



# Potencial económico de reducción de la demanda de energía en España

[ Informe 2011 ]

economics  
for  
energy

**Bloomberg**  
NEW ENERGY FINANCE

## Créditos

El presente informe ha sido elaborado por el equipo de *Economics for Energy* (con la contribución esencial de Pablo Pintos y Klaas Würzburg), 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 Mendiluce, 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.

*Economics for Energy* también agradece la colaboración de:



Diseño y Maquetación    seteseoitodeseñográfico

ISSN                      2172-8127

Economics for Energy  
Dr. Cadaval 2, 3E  
E-36202 Vigo  
[info@eforenergy.org](mailto:info@eforenergy.org)  
[www.eforenergy.org](http://www.eforenergy.org)

Impreso sobre papel 100% reciclado.

Es una satisfacción para nosotros presentar este segundo informe de *Economics for Energy*, que asienta una de las principales actividades de este centro de investigación privado. *Economics for Energy* está especializado en el análisis económico de las cuestiones energéticas y se constituye inicialmente como una asociación sin ánimo de lucro participada por administraciones públicas, universidades, empresas y fundaciones. La misión de *Economics for Energy* es crear conocimiento en el ámbito de la economía de la energía y transferirlo de forma eficaz para informar, orientar y asesorar la toma de decisiones de agentes públicos y privados.

*Economics for Energy* sigue los procedimientos académicos habituales para crear conocimiento, con el rigor y profundidad adecuados. Sus líneas de trabajo se centran en el análisis de la demanda de energía, la innovación tecnológica en el ámbito energético, el diseño y evaluación de las políticas energético-ambientales, la valoración de la seguridad energética y la prospectiva tecnológico-regulatoria en el sector energético. Este conocimiento se transfiere a través de informes de situación, como el que nos ocupa, y la organización de seminarios y jornadas sobre temas relevantes de actualidad para el sector energético.

Este segundo informe continúa en gran medida con la línea emprendida con el primero: el análisis de las posibilidades de reducción de la demanda de energía en España. Como ya afirmábamos en el anterior informe, la gestión de la demanda de energía en España es esencial para poder cumplir con los objetivos de política energética: minimizar los costes de suministro, reducir las emisiones contaminantes, y maximizar la seguridad energética. El primer informe concluía que la intensidad energética en España era más alta que en otros países de nuestro entorno y que, por tanto, era recomendable reducirla. Sin embargo, existen pocas evaluaciones rigurosas del potencial realmente existente de reducción de la demanda de energía y, sobre todo, no las hay del coste de dicha reducción tanto desde una perspectiva de la administración pública (o social) como del consumidor (o privada).

Este informe responde a las dos preguntas anteriores mediante la elaboración, de forma pionera para España, de curvas de costes marginales de reducción de energía que muestran el potencial de reducción de la demanda de energía para distintos sectores y actuaciones, con su coste correspondiente, ordenadas de forma creciente. Si bien existen algunas curvas de este tipo para otros países, este informe hace una particularización de las mismas para España y además introduce dos importantes mejoras metodológicas. La primera se relaciona con el cálculo de costes tanto desde el punto de vista público como privado porque, si bien puede considerarse el enfoque público o social como el más adecuado para este tipo de ejercicios, la existencia de un *gap* comprobado entre la rentabilidad pública y privada de la eficiencia energética hace necesario evaluar el coste privado para determinar la respuesta previsible de los consumidores y la posible necesidad de establecer políticas de apoyo. La segunda mejora se vincula al uso de curvas que tienen en cuenta que ciertas medidas se solapan y que, por tanto, su consideración de forma aislada llevaría a sobreestimar el potencial de reducción. Estamos convencidos de que estas mejoras nos permiten ofrecer una estimación más rigurosa y realista del potencial de reducción de energía en España y sus costes.

La evaluación de costes se ha realizado tomando como base un modelo proporcionado por *Bloomberg New Energy Finance*, anteriormente utilizado para estimar curvas marginales de reducción de CO<sub>2</sub> y ahora adaptado a nuestros objetivos. *Bloomberg NEF* también ha facilitado abundantes datos de los costes de las distintas medidas a partir de su extensa base de datos.

Esperamos que este informe, al igual que las demás actividades de *Economics for Energy*, sea del interés de los expertos en el sector energético y también del resto de la sociedad. También que pueda contribuir a un mejor entendimiento y difusión de las implicaciones económicas de la política energética española e internacional.

Xavier Labandeira y Pedro Linares

Directores de *Economics for Energy*





[ 0 1 ]

# Introducción

**1.1. La necesidad de reducir la demanda de energía**

**1.2. Estructura del informe**

## 1.1

### La necesidad de reducir la demanda de energía

Tal y como se planteaba en el primer informe de Economics for Energy, la reducción de la demanda energética 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, 2010a; EC 2011a).

La Unión Europea (UE), que ha sido muy activa en este ámbito, también presenta diversos argumentos para respaldar la eficiencia energética<sup>1</sup>. En su 'Iniciativa emblemática de la Estrategia Europa 2020' para lograr una Europa que utilice eficazmente sus recursos, se ofrecen las siguientes razones por las que la eficiencia energética es deseable<sup>2</sup>:

- La mejora en la eficiencia energética reduce la necesidad de generar energía y la necesidad de infraestructuras. Esto, a su vez, reduce la presión sobre el uso del suelo. Por ejemplo, reduciendo el 1% del consumo energético de la UE se podría prescindir de 50 centrales eléctricas de carbón o 25.000 turbinas eólicas.
- La lucha contra el cambio climático y la mejora en la eficiencia energética puede aumentar la seguridad energética y reducir la vulnerabilidad a los shocks del petróleo.
- Los impuestos y las subvenciones del uso de la energía u otros recursos pueden emplearse para incentivar un consumo más eficiente de la energía y para reducir la presión fiscal sobre el trabajo, lo que beneficiaría la creación de puestos de trabajo y el crecimiento económico.
- Los puestos de trabajo generados en aquellos sectores vinculados al crecimiento sostenible son generalmente más seguros, con un alto potencial para las exportaciones y de alto valor añadido.

Una serie de estudios, todos ellos relacionados con la eficiencia energética, contrastan 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

1 La eficiencia energética es un tema central para la UE. Todos los objetivos referentes al uso de la energía están expresados en relación a la eficiencia energética. La UE nunca se refiere al consumo energético por sí solo.

2 Ver European Commission (2011b, p.4). Aunque el informe proporciona otros argumentos, éstos no se recogen en el texto principal ya que no están relacionados directamente con la eficiencia energética y, por tanto, son de menor interés para este informe. Así se afirma que: 1) el aumento de las tasas de reciclaje reducirá la presión sobre la demanda de materias primas, ayudará a reutilizar materiales valiosos que habrían sido desechados, y reducirá el consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero de la extracción y el tratamiento; 2) la mejora en el diseño de los productos puede reducir la demanda de energía y materias primas y aumentar la vida útil de esos productos y facilitar su reciclaje, siendo además un estímulo a la innovación, creando oportunidades de negocio y nuevos puestos de trabajo; 3) las tecnologías bajas en carbono reducen las emisiones y a menudo mejoran la calidad del aire, el ruido y la salud pública.

energética durante el periodo 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<sup>3</sup>.

Bajo el nombre "Europa 2020: la nueva estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e inclusivo", los estados miembros de la UE, entre otros objetivos sociales y climáticos, se han comprometido a mejorar la eficiencia energética un 20% para 2020<sup>4</sup>. Sin embargo, los países de la UE no se encuentran actualmente en la senda que permita cumplir con los objetivos acordados<sup>5</sup>. Por ello, en junio de 2011 la UE lanzó una nueva directiva que, entre otras cosas, exige a todos sus miembros un ahorro energético de un 1,5% anual entre los consumidores finales, y así poder cumplir con los objetivos iniciales para 2020. Este hecho deja patente la importancia y la necesidad de mejoras en eficiencia energética entre los países de la UE.

En lo que se refiere a España, el informe citado anteriormente de Economics for Energy, "Análisis de la evolución de la intensidad energética en España", publicado en noviembre de 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 embargo, 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 vivienda y en el transporte.

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 estas políticas, 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 y el Plan de Acción 2008-2012 analiza cada sector pormenorizadamente, detallando qué medidas se pueden aplicar a cada sector para mejorar la eficiencia energética y cumplir con los ambiciosos objetivos planteados<sup>6</sup>.

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 el elaborado por McKinsey<sup>7</sup>. 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 lleva-

3 Grant (2008), Andersen y Narus (1998).

4 Ver EC (2010, p. 3). La estrategia incluye una amplia variedad de objetivos económicos, sociales y medioambientales. La eficiencia energética se encuentra entre uno de los objetivos: una mejora de un 20% en la eficiencia energética supone un ahorro de 368 Mtoe con respecto al escenario tendencial, que se obtiene del modelo energético PRIMES y de una estimación del consumo de energía a 2005.

5 "Actualmente la UE va encaminada a cumplir dos de los objetivos, pero no alcanzará el objetivo de eficiencia energética a menos que se incrementen los esfuerzos." (European Commission 2011a, p. 3).

6 Ver <http://www.idae.es/index.php/re/menu.392/id.214/mod.publicaciones/mem.detalle> y <http://www.idae.es/index.php/id.67/re/menu.331/mod.pags/mem.detalle>

7 Ver por ejemplo Enkvist et al. (2007), McKinsey & Company (2010).

das a la práctica. Se han dado distintas respuestas a esta paradoja (ver por ejemplo Linares y Labandeira, 2010), 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 nuestras 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. El objetivo fundamental del presente informe es presentar una estimación lo más rigurosa posible para España tanto del potencial de reducción de energía existente como del coste de lograrlo, a nivel público y también a nivel del consumidor. De esta forma será posible conocer hasta qué punto deben apoyarse las medidas de ahorro y eficiencia energética, y también en qué sectores incidir para lograr los objetivos propuestos de la mejor manera posible.

## 1.2 Estructura del informe

El informe se estructura en seis capítulos y cinco apéndices que presentan los datos y procedimientos que han permitido llegar a los resultados. En primer lugar se analiza el problema de la estimación de los potenciales y costes de reducción de la energía, se revisan las experiencias previas y se describe la metodología y los modelos utilizados en este informe. A continuación se explicitan los principales supuestos de cálculo, en particular los costes asumidos para cada una de las medidas, los sectores analizados, y los escenarios de referencia. Seguidamente, el capítulo 5 presenta los resultados principales del estudio, las curvas de costes marginales de reducción de demanda energética, para los distintos escenarios y supuestos considerados. Finalmente, y en función de los resultados obtenidos, se formulan una serie de recomendaciones para las políticas de ahorro y eficiencia energética en España.





# [ 0 2 ]

## Estimación de los costes y potenciales de reducción de demanda energética

- 2.1 Generación de curvas de costes marginales de reducción**
- 2.2 Métodos para el cálculo de la curva de coste**
- 2.3 Estimaciones previas**
- 2.4 Dificultades en la estimación de potenciales de reducción y sus costes**

Desde que la reducción en las emisiones y las mejoras en eficiencia energética se han convertido en un objetivo para la mayoría de países, los investigadores y los decisores políticos han puesto su empeño en encontrar la mejor forma de alcanzar estos objetivos. Desde un punto de vista económico, esta cuestión se reduce a cómo reducir las emisiones o el uso de la energía de la manera más económica posible. Un método muy empleado en los últimos años es la obtención de curvas de costes marginales de reducción<sup>1</sup>, para identificar el coste económico y el potencial de reducción de las emisiones de distintas medidas. 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. Para el caso particular de la demanda energética, el objetivo es reducir la cantidad de energía necesaria para mantener la misma producción. Cuando nos referimos a la eficiencia energética lo que se pretende es mejorar el balance entre energía utilizada y producción (independientemente del efecto sobre el consumo total de energía).

En este trabajo, nuestro objetivo es construir curvas de coste marginal de ahorro de energía que nos permitan identificar aquellas medidas que garanticen un mayor ahorro energético con el menor esfuerzo/coste. El método utilizado es muy similar a trabajos anteriores para la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, conocido como las curvas de costes marginales de reducción (MACC, por sus siglas en inglés). Hasta el momento ha habido pocos intentos de estimar curvas de coste marginal para el ahorro energético<sup>2</sup>, por lo que los estudios previos con las curvas MACC son importantes para nuestro análisis.

