage policies in selected industrial sectors in Spain – Cement, Steel and Oil refining, *Working Paper*.

TIETENBERG, T. (2009): Reflections-Energy Efficiency Policy: Pipe Dream or Pipeline to the Future? *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 3, nº 2, p. 304–320.

TURNER, G., SJARDIN, M. y CAPUA, M. D. (2010): Carbon Markets – North America, Bloomberg New Energy Finance, Estados Unidos.

VOGT-SCHILB, A. y HALLEGATTE, S. (2011): When starting with the most Expensive Option makes Sense – use and misuse of Marginal Abatement cost Curves, *Policy research Working Paper* 5803, the World Bank.

WESSELINK, B. y DENG, Y. (2009) Sectoral Emission Reduction Potentials and Economic Costs for Climate Change (SERPEC-CC), Ecofys Netherlands BV (lead partner), Institute of communication and computer Systems (iccs) of national technical university of Athens (ntua), Institute for Prospective technological Studies (IPTS), EC Joint research centre (Jrc), AEA energy and environment, CE-Delft.

WESSELINK, B., HARMSSEN, R. y EICHHAMMER, W. (2010): Energy Savings 2020 - How to triple the impact of energy saving policies in Europe, Ecofys & Fraunhofer ISI.