## 2.1

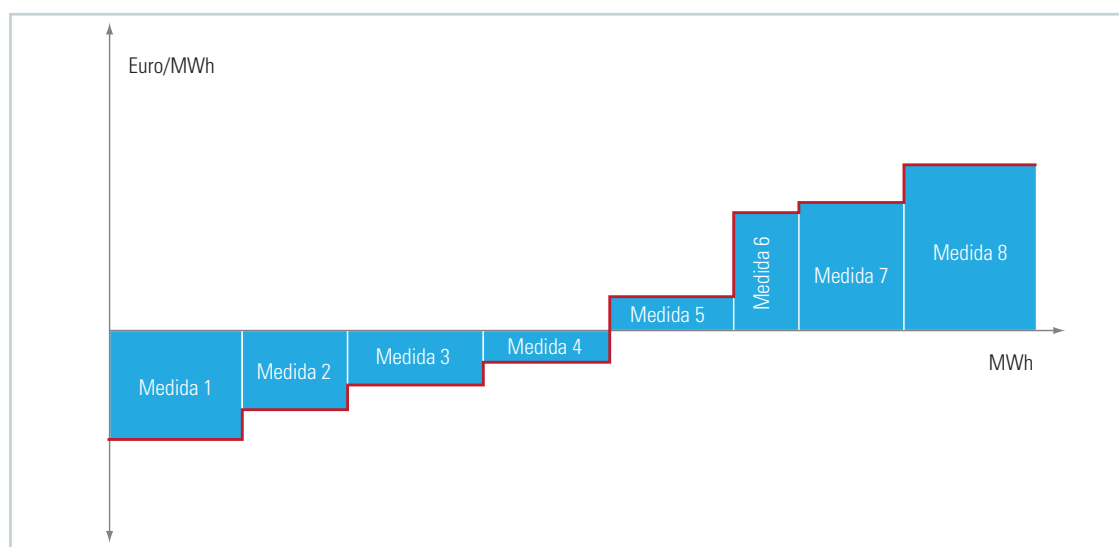
### Generación de curvas de costes marginales de reducción

El primer paso para calcular las curvas de costes marginales de reducción o ahorro es definir las. La definición de Baker et al. (2008) para la reducción de emisiones, como desviación con respecto a un escenario previo de emisiones, sirve para nuestro caso particular de ahorro energético. Jackson (1991) fue de los primeros en calcular una curva MACC para las emisiones de CO<sub>2</sub> y define su curva MACC 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 CO<sub>2</sub> con el menor coste. Obviamente, este objetivo es extrapolable al caso que nos ocupa en este informe.

- 1 Ver por ejemplo Wesselink y Deng (2009), Weiner (2009), Moran et. al (2011), Morris et al. (2009). El Capítulo 2 ofrece un resumen de las curvas de costes marginales de reducción calculadas en el pasado. Kesicky (2010) presenta una visión general de las curvas calculadas para el Reino Unido.
- 2 Ver Wesselink et al. (2010), WWF (2010). McKinsey (2007) analiza el potencial de ahorro energético en las regiones industrializadas del mundo, pero no presenta sus resultados en forma de curvas de costes marginales de reducción.

El escenario previo de emisiones, 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 el escenario base representarían el coste de las reducciones. Esta definición puede trasladarse al caso particular en el que se analiza la reducción en la demanda energética en vez de la reducción de emisiones. Nosotros asumiremos que hay un escenario base para la demanda de energía, por lo que el ahorro energético se definirá como la desviación a la baja con respecto a ese escenario base. Obviamente, existe un coste asociado a esa reducción en la demanda energética por lo que se podría relacionar el volumen ahorrado de energía y el coste de obtener la reducción. El resultado sería una curva de costes marginales de reducción de energía o una curva de costes marginales de ahorro energético. En la Figura 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 las medidas de reducción de demanda. En el eje de las abscisas se muestra el potencial de reducción de energía de la medida y en el eje de las ordenadas su coste (siempre con respecto a la tecnología o situación de referencia). 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, a través de un impuesto sobre el consumo energético). 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.

**Figura 1. Una curva tipo de costes marginales de reducción de la demanda de energía**



Fuente: Elaboración propia

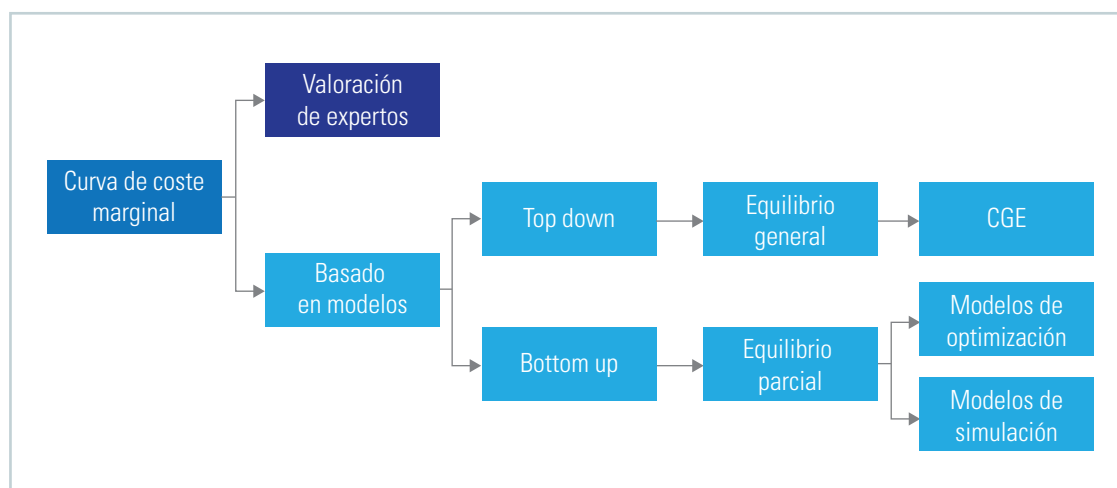
## 2.2 Métodos para el cálculo de la curva de coste

Existen distintas maneras de calcular las curvas de costes marginales de reducción o las curvas de costes marginales de ahorro de energía. La pregunta clave es cómo emplear en un modelo datos e información tan particular y específica como las posibilidades de ahorro. En el pasado, las curvas de costes se han estimado mediante distintos métodos. En general, existen dos formas para elaborar las curvas MACC: basándose en la valoración de expertos (*expert-based*) o en modelización (*model-based*). Los cálculos basados en la valoración de expertos toman en cuenta las medidas de reducción individualmente. Se basan en la opinión de expertos sobre potenciales de reducción, instalaciones actuales, potenciales de penetración futura, y los costes de cada tecnología. 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.

Una vez construido el modelo, existen distintas opciones para calcular las curvas MACC: la primera posibilidad es imponer restricciones al modelo, que pueden ser un límite o un precio a las emisiones o al consumo de energía. A continuación el modelo calcula los efectos que tiene sobre la economía la reducción en las emisiones o en el uso energético, incluyendo los costes correspondientes. Otra alternativa es utilizar como escenario base resultados obtenidos en cálculos computacionales que se pueden replicar con distintas tecnologías. Este segundo método tiene mucha similitud con el método basado en la valoración de expertos, aunque en la literatura se presenten como distintos<sup>3</sup>. Los métodos anteriores tienen sus ventajas e inconvenientes y ha de optarse por el que mejor se adapte a las necesidades de cada estudio. En la Figura 2 se representa las distintas opciones para calcular las curvas de costes marginales de reducción.

**Figura 2. Metodologías para calcular curvas de costes marginales de ahorro o reducción**



Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.1. 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* y *McKinsey & Company*<sup>4</sup>. Estas curvas se centran y proporcionan información detallada de las distintas medidas de reducción, por lo que dependen en gran medida de la información suministrada por técnicos e ingenieros sobre las medidas de reducción o ahorro. Cada tecnología es tratada independientemente, lo que permite considerar distintas medidas al mismo tiempo. 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 sobreestiman los potenciales y se subestiman los costes. Este problema se puede resolver utilizando el método basado en modelos.

<sup>3</sup> Ver por ejemplo Kesicky (2010).

<sup>4</sup> Ver Turner et al. (2010), McKinsey (2009a). Otros estudios para distintos países realizados por McKinsey & Company también son mencionados en este informe (Capítulo 3).

### 2.2.2. Curvas basadas en modelos

Este método requiere 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. Sin embargo, los efectos sobre la economía de las medidas de ahorro son más realistas y, como hemos mencionado anteriormente, también recoge la interacción entre distintas medidas. El método basado en modelos calcula 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.

El método basado en modelos se puede 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 por ordenador 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.<sup>5</sup> Otro ejemplo es el modelo PRIMES, utilizado por la Comisión Europea para simular los efectos de sus políticas climáticas y energéticas.

#### > 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 es muy 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.<sup>6</sup> Obviamente, este método requiere de una gran cantidad de cálculo matemático ya que se analizan todos los efectos posibles de una medida, incluso más allá del sector energético.

#### > Modelos híbridos

Tanto el método basado en la valoración de expertos como el basado en modelos tienen sus ventajas e inconvenientes. A veces es difícil elegir el método adecuado, algo preocupante porque los resultados dependen en buena medida del método utilizado (Fischer y Morgenstern, 2006; Edenhofer et al., 2006). Por ello, existen modelos que intentan combinar

<sup>5</sup> Ver Kesicky (2010).

<sup>6</sup> Ver Boehringer y Rutherford (2007).

ambos métodos y hacer uso de las ventajas de cada uno (o eliminar sus inconvenientes) y se describen como híbridos<sup>7</sup>. Con el fin ofrecer una aproximación realista a los efectos en el sector energético se ha utilizado esta aproximación<sup>8</sup>, aunque no para el cálculo de curvas MACC (aunque sería posible).

## 2.3 Estimaciones previas

En los últimos diez años se han calculado un gran número de curvas de costes marginales, mayoritariamente en relación con las emisiones de dióxido de carbono. Normalmente la metodología que se emplea para la obtención de las curvas es la basada en la valoración de expertos. Los estudios más relevantes que emplean esta metodología son los elaborados por McKinsey & Company (2010) ofrece un resumen de estos estudios, que además extienden su análisis a diferentes países<sup>9</sup>. Estos estudios se han criticado principalmente por obtener costes bajos en gran parte de las tecnologías consideradas<sup>10</sup>. *Bloomberg New Energy Finance* también ha publicado curvas de costes marginales de reducción de CO<sub>2</sub> basándose en la valoración de expertos. Por su parte, Turner et al. (2010) calculan una curva de costes marginales de reducción para EEUU, considerando distintos escenarios de la economía de EE.UU en 2030, para luego estimar varias curvas que permitan reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta un cierto límite. En su análisis se tienen en cuenta las preferencias específicas de posibles inversores, de forma que el número de medidas con coste negativo se reduce.

Por su parte, Wesselink y Deng (2009) presentan un estudio de reducción de CO<sub>2</sub> 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, lo que distingue a este trabajo con respecto a los anteriores. Estos autores emplean un modelo *bottom-up* que, aunque guarda mucha similitud con la metodología basada en la valoración de expertos, se diferencia por ser un modelo de equilibrio parcial<sup>11</sup>. Cada una de las curvas se estima de la misma forma que con la metodología basada en la valoración de expertos sin emplear cálculos de optimización.

En el caso español Santamaría y Linares (2011) analizan las posibilidades y los costes de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. En este caso, el modelo sí que optimiza la utilización de las distintas medidas de reducción.

Sin embargo, a excepción de Wesselink et al. (2010) e IDAE (2009), existen pocos estudios que se centren en el ahorro energético. Wesselink et al. (2010) analizan los potenciales de ahorro energético y sus costes en la UE mediante un modelo *bottom-up* y, al igual que Wesselink y Deng (2009), las estimaciones del sector energético se realizan con el modelo PRIMES y los datos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA). En su análisis se contempla el objetivo de la UE de contar con un 20% de la generación de energía primaria proveniente de fuentes renovables en 2020. El estudio de IDAE (2009) investiga el potencial del ahorro energético para España. Es una metodología basado en el modelo

7 Ver Boehring y Rutherford (2007), Hourcade et al. (2006).

8 Hourcade et al. (2006) ofrece un resumen de estos modelos

9 Existen estudios para diferentes países: Suiza (Bättig y Ziegler, 2009), EE.UU (Creys et al., 2007); Bélgica (Denis et al., 2009); Suecia (Enkvist et al., 2008); Australia (Görner y Downey, 2008); Alemania (Hein et al., 2007); República Checa (Leidl et al., 2008); Brasil (Matzinger, 2009); Israel (MCKinsey & Company, 2009b); Polonia (Poswiata y Bogdan, 2009); Rusia (Solzhenitsyn y Schneiker, 2009); Reino Unido (Verwaayen, 2007); y China (Zhang et al., 2009).

10 Ver por ejemplo Kuik et al. (2009).

11 Wesselink y Deng (2009).

MURE (*Mesures d'Utilisation Rationnelle de l'Énergie*) que, como se ha comentado en el apartado anterior, ofrece menos transparencia al estar basada en un modelo. 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.

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. En un primer paso, se definen las tecnologías de generación eléctrica y sus costes, con lo que se calcula los potenciales de ahorro. Una vez estimados los potenciales de ahorro, se incluyen en el modelo para obtener los precios y las cantidades de equilibrio del sector energético. El nuevo equilibrio del modelo puede afectar el potencial de ahorro de las tecnologías previamente definidas, por lo que hay que volver a calcular los potenciales con los nuevos precios y cantidades. Finalmente, es necesario repetir este proceso hasta que los potenciales de ahorro y el equilibrio del modelo converjan. Una vez terminado este proceso, el resultado final proporciona la información necesaria para calcular la curva de costes marginales de ahorro de energía.

Hay otros dos estudios relevantes que analizan los potenciales de ahorro energético y sus costes mediante una metodología propia, aunque similar a los modelos *bottom-up* o basados en la valoración de expertos. El WWF, en colaboración con ETRES Consultores, ha elaborado el informe "Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del parque residencial existente en España en 2020". Para ello, a través de los programas oficiales de simulación energética para edificios LIDER y CALENER, se simulan mejoras en edificaciones tipo (aislamiento, calefacción, refrigeración y energías renovables), comparando los resultados con una situación inicial en la que no se tienen en cuenta estas mejoras. Un segundo estudio, realizado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) de México, tiene como objetivo calcular los potenciales de ahorro energético en distintos sectores (transporte, residencial, industria y comercio), a partir de las capacidades tecnológicas disponible en cada sector<sup>12</sup>. El análisis del estudio se basa en la valoración de expertos, aunque es menos completo y detallado que en otros trabajos. Además, el estudio usa los resultados de McKinsey & Company (2009a) para identificar siete áreas de oportunidades costo-efectivas para aumentar la eficiencia energética y reducir el consumo de energía en el medio y largo plazo. Finalmente los autores calculan la curva de costes, comparando un escenario en el que llevan a cabo las medidas con respecto a un escenario tipo BAU elaborado por la propia CONUEE.

El número de estudios que calculan curvas de coste de ahorro energético es muy pequeño en comparación al número de estudios que calculan curvas de costes de reducción de CO<sub>2</sub>. Probablemente esto se debe a la preocupación creciente por los problemas de cambio climático. No obstante, como argumentamos al comienzo de este informe, esta visión ha ido cambiando en los últimos años. Desde un punto de vista económico, ambiental y geopolítico, reducir el consumo de energía y aumentar la eficiencia energética es de gran importancia. Además, el ahorro de energía y la reducción de emisiones están estrechamente vinculados; ahorros en el consumo energético tienen efectos positivos sobre las emisiones. En las curvas de costes marginales de reducción de CO<sub>2</sub>, una gran parte de las medidas que se presentan son tecnologías que reducen el consumo de energía<sup>13</sup>.

12 CONUEE (2010, p. 5) indica que el sector del transporte es el de mayor potencial de ahorro: "...en relación a otros, es el área de oportunidad con mayor rango en eficiencia entre las distintas opciones tecnológicas."

13 Denis et al. (2009) indican que el 38% del potencial para reducir las emisiones se da en medidas que mejoren la eficiencia energética.

## 2.4

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

Las diferencias en los datos así como en la metodología utilizada hacen que sea complicado representar con exactitud la vida real con las curvas de costes marginales de reducción. Algunos problemas se deben a la utilización de un método en concreto; otras veces se debe a que el modelo simplifica excesivamente la realidad. De tal forma que, independientemente del modelo utilizado, surgen problemas a la hora de estimar las curvas de ahorro marginal de la energía.<sup>14</sup>

A menudo, los potenciales de reducción o ahorro que se muestran en las curvas son inalcanzables en la realidad, lo que puede ser debido a errores de cálculo, bases de datos inadecuadas o no consideración de la conducta humana o institucional. En ciertas ocasiones los agentes involucrados en la toma de una decisión tienen distintos incentivos por lo que al final no se lleva a cabo la inversión (problema de principal-agente)<sup>15</sup>. También es posible que el agente involucrado en la toma de decisión no tenga los medios ni la información suficiente sobre las posibilidades y el coste de ahorrar energía, siendo la búsqueda de información muy costosa. Por consiguiente, en muchas ocasiones y particularmente en el sector residencial, los costes de las tecnologías para ahorrar energía se subestiman. Finalmente, el retorno a las inversiones que pueden exigir los agentes involucrados puede ser distinto, lo que les frena a la hora de realizar obras o inversiones de ahorro energético.

También hay problemas derivados del horizonte temporal a largo plazo de las curvas de coste y la incertidumbre sobre el futuro. Es difícil anticipar las curvas de aprendizaje tecnológicas del futuro. Además, integrar las estimaciones sobre el futuro en un modelo presenta muchos desafíos<sup>16</sup>. Los cambios tecnológicos pueden afectar la eficiencia de tecnologías ya instaladas y/o hacer viables tecnologías nuevas. También se debe tener en cuenta la compatibilidad de las nuevas tecnologías con las ya existentes. Generalmente, los cambios tecnológicos presentan dos problemas para las curvas de costes marginales de ahorro energético: la existencia de incertidumbre sobre el futuro y la difícil modelización de la innovación y el cambio tecnológico.

Otro problema proviene por el solapamiento entre tecnologías. Diferentes medidas de ahorro pueden interactuar entre ellas, por lo que hay que tener cuidado en 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 distintas medidas se aplican 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 el sector eléctrico. Frente a otros estudios, este informe ha tenido en cuenta los solapamientos.

Las medidas de ahorro también tienen consecuencias más amplias. Si una medida logra reducir el consumo energético en un sector particular, puede que los precios de la energía se vean afectados, y de esta forma, se produzcan consecuencias en el resto de la economía. A menudo, las curvas de costes marginales de reducción ignoran los efectos indirectos, aunque los métodos basados en modelos ofrecen más posibilidades para incorporarlos. Por ello, los mé-

14 Los argumentos por los que se critica a los métodos basados en la opinión de expertos se pueden encontrar en Kesicky (2010), Kuik et al. (2009), y Boehringer y Rutherford (2007).

15 En ocasiones las familias viven en una vivienda de alquiler. Existe un conflicto de interés entre el dueño y los inquilinos de la vivienda. El dueño del apartamento tiene pocos incentivos en invertir en aparatos que mejoren la eficiencia energética (calentadores, calderas, etc.) porque el beneficio no recae sobre él directamente; el que se beneficia de la inversión es el inquilino, que paga las facturas de electricidad y gas. De tal forma que aunque los beneficios de la inversión pueden compensar los costes, el dueño nunca la llevará a cabo. Este problema se destaca por la IEA (IEA 2010a, p. 205).

16 Amir et al. (2008) muestran como la innovación puede afectar el cálculo de las curvas de costes marginales de reducción.



todos basados en la valoración de expertos reciben más críticas en relación a los efectos indirectos (aunque también los modelos *bottom-up*).<sup>17</sup> Los modelos de equilibrio general *top-down* tienen el potencial de recoger estos efectos, pero para ello el modelo debe representar correctamente a la economía en su totalidad. Aunque si la estimación de los parámetros actuales de una economía ya es difícil, estimar los parámetros futuros lo es aún más. Las elasticidades de sustitución que se utilizan en los modelos de equilibrio general se calculan a partir de datos históricos pero, para representar correctamente los potenciales de sustitución futuros en el modelo, las elasticidades deberían permanecer constantes en el tiempo, algo que en la realidad no ocurre<sup>18</sup>. Hourcade et al. (2006) apuntan que la dificultad para obtener las elasticidades de sustitución afecta la fiabilidad de los resultados<sup>19</sup>.

Sin embargo, los modelos *top-down*, al agregar muchas variables, no pueden identificar aquellas tecnologías que pueden reducir el consumo de energía o las emisiones de CO<sub>2</sub>. En caso de que sea necesario utilizar información sobre los potenciales de ahorro y los costes de una tecnología específica, los modelos *top-down* no son una opción válida. Así esta aproximación proporciona curvas de costes marginales de reducción sin identificar qué parte le corresponde a cada tecnología. Por ello, Turner et al. (2010) critican a las curvas de los modelos *top-down* por ser opacas y difíciles de entender. Además, los resultados parecen poco transparentes porque no se sabe dónde se ahorra energía y no se ve cómo se obtienen las curvas. Los problemas anteriores llevaron a Moran et al. (2011, p.95) a indicar que "las curvas MACC de los modelos *top-down* funcionan mejor cuando se analiza un solo sector o cuando los sectores analizados son hasta cierto punto homogéneos en relación a las condiciones de mercado, agentes, etc."

17 Ver por ejemplo Kesicky (2010), Hourcade et al. (2002). Boehring y Rutherford (2007) también critican los modelos *bottom-up* porque no consideran los efectos macroeconómicos de las políticas energéticas sobre el resto de la economía.

18 Fischer y Morgenstern (2006) también critican el papel crucial que tienen las elasticidades de sustitución en los modelos *top-down*. Los resultados cambian considerablemente cuando se varían las elasticidades. Kesicky (2010) considera que esta es la razón por la que en el pasado los modelos *top-down* sobreestimaron los costes de reducción del dióxido de carbono.

19 Ver Hourcade et al. (2006) y Boehring y Rutherford (2007).



[ 03 ]

## Metodología propuesta

**3.1 Capacidades del modelo**

**3.2 Funcionamiento del modelo**

En este estudio se utiliza información detallada sobre las distintas tecnologías que permiten ahorrar energía. Por tanto, la metodología utilizada se puede clasificar dentro de los métodos basados en la valoración de expertos o como un modelo *bottom-up*. Los detalles técnicos sobre las tecnologías y los potenciales de ahorro energético son muy importantes en nuestro método, dado que para nuestro estudio es fundamental una representación realista de las oportunidades de ahorro. Si queremos transmitir información útil para la puesta en práctica de las distintas medidas, es necesario que los resultados sean claros y detallados. Las curvas basadas en la valoración de expertos nos permiten obtener este tipo de resultados.

## 3.1 Capacidades del modelo

Una serie de autores (ver los citados en el capítulo anterior) hacen referencia a los problemas de las distintas metodologías a la hora de generar curvas de costes marginales de reducción. También comentan las debilidades de los métodos basados en la valoración de expertos. En particular, critican las curvas de costes marginales de reducción de McKinsey<sup>1</sup>. Este informe se diferencia de otros trabajos anteriores al aplicar medidas que atenúan estas debilidades, lo que nos permite obtener unas curvas más realistas.

Las medidas que tomamos para mejorar la calidad de nuestros resultados son:

### > Fallos e ineficiencias de mercado

Los mercados de la eficiencia energética no son siempre perfectos. Las imperfecciones debidas al comportamiento de los agentes, la falta de información o las barreras institucionales pueden distorsionar los mercados. En estos casos, los ahorros energéticos estimados por una curva pueden estar equivocados. La elección y el diseño de las medidas de ahorro energético de nuestro análisis consiguen minimizar estos efectos.

Sin embargo, es muy complicado tener un control completo sobre estas circunstancias. Puede suceder que la existencia de estas barreras afecte el cálculo final de los resultados. Más concretamente, al igual que sucede con otras curvas de costes marginales de reducción, como las de McKinsey, el no considerar los fallos de mercado puede favorecer a que ciertas tecnologías presenten costes negativos. El hecho de que un alto número de tecnologías muestren costes negativos es difícil de entender ya que – desde un punto de vista puro de coste-beneficio – no hay razón para que no se

<sup>1</sup> Ver McKinsey & Company (2010).

realicen esas medidas. Los fallos de mercado afectan las estimaciones de los potenciales de ahorro de una tecnología: generalmente, el potencial estimado es mayor al real. Por ello, cuando se analizan los resultados, surgen dudas sobre las medidas de ahorro con costes negativos. Hay que tener en cuenta que los fallos de mercado son los que causan tales resultados, por lo que no tienen que estar necesariamente mal<sup>2</sup>.

La estructura de nuestro modelo nos permite considerar los fallos de mercado a través de la tasa de descuento que establecemos. Muchos autores (véase, por ejemplo, Hausman (1979); Allcott y Wozny (2011)) demuestran que los fallos de mercado, particularmente en el sector residencial, ocasionan una tasa de descuento más alta de lo habitual: normalmente los dueños de una casa intentan amortizar sus inversiones en unos tres años (o dicho de otra forma, utilizan una tasa de descuento de aproximadamente un 30%), y también parece que utilizan tasas de descuento más altas de lo habitual a la hora de comprar un coche más eficiente. Por tanto, en este estudio utilizaremos distintas tasas de descuento para cada sector. Sin embargo, esto no resolverá otras cuestiones, como el problema agente-principal que hemos mencionado antes, por lo que todavía encontraremos medidas con coste negativo.

Los potenciales de ahorro energético con coste negativo o coste muy pequeño, pueden proporcionarnos información muy útil. Si no se han implementado tecnologías cuyas ganancias compensan sus costes, es importante saberlo ya que puede ser una forma de detectar ineficiencias en el mercado. Los resultados pueden ser especialmente útiles para gobiernos y entes reguladores, los cuales tienen los medios para derribar las barreras institucionales o implementarlas, y para influir sobre el comportamiento de los agentes. Una curva de costes marginales de ahorro puede ofrecer esa información e indicar en qué sectores tiene más sentido llevar a cabo medidas para superar los fallos de mercado.

### > Solapamientos e interdependencia

Los efectos de los solapamientos y otras interdependencias son complicados de tratar. En nuestro análisis identificamos posibles solapamientos entre tecnologías y los tenemos en cuenta para ajustar los potenciales de ahorro de cada tecnología. Esto se hace, por ejemplo, en el sector residencial donde varias medidas se solapan claramente<sup>3</sup>. Solucionamos este problema recalculando los resultados de nuestro modelo teniendo en cuenta los solapamientos. Es decir, consideramos que la medida más coste-efectiva se aplica primero, por lo que el potencial de ahorro energético para el resto de medidas se reduce proporcionalmente. Esto se realiza en todas las medidas que se solapan.

También tenemos en cuenta otro tipo de solapamientos; por ejemplo, algunas de las medidas de ahorro energético propuestas reducen el consumo eléctrico, por lo que la demanda eléctrica se reduce en la misma proporción y, por tanto, el potencial de ahorro energético de las tecnologías de generación eléctrica también se reduce. Estas consideraciones son una importante mejora con respecto a anteriores curvas de costes marginales de reducción de CO<sub>2</sub>.

### > La imposibilidad de considerar efectos secundarios

La adopción de medidas de ahorro energético puede tener efectos secundarios en el resto de la economía. Cuando se adopta una medida de ahorro, el mercado (especialmente los precios) se ve afectado, y esos cambios puedan trasladarse al resto de la economía, lo que a su vez puede originar cambios en los supuestos originales del modelo. Un ejemplo típico es el efecto rebote: cuando la demanda de energía se reduce por razones exógenas, los precios bajan. La disminución en los precios hace que vuelva a aumentar la demanda y así el consumo<sup>4</sup>.

2 En el Capítulo 2 detallamos los fallos de mercado.

3 Consideremos, por ejemplo, las medidas de aislamiento y de calefacción. Cuando se aplica una de las dos medidas el potencial de ahorro de la otra se reduce, dado que el consumo total de energía se ha reducido.

4 Consultar Linares y Labandeira (2010) o Koerth-Baker et al. (2011) para más detalles sobre el efecto rebote.

Estos efectos no los consideramos en nuestro estudio ya que no es posible hacerlo con un método basado en la valoración de expertos. Claramente, se puede debatir sobre la importancia de estos efectos y las consecuencias que tienen sobre nuestros resultados. Proponemos dos argumentos para rebatir esta posible crítica. Primero, puede que ya estemos considerando el efecto rebote, ya que no especificamos la manera en que serán fomentadas las medidas de ahorro energético (entre las cuales puede estar el aumento del precio). Segundo, hay que admitir que el método basado en la valoración de expertos tiene esta limitación, la cual se puede solucionar utilizando un modelo de equilibrio general, pero este a su vez tiene sus propias limitaciones.

### > Tecnologías disponibles y cambio tecnológico

En nuestro modelo se incluyen las tecnologías en uso en 2010. Además, también representamos las tecnologías que todavía no están disponibles, pero que probablemente lo estarán en 2030. Para incluir tecnologías futuras consideramos su perspectiva futura y la posibilidad de que estén disponibles en el margen de tiempo hasta 2030.

Así que nuestra manera de considerar el cambio tecnológico es incluir aquellas tecnologías adicionales que mejoren la eficiencia energética hasta 2030. En este estudio no hay cambios en la eficiencia energética de las tecnologías ya existentes. Cuando hay mejoras de eficiencia, suponemos que es gracias a una nueva tecnología, incluso cuando la nueva tecnología sólo es una nueva versión de la más antigua. En el capítulo cuatro, en el que se presentan escenarios adicionales, explicamos en más detalle cómo elegimos las tecnologías disponibles en el 2030.

En resumen, para estimar rigurosamente una curva de costes marginales de ahorro energético es necesario tener un especial cuidado sobre todas las consideraciones. La gran ventaja de obtener figuras individuales tiene un coste. Sin embargo, en el cómputo general, las ventajas compensan ampliamente los inconvenientes. Algunos aspectos que se consideran inconvenientes pueden ser controlados gracias a una estructura adecuada del modelo y a una correcta interpretación de los resultados.

## 3.2 Funcionamiento del modelo

Nuestro método de análisis usa como base un modelo de cálculo de *Bloomberg New Energy Finance*. En este apartado, proporcionamos información detallada sobre el funcionamiento del modelo y de la información que necesita para que funcione.

### 3.2.1. Ahorros energéticos y sus costes

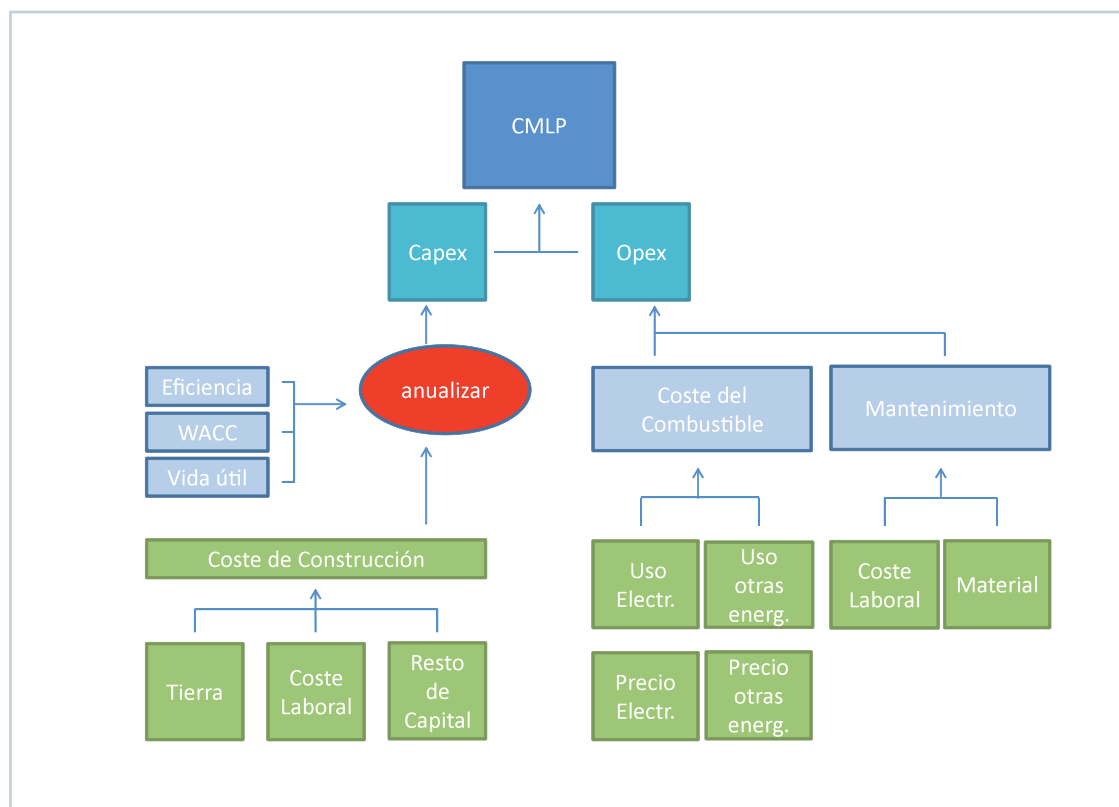
Para el cálculo de los potenciales de ahorro y sus costes correspondientes se han utilizado dos valores principales, el coste marginal a largo plazo (CMLP) y el valor de penetración.

#### > CMLP

El coste marginal a largo plazo (CMLP) representa un valor anualizado de todos los costes incurridos para producir una unidad tipo de cada sector. De esta forma, es posible comparar distintas tecnologías, es decir, se puede observar la diferencia en el coste-eficiencia de una tecnología con respecto a otra. Para ello, es necesario anualizar el coste y los gastos totales porque cada tecnología tiene un ciclo de vida distinto. Y, por supuesto, los costes de capital en los que

se incurre al principio hay que distribuirlos entre todos los periodos de vida útil. La figura 3 muestra cómo se combinan los datos necesarios para calcular el CMLP. El CMLP se ve afectado por muchos parámetros diferentes. Por ejemplo, un cambio en el Coste Medio Ponderado de Capital (WACC, por sus siglas en inglés), influye al CMLP de todas las tecnologías, lo que finalmente puede cambiar el coste del ahorro de energía. Precisamente, el coste de capital será uno de los parámetros que se modificarán a la hora de presentar otros escenarios.

**Figura 3. Composición de Coste Marginal a Largo Plazo**



Fuente: Elaboración propia

El CMLP se compone de los gastos de capital (Capex) y los gastos de funcionamiento (Opex). De forma general, el Capex se refiere a los costes en los que se incurre en la inversión inicial de una nueva tecnología, y el OPEX al gasto durante su funcionamiento (los gastos durante la producción o uso). Dado que los costes de la inversión suelen darse en el primer periodo, estos costes hay que distribuirlos a lo largo de todos los años de funcionamiento, para ello utilizamos el WACC.

El Opex se divide en los costes del combustible y los costes de mantenimiento. El primero se calcula multiplicando el combustible empleado para producir una unidad por el precio del combustible.<sup>5</sup> En nuestro modelo varias tecnologías consumen más de un tipo de combustibles. En la figura 3, para resaltar la particularidad del sector de generación eléctrica de nuestro modelo<sup>6</sup>, sólo se diferencia entre electricidad y otras fuentes de energía pero, en realidad, en nuestro modelo empleamos 22 tipos de combustible.

<sup>5</sup> En el apartado 4.1 explicamos cómo se obtiene el precio del combustible.

<sup>6</sup> Asumimos que en la generación de electricidad sólo se consume otros combustibles (carbón, petróleo, gas, uranio, etc.) o recursos renovables (viento, radiación solar, etc.). Al mismo tiempo la producción del sector eléctrico (la electricidad) es un input para otros sectores que pueden tomar medidas de ahorro.

El coste de mantenimiento abarca los costes laborales y otros materiales necesarios.

El CMLP se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$\text{CMLP} = C_{\text{inv}} \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + \text{OPEX}$$

donde  $C_{\text{inv}}$  son los costes de la inversión,  $\text{OPEX}$  son los gastos de funcionamiento y  $n$  representa la vida útil en años de la tecnología o inversión. Los posibles efectos de la eficiencia se incluyen en el cálculo de la tasa de descuento en el caso de considerarlo necesario. Como se indica en la figura 3,  $C_{\text{inv}}$  se compone de tierra, trabajo y otras inversiones (coste de materiales) necesarias para construir o instalar una tecnología.<sup>7</sup>

Obviamente, el cálculo del CMLP es sólo un paso para obtener los ahorros energéticos. El CMLP nos permite comparar los costes unitarios de producción (bien en toneladas de aluminio o en pasajero-kilómetro). El siguiente paso es calcular el valor de penetración, que determina hasta qué punto una tecnología es reemplazada por otra.

### > El valor de penetración

El valor de penetración cuantifica la cantidad producida con una tecnología. Para calcular una curva de costes marginales de ahorro, la tasa de penetración debe cambiar a lo largo del tiempo. Cambios en la tasa de penetración implican que el sistema de producción cambia. Idealmente, el nuevo sistema (o técnica) es energéticamente más eficiente.

En un modelo *bottom-up*, los valores de penetración se calculan endógenamente en el modelo en base a la diferencia entre el coste de las tecnologías. Sin embargo, aunque a primera vista este método puede parecer más realista, algunas veces no lo es: el modelo puede hacer que se sustituya una tecnología por otra simplemente por un cambio insignificante en el coste. Por ello, a menudo es necesario imponer restricciones o costes de ajuste en el modelo, que determinan la velocidad de ajuste de las distintas tecnologías. En nuestro método basado en la valoración de expertos, este ajuste se hace exógenamente: la cuota de participación de las distintas tecnologías se determina por la valoración de los expertos, y no por un simple cálculo basado en los costes. Además, al determinar valores de penetración individuales podemos hacer consideraciones sobre desarrollos tecnológicos futuros, la velocidad de penetración de estas tecnologías en distintos sectores y otros aspectos relevantes.

Dado que también necesitamos los valores de penetración futuros, se requiere estimar la producción y el tamaño de los distintos sectores. Los ratios de penetración a 2030 se basan en la estimación de escenarios a largo plazo, en algunos casos extrapolando tendencias pasadas (con la ayuda de una herramienta desarrollada por *Bloomberg New Energy Finance*) y en otros casos, gracias a la estimación de expertos. Por ejemplo, tras el importante parón en el sector de la construcción en España, calcular la actividad futura de este sector basándose en tendencias pasadas parece absurdo. El Capítulo 4 ofrece mayor información sobre los distintos escenarios para 2010 y 2030, y sobre los ratios de penetración en estos escenarios.

Los ahorros energéticos debidos a cambios tecnológicos en la producción se calculan combinando los valores de penetración y el CMLP. El último paso para calcular los ahorros energéticos es determinar qué tecnología antigua se sustituye cuando se instala una nueva. Aunque a veces la elección de la tecnología antigua, o tecnología de referencia, es evidente, también puede tener su dificultad. Por ejemplo, si pensamos en las ventanas de doble vidrio, parece bastante claro que la tecnología a sustituir, es decir la de referencia, son las ventanas de un solo vidrio. Sin embargo, cuando

<sup>7</sup> El cálculo de CMLP para el sector eléctrico es ligeramente distinto para representar algunas peculiaridades de este sector, por ejemplo los factores de carga.

se incrementan los parques eólicos, ¿cuál es la fuente para la generación eléctrica sustituida? Es difícil establecer si debe ser el carbón, el gas o la nuclear.

En definitiva, la curva de costes marginales de ahorro energético se calcula en base a tres valores: el CMLP, el valor de penetración y la tecnología de referencia. En este capítulo hemos explicado el significado y la composición de cada uno de estos valores.

La intensidad energética puede considerarse como el parámetro más importante del modelo ya que afecta a la altura y la anchura de los bloques de la curva final. Esto se puede observar en las fórmulas que determinan los bloques:

La altura de cada bloque representa el coste por cada MWh ahorrado:

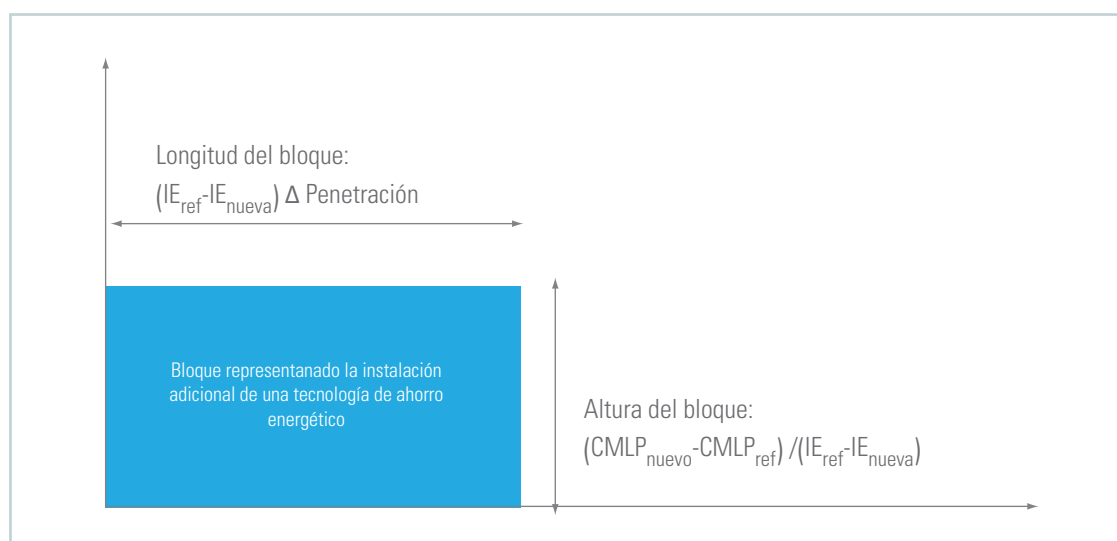
$$\text{Coste (€)/ MWh ahorrado} = \frac{(\text{CMLP}_{\text{nueva tec}} - \text{CMLP}_{\text{ref tec}}) / (\text{Intensidad Energética}_{\text{ref tec}} - \text{Intensidad Energética}_{\text{nueva tec}})}$$

La anchura de cada bloque representa la cantidad total de energía ahorrada por una medida particular:

$$\text{Ahorro Energético (MWh)} = (\text{Intensidad Energética}_{\text{ref tec}} - \text{Intensidad Energética}_{\text{nueva tec}}) \cdot \Delta \text{ penetración}_{\text{nueva tec}}$$

Como se muestra en la figura 4, estas dos fórmulas determinan los bloques de la curva de costes marginales de ahorro.

**Figura 4. Altura y anchura de bloques de la curva de ahorro energético**



Nota:  $IE_{\text{ref}}$  es la intensidad energética de la tecnología de referencia,  $IE_{\text{nueva}}$  es la intensidad energética de la nueva tecnología,  $CMLP_{\text{ref}}$  es el coste marginal a largo plazo de la tecnología de referencia y  $CMLP_{\text{nueva}}$  es el coste marginal a largo plazo de la nueva tecnología.

Fuente: Elaboración propia

Como indica la primera de las fórmulas, el coste por cada MWh ahorrado es igual a la diferencia entre el CMLP de la nueva tecnología y la tecnología de referencia (reemplazada) dividido por la diferencia en su intensidad energética. Dado que ambas intensidades se expresen en MWh por unidad de producción, la diferencia de intensidades entre la tecnología nueva y la tecnología de referencia representa el ahorro energético por unidad de producción. Cuanto menor sea la diferencia, mayor será el coste por cada MWh ahorrado. Hay que tener en cuenta que tanto el numerador como el denominador se expresan en unidades específicas de cada sector, no así el resultado final, ya que al dividir ambos



términos se cancelan. Por ello, el resultado final es simplemente el coste en euros por cada MWh ahorrado (€/MWh). De esta forma, es posible comparar las distintas tecnologías con independencia del sector en el que se emplean.

La segunda de las formulas, calcula la cantidad de ahorro energético de una medida. Su valor se obtiene de multiplicar la diferencia entre la intensidad de la tecnología de referencia y la nueva tecnología, y la variación en la tasa de penetración, es decir, el nivel de sustitución de la nueva tecnología. Un mayor uso de una nueva tecnología más eficiente proporciona un bloque como el de la Figura 4. La suma de varios bloques forma la curva de costes marginales de ahorro energético.

El cálculo de las intensidades energéticas y del CMLP de cada tecnología puede y debe ser distinto en función de las características propias de la tecnología. Es diferente cuando una tecnología nueva reemplaza completamente a la anterior o simplemente la mejora. En este último caso, la tecnología antigua no se elimina y sigue participando en la producción. Por ello, el CMLP y las intensidades tienen que recoger correctamente estas posibilidades. En el caso de que una tecnología antigua sea reemplazada completamente, comparamos el CMLP de ambas tecnologías incluyendo todos los costes y la inversión inicial. Por el contrario, cuando solamente hay una mejora en la tecnología, se debe calcular nuevos valores de referencia del CMLP. Esto es necesario porque el coste de la inversión de la tecnología de referencia es intrascendente para instalar una mejora o no. En cualquier caso la tecnología de referencia permanece y sigue utilizándose.

### 3.2.2. Energía eléctrica y energía térmica

Independientemente del sector, la curva obtenida cuantifica el ahorro energético en MWh. Para homogenizar la energía eléctrica y la energía térmica, aplicamos el factor de conversión medio del sector de generación eléctrica. Es decir, si el sector de generación eléctrica usa como promedio dos MWh de energía térmica para producir un MWh de electricidad, se utiliza este ratio de conversión para la energía eléctrica ahorrada en otros sectores (como el residencial o el industrial). En este sentido, la curva final representa la energía térmica ahorrada dado que toda la electricidad ahorrada está convertida según el ratio establecido. Por ello, también contemplamos posibles cambios en la generación de electricidad. En caso de que la penetración de las energías renovables aumente, el ratio de conversión de energía térmica a eléctrica se verá afectado, por lo que un MWh de electricidad ahorrado representará menos energía térmica ahorrada en la curva final.



[ 04 ]



# Escenarios y medidas consideradas

**4.1 Escenarios**

**4.2 Sectores y tecnologías considerados**

## 4.1 Sectores y Tecnologías considerados

Lógicamente, en el modelo es necesario incluir todas las tecnologías que se utilizan actualmente. Para conseguir esta información, hemos analizado los diferentes sectores de la economía española. La elección de los sectores se realizó teniendo en cuenta a los grandes consumidores de energía. 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. Los sectores analizados son los siguientes:

- Generación eléctrica
- Industria
- Edificios residenciales
- Edificios comerciales
- Transporte

En el Cuadro 1 se puede observar la evolución esperada de las principales variables para cada sector analizado. Además se incluyen otras variables fundamentales para las estimaciones realizadas. Estos datos han sido muy importantes a la hora de definir los escenarios.

La producción eléctrica presentada en el cuadro no está corregida por los valores de ahorro eléctrico conseguidos por las medidas aplicadas en las simulaciones. Por lo tanto, el tamaño de mercado para 2030 será el que se muestra menos los ahorros eléctricos conseguidos en la evolución tecnológica simulada.

Dentro de cada sector las tecnologías analizadas quedan agrupadas en función de las distintas fuentes consultadas (ver Apéndice E). Por ello, cada tecnología sólo afecta a un sector. Esta división facilita una mejor organización del trabajo. Además, la división en sectores nos permite presentar los efectos de nuevas políticas o regulaciones de forma más clara.

En cada sector se analizan entre 15 y 70 tecnologías que reducen la demanda de energía (incluyendo tecnologías de referencia que no aparecen en la curva final). El cálculo de la curva de costes marginales de ahorro energético se basa en supuestos a largo plazo de indicadores clave de la economía española. Al fin y al cabo, para calcular el potencial de ahorro energético en el sector residencial, es fundamental saber el número de casas que se construirán en España hasta 2030. Para ello, se han calculado las tendencias de futuro de los indicadores clave.

**Cuadro 1. Crecimientos supuestos para los distintos sectores productivos 2010-2030**

| Sector      | Variable              | Descripción       | Valor 2010      | Valor 2030      | Crecimiento anual (%) | Fuentes  |
|-------------|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|--|
| Generación  | Producción eléctrica  | MWh               | 288.061.000     | 427.000.000     | 1,99%                 | REE (2011), estimaciones propias                             |
| Residencial | Viviendas             | cantidades        | 17.068.196      | 18.847.875      | 0,50%                 | IDAE (2008), Base de datos IDAE                              |
| Comercial   | Metros cuadrados      | metros cuadrados  | 735.373.477     | 761.677.717     | 0,18%                 | Base de datos Bloomberg                                      |
| Industria   | Aluminio              | toneladas         | 408.000         | 403.130         | -0,06%                | Base de datos IDAE, EAA (2010), Base de datos Bloomberg      |
| Industria   | Amoniaco              | toneladas         | 526.394         | 461.738         | -0,65%                | Base de datos IDAE, Fertiberia, Base de datos Bloomberg      |
| Industria   | Ladrillos             | toneladas         | 8.968.000       | 10.672.000      | 0,87%                 | HISPALYT   |
| Industria   | Cemento               | toneladas         | 29.504.574      | 35.110.000      | 0,87%                 | OFICEMEN (2010)  |
| Industria   | Refinería             | toneladas         | 57.236.000      | 57.236.000      | 0,00%                 | CORES (2011)   |
| Industria   | Petroquímica          | toneladas         | 35.000.000      | 35.000.000      | 0,00%                 | Estimaciones propias   |
| Industria   | Acero                 | toneladas         | 16.343.000      | 21.227.845      | 1,32%                 | Base de datos IDAE, UNESID (2011)<br>Base de datos Bloomberg |
| Industria   | Baldosas              | toneladas         | 12.000.000      | 14.280.000      | 0,87%                 | Garulo Galiana (2011)  |
| Transporte  | Transporte Pasajeros  | pasajeros-km      | 430.862.000.000 | 594.655.336.903 | 1,62%                 | Base de datos OCDE   |
| Transporte  | Transporte Mercancías | toneladas-km      | 216.037.000.000 | 383.152.420.543 | 2,91%                 | Base de datos OCDE   |
| General     | Población             | personas          | 47.000.000      | 47.560.000      | 0,06%                 | Base de datos INE  |
| General     | PIB                   | millones de Euros | 1.062.591       | 1.585.696       | 2,02%                 | Base de datos INE, Base de datos Eurostat                    |

### > Generación eléctrica

Este sector es de especial interés, porque además de ser un sector consumidor de energía, también la produce (en forma de electricidad). La generación de electricidad se produce gracias a distintas fuentes de energía. Algunas de las tecnologías emplean combustibles fósiles, mientras que otras aprovechan recursos renovables como la radiación solar, el viento o el agua.

Además, los datos del sector eléctrico nos permiten homogenizar la energía eléctrica y la térmica. Este cálculo se ha explicado con mayor detalle en el capítulo anterior.

### > Industria

El sector industrial está dividido en diferentes sub-sectores según el producto final. Cada sub-sector se ha analizado de forma individual. La elección de los sub-sectores se ha basado en su importancia y su tamaño en el mercado español así como en su potencial de ahorro energético. Las industrias analizadas son: aluminio, amoniaco, ladrillo, cemento, refinerías, petroquímico, acero y cerámica. A cada industria le corresponden tecnologías diferentes, las cuales se han seleccionado analizando los distintos procesos productivos. La descripción y los detalles de las tecnologías se han obtenido gracias al análisis y la evaluación de expertos de cada industria. En algunos sectores, como la refinería, la información sobre sus procesos productivos es más limitada, por lo que ha sido más difícil la obtención de datos.

### > Edificios residenciales

El sector de edificios residenciales tiene unas características únicas. Primero, la unidad de medida del sector es difícil de definir. En este estudio, hemos decidido usar el número de hogares en vez de un cálculo por cápita o metro cuadrado. Los datos relacionados con los distintos usos de la energía en las viviendas se han obtenido de IDAE. El consumo energético en las viviendas se divide principalmente en calefacción, agua caliente, iluminación, cocina y otros electrodomésticos. Los datos de IDAE nos han permitido calcular el consumo medio por hogar para cada uno de estos usos, y así, las intensidades energéticas de cada tecnología.<sup>1</sup> Las tecnologías presentes en el sector y los valores utilizados fueron elaborados por nuestros expertos orientándose en los datos disponibles para España<sup>2</sup>.

### > Edificios comerciales

El sector de edificios residenciales y el de edificios comerciales están representados separadamente. Los tipos de edificios son distintos ya que su uso también es diferente. El consumo energético de oficinas y negocios se concentra principalmente en iluminación y calefacción / aire acondicionado. El edificio comercial tipo suele ser más grande y con áreas abiertas. Los equipos electrónicos, al igual que los sistemas de climatización, son diferentes. Como el tamaño de los edificios comerciales es más heterogéneo que en las viviendas, hemos usado el metro cuadrado como la unidad de medida en este sector. Empleando una metodología similar que en el sector de edificios residenciales, hemos calculado la intensidad energética de los distintos usos, a partir de los consumos energéticos (obtenidos de IDAE) y el número total de metros cuadrados de los edificios comerciales.

### > Transporte

El sector transporte se divide principalmente en el transporte de personas y mercancías. La unidad de medida en el transporte de personas es el pasajero-kilómetro, es decir, los costes y las intensidades del sector se expresan en pasajero-kilómetro. En este estudio analizamos los viajes en coche privado, autobús público y tren. Por tanto, no consideramos el transporte aéreo, el marítimo y aquel transporte público que no sea en autobús o tren. Son varios los motivos por los que excluimos estos medios de transporte. Primero, hasta 2030 se espera que la mayoría del transporte de personas sigue teniendo lugar por carretera y tren; el informe "EU Energy Trends to 2030" de la Comisión Europea prevé que en 2030 apenas el 23,7% de pasajeros-kilómetros se realiza por transporte aéreo.<sup>3</sup> Además, el transporte marítimo y aéreo cada vez es más internacional, lo que dificulta su contabilidad. Por ello, este estudio se centra en el coche privado, el autobús público y el tren, y suponemos que los otros medios de transporte se desarrollan de una forma independiente fuera de las tecnologías consideradas en nuestro informe.

El transporte de mercancías se analiza de una manera parecida. La unidad de medida empleada es la tonelada-kilómetro. En este apartado sólo consideramos el transporte por carretera (camión) y el ferrocarril. Los motivos para excluir el transporte marítimo y aéreo son similares al caso del transporte de personas.<sup>4</sup> Por tanto, no analizamos las posibles mejoras tecnológicas en estos medios de transporte.

1 El potencial de ahorro para cada uno de los usos se ha calculado a partir de los datos disponibles de ahorro en porcentaje.

2 Fuentes usadas eran BNEF, IDAE (2011c, 2010a), WWF (2010) y el Ministerio de Fomento (2010). El Apéndice E contiene un listado completo de todas las fuentes usadas en completar los datos necesarios para el modelo.

3 Ver European Commission (2009).

4 Además, Mendiluce y Schipper (2011) estiman que el 86% el transporte de mercancías en España es por carretera. Por ello, incorporando el transporte por carretera y el ferrocarril se recoge la mayor parte del transporte en España.

Prever correctamente las tecnologías disponibles hasta el año 2030 es difícil. Es evidente que existe un cierto riesgo de error. Para evitar grandes errores, hemos optado por una estimación conservadora y prudente. Es decir, además de las tecnologías utilizadas en el 2010, solamente hemos considerado tecnologías que ya se prevé que estarán disponibles antes del 2030. Por ejemplo, no contamos con la fusión nuclear, porque el avance tecnológico actual no indica que esté disponible antes del año 2030. Por otro lado, sí esperamos que las tecnologías de cogeneración o los coches eléctricos e híbridos alcancen un nivel competitivo y estén disponibles antes del 2030. La capacidad instalada del coche eléctrico, por ejemplo, es casi nula en el 2010, pero alcanza un uso elevado en el año 2030 (hasta un 30% de la flota de coches en uno de los escenarios).

Los supuestos principales a la hora de establecer las tecnologías disponibles de 2010 a 2030 varían por sector. En el apéndice B damos información adicional sobre los sectores, incluyendo supuestos de cálculo, datos y fuentes.

## 4.2 Escenarios

Dado que el objetivo de este trabajo es informar de las políticas de ahorro y eficiencia, y dado 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 informe 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). Esta es una de las importantes limitaciones identificadas en estudios anteriores y que este informe pretende corregir.

Además vamos a construir dos curvas de coste marginal de ahorro energético para cada uno de estos escenarios; una curva desde una perspectiva de coste público y otra desde la perspectiva privada.

### 4.2.1. Supuestos generales sobre los escenarios

El estudio sólo 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, ya que 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.

#### > Demandas y tamaños de los mercados

Para calcular la demanda y el tamaño del mercado de cada sector de la economía hemos aplicado un modelo que estima los valores del 2030 a través de datos históricos (1990-2010). Para ello se ha usado una programación de *Bloomberg New Energy Finance*. Concretamente, los datos estimados de esta manera son:

- La demanda energética 2030.

- Datos sociales (PIB, población, stock de viviendas y superficie de edificios comerciales, etc.)
- Demandas y tamaños de los mercados de los sectores considerados (toneladas producidas de aluminio, kilómetros viajados por persona, etc.)

Una lista completa con todas las demandas estimadas de varios sectores de la economía española se encuentra en el apéndice D.

### > Precios

Los precios de los productos energéticos los hemos estimado internamente. Esta estimación se ha basado en varias fuentes diferentes. Para los precios antes de impuestos en 2030, se han usado como datos orientativos los de la Agencia Internacional de Energía, *Bloomberg New Energy Finance*, OECD, distintos estudios del gobierno de España, y Wesselink et al. (2009). Los precios finales son una estimación nuestra basada parcialmente en los supuestos de los trabajos mencionados anteriormente, pero no una réplica exacta. Por eso consideramos nuestra serie de precios como elaboración propia. La lista completa de los diferentes productos energéticos usados en nuestro modelo y sus precios correspondientes se encuentra en el apéndice C.

Los precios de los combustibles son una parte importante en el cálculo de la curva de ahorro de energía final. Los precios influyen en los costes de funcionamiento de las diferentes opciones tecnológicas junto con las intensidades energéticas. Como se puede ver en la fórmula para el coste de las tecnologías (Figura 4), los precios de los combustibles afectan el resultado final a través del CMLP. Unos precios de los combustibles altos, por ejemplo, favorecen a aquellas tecnologías que tienen un coste de construcción inicial elevado, pero un mayor ahorro energético durante su funcionamiento (y viceversa).

Referente a los precios finales y el sistema impositivo español, suponemos un cambio de política. Los impuestos actuales (2010) no van a persistir en el año 2030. La Unión Europea ya aconseja a los Estados Miembros redefinir los impuestos según los contenidos energéticos y la emisión de gases de efecto invernadero. Consideramos muy probable una adaptación a estas normas hasta el año 2013 y 2018, tal y como exige la Unión Europea.<sup>5</sup> Para nuestros cálculos aplicamos un impuesto por contenido energético de 9,6€ por GJ para los combustibles usados en automoción y 0,15€ por GJ para combustibles usados para calefacción. Además, consideramos la más que posible ampliación de los impuestos a las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para el 2030 suponemos un impuesto adicional a los combustibles de 35€ por tonelada de CO<sub>2</sub> emitida. De esta manera calculamos el precio final de los combustibles para cada tipo de consumidor en el año 2030. Estos valores están representados en el Cuadro 14 del apéndice A.

### 4.2.2. Escenarios concretos

Como se mencionaba anteriormente, los escenarios pretenden representar el potencial de reducción de la demanda de energía en España bajo distintas circunstancias. Pero, en primer lugar, es necesario caracterizar y analizar un escenario tendencial, que muestre las reducciones de demanda ya esperadas, el escenario 2010 – 2030 (escenario tendencial).

#### > 2010 – 2030 (tendencial)

En el escenario 2010-2030 tenemos en cuenta el desarrollo “natural” de la economía española.<sup>6</sup> El escenario tendencial representa lo que nosotros consideramos un desarrollo probable para España sin cambios significativos. No se

<sup>5</sup> Ver European Commission (2011c).

<sup>6</sup> Alternativamente, en otros estudios se refiere a este tipo de escenario como el escenario BAU (*business as usual*).

consideran impactos o cambios políticos o tecnológicos más allá de los que se esperan actualmente. Este escenario va a servir como la base analítica de este informe. Representa los esfuerzos de ahorro energético que se llevarán a cabo teniendo en cuenta aquellos cambios del entorno energético-político ya previsible hoy (como por ejemplo, un cambio en la imposición energética, una subida en los precios energéticos causada por la escasez de recursos, etc.). Este escenario representa el camino de 2010 al 2030 de la economía española sin impactos inesperados significativos.

### > 2030 Tecnológico

El escenario 2030 tecnológico va más allá que el escenario tendencial. En este escenario suponemos avances tecnológicos adicionales a los previstos en el 2010-2030. El escenario tecnológico considera una tasa de penetración de tecnologías aún consideradas como de futuro elevada (por ejemplo, la solar fotovoltaica en el sector eléctrico, calderas de alta eficiencia para la climatización, coches eléctricos, etc.), debido 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.

### > 2030 Político

Al igual que el escenario 2030 tecnológico, el escenario 2030 político representa una situación en 2030 distinta a nuestro escenario tendencial. Se asume que, adicionalmente a lo esperado para el 2030 en el tendencial, se toman ciertas políticas para influir en el entorno energético-económico. Por ejemplo, consideramos la salida de la energía nuclear. También consideramos la decisión de obligar a sustituir algunas cadenas productivas antiguas del sector industrial por procesos más modernos. En fin, este escenario representa unos impactos adicionales de política y regulación menos esperados y no incluidos en el escenario tendencial. Al contrario que el escenario tecnológico, este escenario político no considera mejoras en los costes de las tecnologías sino que trata de representar un compromiso político para la promoción de tecnologías energéticamente más eficientes con independencia de su coste.

Para ilustrar las diferencias entre los distintos escenarios, el Cuadro 2 muestra los distintos niveles de penetración de las tecnologías. Las tasas de penetración son una parte importante a la hora de definir las características de un escenario, ya que determinan qué tecnologías aumentan su instalación y cuales bajan. En el cuadro 1, las tasas de penetración aparecen representadas de dos maneras. En las columnas de la derecha como porcentaje del tamaño total del sector, y en las columnas de la izquierda se presenta las penetraciones en unidades específicas del sector<sup>7</sup>. Se puede observar como las tasas de penetración varían en función de si estamos en el escenario tendencial, el tecnológico o el político.

<sup>7</sup> Puede consultarse el capítulo 4 para obtener más información sobre las unidades en los diferentes sectores.



**Cuadro 2. Datos de penetración de diferentes tecnologías de ahorro energético según los escenarios**

| Sector (clave)     | Descripción   | Unidades | 2010       |      | 2030 (tendencial) |      | 2030 (político) |      | 2030 (tecnológico) |      |
|--------------------|---|----------|------------|------|-------------------|------|-----------------|------|--------------------|------|
|                    |   |          | Cantidad   | en % | Cantidad          | en % | Cantidad        | en % | Cantidad           | en % |
| Eléctrico          | Carbón convencional                                 | MWh      | 35.478.000 | 12,3 | 27.657.649        | 7,0  | 0               | 0,0  | 0                  | 0,0  |
| Eléctrico          | Carbón supercrítico                                 | MWh      | 0          | 0,0  | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0  | 0                  | 0,0  |
| Eléctrico          | Gasificación integrada en ciclo combinado de carbón | MWh      | 1.681.000  | 0,6  | 1.843.843         | 0,5  | 1.770.322       | 0,5  | 1.736.763          | 0,5  |
| Eléctrico          | Turbina de gas en ciclo abierto                     | MWh      | 0          | 0,0  | 18.438.433        | 4,7  | 22.129.020      | 5,9  | 21.709.541         | 5,9  |
| Eléctrico          | Ciclo combinado de gas - eficiencia media           | MWh      | 98.595.000 | 34,2 | 92.192.164        | 23,4 | 88.516.082      | 23,4 | 86.838.165         | 23,4 |
| Eléctrico (1 P)    | Ciclo combinado de gas - eficiencia alta            | MWh      | 0          | 0,0  | 37.153.442        | 9,4  | 26.554.825      | 7,0  | 9.552.198          | 2,6  |
| Eléctrico          | Biomasa   | MWh      | 3.122.000  | 1,1  | 5.531.530         | 1,4  | 8.851.608       | 2,3  | 5.210.290          | 1,4  |
| Eléctrico          | Nuclear   | MWh      | 61.990.000 | 21,5 | 55.776.259        | 14,2 | 0               | 0,0  | 52.537.090         | 14,2 |
| Eléctrico (2 P)    | Solar FV  | MWh      | 6.311.000  | 2,2  | 18.807.201        | 4,8  | 35.406.433      | 9,4  | 26.051.450         | 7,0  |
| Eléctrico (3 P)    | Solar termoeléctrica                                | MWh      | 692.000    | 0,2  | 14.289.785        | 3,6  | 35.406.433      | 9,4  | 28.222.404         | 7,6  |
| Eléctrico (4 P)    | Eólica onshore                                      | MWh      | 43.692.000 | 15,2 | 77.441.418        | 19,7 | 110.645.102     | 29,3 | 91.180.074         | 24,6 |
| Eléctrico (5 P)    | Eólica offshore                                     | MWh      | 0          | 0,0  | 8.297.295         | 2,1  | 13.277.412      | 3,5  | 13.025.725         | 3,5  |
| Eléctrico (6 P)    | Hidro (fluyente)                                    | MWh      | 18.300.000 | 6,4  | 19.175.970        | 4,9  | 18.411.345      | 4,9  | 18.062.338         | 4,9  |
| Eléctrico          | Hidro (regulable)                                   | MWh      | 18.200.000 | 6,3  | 16.778.974        | 4,3  | 16.109.927      | 4,3  | 15.804.546         | 4,3  |
| Eléctrico (7 P)    | Mareas  | MWh      | 0          | 0,0  | 276.576           | 0,1  | 885.161         | 0,2  | 868.382            | 0,2  |
| Eléctrico          | Olas  | MWh      | 0          | 0,0  | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0  | 0                  | 0,0  |
| Residencial (8 R)  | Caldera de biomasa                                  | Hogares  | 0          | 0,0  | 263.870           | 1,4  | 565.436         | 3,0  | 282.718            | 1,5  |
| Residencial (9 R)  | Microcogeneración                                   | Hogares  | 0          | 0,0  | 263.870           | 1,4  | 565.436         | 3,0  | 376.958            | 2,0  |
| Residencial (10 R) | Calefacción urbana                                  | Hogares  | 0          | 0,0  | 263.870           | 1,4  | 565.436         | 3,0  | 282.718            | 1,5  |
| Residencial        | Calefacción eléctrica                               | Hogares  | 2.218.865  | 13,0 | 263.870           | 1,4  | 0               | 0,0  | 0                  | 0,0  |
| Residencial        | Caldera de gas convencional                         | Hogares  | 5.291.141  | 31,0 | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0  | 0                  | 0,0  |
| Residencial (11 R) | Caldera de gas de condensación                      | Hogares  | 0          | 0,0  | 3.166.443         | 16,8 | 1.319.351       | 7,0  | 0                  | 0,0  |
| Residencial (12 R) | Bomba de calor                                      | Hogares  | 341.364    | 2,0  | 2.261.745         | 12,0 | 1.884.788       | 10,0 | 1.884.788          | 10,0 |
| Residencial (13 R) | Bomba de calor avanzada                             | Hogares  | 0          | 0,0  | 3.694.184         | 19,6 | 5.654.363       | 30,0 | 7.539.150          | 40,0 |
| Residencial        | Caldera de GLP                                      | Hogares  | 682.728    | 4,0  | 131.935           | 0,7  | 0               | 0,0  | 0                  | 0,0  |
| Residencial        | Caldera con otros combustibles                      | Hogares  | 3.242.957  | 19,0 | 376.958           | 2,0  | 0               | 0,0  | 0                  | 0,0  |
| Residencial (14 R) | Bomba de calor geotérmica                           | Hogares  | 170.682    | 1,0  | 395.805           | 2,1  | 1.130.873       | 6,0  | 1.696.309          | 9,0  |
| Residencial (15 R) | Caldera de gas de baja temperatura                  | Hogares  | 0          | 0,0  | 2.110.962         | 11,2 | 1.507.830       | 8,0  | 1.130.873          | 6,0  |
| Residencial (16 R) | Aire acondicionado avanzado                         | Hogares  | 0          | 0,0  | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0  | 1.884.788          | 10,0 |
| Residencial (18 R) | Doble acristalamiento                               | Hogares  | 6.656.596  | 39,0 | 9.423.938         | 50,0 | 16.963.088      | 90,0 | 16.963.088         | 90,0 |

| Sector (clave)         | Descripción  | Unidades         | 2010       |       | 2030 (tendencial) |       | 2030 (político) |       | 2030 (tecnológico) |       |
|------------------------|--|------------------|------------|-------|-------------------|-------|-----------------|-------|--------------------|-------|
|                        |  |                  | Cantidad   | en %  | Cantidad          | en %  | Cantidad        | en %  | Cantidad           | en %  |
| Residencial (17 R)     | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | Hogares          | 0          | 0,0   | 2.827.181         | 15,0  | 10.366.332      | 55,0  | 10.366.332         | 55,0  |
| Residencial (19 R)     | Sistemas de gestión de la climatización                      | Hogares          | 6.827.278  | 40,0  | 11.308.725        | 60,0  | 18.847.876      | 100,0 | 18.847.876         | 100,0 |
| Residencial            | Aire acondicionado convencional                              | Hogares          | 1.706.820  | 10,0  | 5.654.363         | 30,0  | 3.769.575       | 20,0  | 1.884.788          | 10,0  |
| Residencial (20 R)     | Iluminación fluorescente                                     | Hogares          | 3.413.639  | 20,0  | 12.251.119        | 65,0  | 15.078.301      | 80,0  | 8.481.544          | 45,0  |
| Residencial            | Iluminación incandescente                                    | Hogares          | 13.227.852 | 77,5  | 4.711.969         | 25,0  | 0               | 0,0   | 4.711.969          | 25,0  |
| Residencial (21 R)     | Iluminación LED  | Hogares          | 426.705    | 2,5   | 1.884.788         | 10,0  | 3.769.575       | 20,0  | 5.654.363          | 30,0  |
| Residencial            | Calentador de agua eléctrico                                 | Hogares          | 3.242.957  | 19,0  | 1.884.788         | 10,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Residencial (22 R)     | Calentador de agua solar                                     | Hogares          | 51.205     | 0,3   | 5.654.363         | 30,0  | 13.193.513      | 70,0  | 16.680.370         | 88,5  |
| Residencial (23 R)     | Calentador de agua gas condensación                          | Hogares          | 0          | 0,0   | 5.654.363         | 30,0  | 4.711.969       | 25,0  | 1.884.788          | 10,0  |
| Residencial            | Calentador de agua gas convencional                          | Hogares          | 5.803.187  | 34,0  | 0                 | 0,0   | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Residencial            | Calentador de agua GLP                                       | Hogares          | 5.461.823  | 32,0  | 3.769.575         | 20,0  | 376.958         | 2,0   | 0                  | 0,0   |
| Residencial (24 R)     | Calentador de agua biomasa                                   | Hogares          | 0          | 0,0   | 0                 | 0,0   | 565.436         | 3,0   | 282.718            | 1,5   |
| Residencial            | Calentador de agua otros combustibles                        | Hogares          | 2.509.025  | 14,7  | 1.884.788         | 10,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Residencial            | Frigoríficos convencionales                                  | Hogares          | 17.068.196 | 100,0 | 5.654.363         | 30,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Residencial (25 R)     | Frigoríficos eficientes                                      | Hogares          | 0          | 0,0   | 13.193.513        | 70,0  | 18.847.876      | 100,0 | 18.847.876         | 100,0 |
| Residencial            | Lavadoras convencionales                                     | Hogares          | 17.068.196 | 100,0 | 5.654.363         | 30,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Residencial (27 R)     | Lavadoras eficientes   | Hogares          | 0          | 0,0   | 13.193.513        | 70,0  | 18.847.876      | 100,0 | 18.847.876         | 100,0 |
| Residencial            | Lavavajillas convencionales                                  | Hogares          | 7.680.688  | 45,0  | 3.769.575         | 20,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Residencial (28 R)     | Lavavajillas eficientes                                      | Hogares          | 0          | 0,0   | 9.423.938         | 50,0  | 13.193.513      | 70,0  | 15.078.301         | 80,0  |
| Residencial            | Hornos convencionales  | Hogares          | 17.068.196 | 100,0 | 5.654.363         | 30,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Residencial (26 R)     | Hornos eficientes  | Hogares          | 0          | 0,0   | 13.193.513        | 70,0  | 18.847.876      | 100,0 | 18.847.876         | 100,0 |
| Residencial (29 R)     | Cocina de inducción de alta eficiencia                       | Hogares          | 0          | 0,0   | 9.423.938         | 50,0  | 18.847.876      | 100,0 | 15.078.301         | 80,0  |
| Residencial            | Cocina convencional  | Hogares          | 17.068.196 | 100,0 | 9.423.938         | 50,0  | 0               | 0,0   | 3.769.575          | 20,0  |
| Ind. - amoníaco (30 I) | Recuperación de hidrógeno                                    | Ton. - amoníaco  | 0          | 0,0   | 461.738           | 100,0 | 461.738         | 100,0 | 461.738            | 100,0 |
| Ind. - amoníaco        | Tecnología base amoníaco                                     | Ton. - amoníaco  | 526.394    | 100,0 | 461.738           | 100,0 | 461.738         | 100,0 | 461.738            | 100,0 |
| Ind. - amoníaco (31 I) | Síntesis de baja presión                                     | Ton. - amoníaco  | 168.446    | 32,0  | 461.738           | 100,0 | 461.738         | 100,0 | 461.738            | 100,0 |
| Ind. - amoníaco (32 I) | Gestión de la energía  | Ton. - amoníaco  | 0          | 0,0   | 277.043           | 60,0  | 461.738         | 100,0 | 461.738            | 100,0 |
| Ind. - ladrillos       | Horno Hoffman  | Ton. - ladrillos | 2.959.440  | 33,0  | 0                 | 0,0   | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |

| Sector (clave)             | Descripción                                     | Unidades            | 2010       |      | 2030 (tendencial) |       | 2030 (político) |       | 2030 (tecnológico) |       |
|----------------------------|---|---------------------|------------|------|-------------------|-------|-----------------|-------|--------------------|-------|
|                            |   |                     | Cantidad   | en % | Cantidad          | en %  | Cantidad        | en %  | Cantidad           | en %  |
| Ind. - ladrillos           | Horno de túnel                                  | Ton. - ladrillos    | 5.918.880  | 66,0 | 7.622.880         | 71,4  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Ind. - ladrillos           | Horno de rodillos                               | Ton. - ladrillos    | 89.680     | 1,0  | 89.680            | 0,8   | 89.680          | 0,8   | 89.680             | 0,8   |
| Ind. - ladrillos (33 I)    | Recuperación de gases - Túnel                   | Ton. - ladrillos    | 1.793.600  | 20,0 | 5.918.880         | 55,5  | 5.918.880       | 55,5  | 5.918.880          | 55,5  |
| Ind. - ladrillos (34 I)    | Aislamiento del horno - Túnel                   | Ton. - ladrillos    | 1.793.600  | 20,0 | 5.918.880         | 55,5  | 5.918.880       | 55,5  | 5.918.880          | 55,5  |
| Ind. - ladrillos (35 I)    | Mejora del flujo y presión - Túnel              | Ton. - ladrillos    | 1.793.600  | 20,0 | 5.918.880         | 55,5  | 5.918.880       | 55,5  | 5.918.880          | 55,5  |
| Ind. - ladrillos (36 I)    | Upgrade de Hoffman a Túnel mejorado             | Ton. - ladrillos    | 0          | 0,0  | 2.959.440         | 27,7  | 2.959.440       | 27,7  | 2.959.440          | 27,7  |
| Ind. - ladrillos           | Cámara de secado - Hoffman                      | Ton. - ladrillos    | 2.959.440  | 33,0 | 0                 | 0,0   | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Ind. - ladrillos (37 I)    | Secado continuo - Hoffman                       | Ton. - ladrillos    | 0          | 0,0  | 2.959.440         | 27,7  | 2.959.440       | 27,7  | 2.959.440          | 27,7  |
| Ind. - cemento             | Tecnología base en plantas secas                | Ton. - cemento      | 27.439.254 | 93,0 | 0                 | 0,0   | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Ind. - cemento             | Tecnología base en nuevas plantas secas         | Ton. - cemento      | 0          | 0,0  | 0                 | 0,0   | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Ind. - cemento (38 I)      | Precalcinadores                                 | Ton. - cemento      | 10.407.993 | 35,3 | 27.439.254        | 78,2  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Ind. - cemento (39 I)      | Enfriado de rejilla                             | Ton. - cemento      | 18.292.836 | 62,0 | 23.780.687        | 67,7  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Ind. - cemento (40 I)      | Control de procesos y automatización            | Ton. - cemento      | 2.950.457  | 10,0 | 32.652.300        | 93,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Ind. - cemento (41 I)      | Mantenimiento preventivo                        | Ton. - cemento      | 2.950.457  | 10,0 | 27.439.254        | 78,2  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Ind. - cemento             | Uso de residuos en plantas secas                | Ton. - cemento      | 0          | 0,0  | 0                 | 0,0   | 27.439.254      | 78,2  | 27.439.254         | 78,2  |
| Ind. - cemento             | Uso de residuos en nuevas plantas secas         | Ton. - cemento      | 0          | 0,0  | 0                 | 0,0   | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Ind. - cemento (42 I)      | Precalcinadores - residuos                      | Ton. - cemento      | 0          | 0,0  | 0                 | 0,0   | 27.439.254      | 78,2  | 27.439.254         | 78,2  |
| Ind. - cemento (43 I)      | Control de procesos y automatización - residuos | Ton. - cemento      | 0          | 0,0  | 0                 | 0,0   | 32.652.300      | 93,0  | 32.652.300         | 93,0  |
| Ind. - cemento             | Mantenimiento preventivo - residuos             | Ton. - cemento      | 0          | 0,0  | 0                 | 0,0   | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Ind. - aluminio (44 I)     | Mejora de procesos en fabricación de aluminio   | Ton. - aluminio     | 0          | 0,0  | 241.878           | 60,0  | 403.130         | 100,0 | 403.130            | 100,0 |
| Ind. - petroquímica (45 I) | Mejora de procesos en petroquímica              | Ton. - petroquímica | 0          | 0,0  | 35.000.000        | 100,0 | 35.000.000      | 100,0 | 35.000.000         | 100,0 |
| Ind. - cerámica            | Tecnología base EAF                             | Ton. - acero        | 12.584.110 | 77,0 | 17.468.956        | 82,3  | 17.468.956      | 82,3  | 17.468.956         | 82,3  |
| Ind. - cerámica (46 I)     | Gestión de energía EAF                          | Ton. - acero        | 6.292.055  | 38,5 | 13.076.353        | 61,6  | 17.468.956      | 82,3  | 17.468.956         | 82,3  |
| Ind. - cerámica (47 I)     | Fundición Near net shape strip EAF              | Ton. - acero        | 6.292.055  | 38,5 | 12.584.110        | 59,3  | 12.584.110      | 59,3  | 12.584.110         | 59,3  |
| Ind. - cerámica            | Tecnología base BOF                             | Ton. - acero        | 3.758.890  | 23,0 | 3.758.890         | 17,7  | 3.758.890       | 17,7  | 3.758.890          | 17,7  |

| Sector (clave)          | Descripción                                 | Unidades        | 2010            |      | 2030 (tendencial) |      | 2030 (político) |       | 2030 (tecnológico) |       |
|-------------------------|---|-----------------|-----------------|------|-------------------|------|-----------------|-------|--------------------|-------|
|                         |   |                 | Cantidad        | en % | Cantidad          | en % | Cantidad        | en %  | Cantidad           | en %  |
| Ind. - cerámica (48 I)  | Gestión de energía BOF                      | Ton. - acero    | 1.879.445       | 11,5 | 3.007.112         | 14,2 | 3.758.890       | 17,7  | 3.758.890          | 17,7  |
| Ind. - cerámica (49 I)  | Fundición Near net shape strip BOF          | Ton. - acero    | 1.879.445       | 11,5 | 3.758.890         | 17,7 | 3.758.890       | 17,7  | 3.758.890          | 17,7  |
| Ind. - cerámica (50 I)  | Recuperación de gases - BOF                 | Ton. - acero    | 2.255.334       | 13,8 | 3.758.890         | 17,7 | 3.758.890       | 17,7  | 3.758.890          | 17,7  |
| Ind. - cerámica (51 I)  | Sustitución de BOF por EAF                  | Ton. - acero    | 0               | 0,0  | 3.758.890         | 17,7 | 3.758.890       | 17,7  | 3.758.890          | 17,7  |
| Ind. - refinería (52 I) | Gestión de procesos y de la energía         | Ton. - refinio  | 0               | 0,0  | 34.341.600        | 60,0 | 57.236.000      | 100,0 | 57.236.000         | 100,0 |
| Ind. - cerámica         | Horno Hoffman                               | Ton. - cerámica | 0               | 0,0  | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Ind. - cerámica         | Horno de túnel                              | Ton. - cerámica | 900.000         | 7,5  | 900.000           | 6,3  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Ind. - cerámica         | Horno de rodillos                           | Ton. - cerámica | 11.100.000      | 92,5 | 13.380.000        | 93,7 | 13.380.000      | 93,7  | 13.380.000         | 93,7  |
| Ind. - cerámica (53 I)  | Aislamiento de hornos                       | Ton. - cerámica | 5.550.000       | 46,3 | 11.100.000        | 77,7 | 11.100.000      | 77,7  | 11.100.000         | 77,7  |
| Ind. - cerámica (54 I)  | Mejora del flujo de aire                    | Ton. - cerámica | 5.550.000       | 46,3 | 11.100.000        | 77,7 | 11.100.000      | 77,7  | 11.100.000         | 77,7  |
| Ind. - cerámica (55 I)  | Pre calentamiento con recuperación de gases | Ton. - cerámica | 4.440.000       | 37,0 | 11.100.000        | 77,7 | 11.100.000      | 77,7  | 11.100.000         | 77,7  |
| Ind. - cerámica (56 I)  | Recuperación de calor                       | Ton. - cerámica | 8.880.000       | 74,0 | 11.100.000        | 77,7 | 11.100.000      | 77,7  | 11.100.000         | 77,7  |
| Ind. - cerámica (57 I)  | Cambio de túnel a rodillos                  | Ton. - cerámica | 0               | 0,0  | 900.000           | 6,3  | 900.000         | 6,3   | 900.000            | 6,3   |
| Ind. - cerámica         | Cambio de Hoffman a rodillos                | Ton. - cerámica | 0               | 0,0  | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Transporte              | Coche diesel convencional                   | P-km            | 176.670.144.000 | 41,0 | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Transporte (58 T)       | Coche diesel más eficiente                  | P-km            | 0               | 0,0  | 193.894.674.662   | 32,6 | 124.877.620.750 | 21,0  | 126.031.538.530    | 21,2  |
| Transporte              | Coche gasolina convencional                 | P-km            | 173.830.802.400 | 40,3 | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Transporte (60 T)       | Coche de gasolina más eficiente             | P-km            | 0               | 0,0  | 121.184.171.664   | 20,4 | 108.227.271.316 | 18,2  | 77.557.869.865     | 13,0  |
| Transporte (59 T)       | Coche eléctrico más eficiente               | P-km            | 0               | 0,0  | 14.542.100.600    | 2,4  | 20.812.936.792  | 3,5   | 38.778.934.932     | 6,5   |
| Transporte (61 T)       | Coche híbrido no enchufable más eficiente   | P-km            | 0               | 0,0  | 72.710.502.998    | 12,2 | 62.438.810.375  | 10,5  | 96.947.337.331     | 16,3  |
| Transporte (62 T)       | Coche híbrido enchufable                    | P-km            | 0               | 0,0  | 33.931.568.066    | 5,7  | 41.625.873.583  | 7,0   | 48.473.668.665     | 8,2   |
| Transporte              | Coche de etanol                             | P-km            | 0               | 0,0  | 24.236.834.333    | 4,1  | 29.138.111.508  | 4,9   | 48.473.668.665     | 8,2   |
| Transporte              | Coche de biodiesel                          | P-km            | 0               | 0,0  | 24.236.834.333    | 4,1  | 29.138.111.508  | 4,9   | 48.473.668.665     | 8,2   |
| Transporte              | Camión diesel actual                        | T-km            | 208.646.000.000 | 96,6 | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Transporte (63 T)       | Camión diesel Euro V                        | T-km            | 0               | 0,0  | 293.876.117.054   | 76,7 | 214.565.355.504 | 56,0  | 293.876.117.054    | 76,7  |
| Transporte (64 T)       | Camión de biodiesel                         | T-km            | 0               | 0,0  | 73.469.029.263    | 19,2 | 91.956.580.930  | 24,0  | 73.469.029.263     | 19,2  |
| Transporte              | Autobús Euro IV                             | P-km            | 5.929.338.800   | 1,4  | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Transporte (65 T)       | Autobús Euro V                              | P-km            | 16.425.871.000  | 3,8  | 25.154.495.429    | 4,2  | 23.786.213.476  | 4,0   | 10.481.039.762     | 1,8   |

| Sector (clave)    | Descripción  | Unidades       | 2010           |      | 2030 (tendencial) |      | 2030 (político) |       | 2030 (tecnológico) |       |
|-------------------|--|----------------|----------------|------|-------------------|------|-----------------|-------|--------------------|-------|
|                   |  |                | Cantidad       | en % | Cantidad          | en % | Cantidad        | en %  | Cantidad           | en %  |
| Transporte        | Autobús de gas natural                                 | P-km           | 10.353.449.700 | 2,4  | 13.974.719.683    | 2,4  | 23.786.213.476  | 4,0   | 17.468.399.604     | 2,9   |
| Transporte        | Autobús de biodiésel                                   | P-km           | 22.692.884.500 | 5,3  | 27.949.439.366    | 4,7  | 59.465.533.690  | 10,0  | 27.949.439.366     | 4,7   |
| Transporte (66 T) | Autobús eléctrico                                      | P-km           | 263.271.800    | 0,1  | 1.397.471.968     | 0,2  | 5.946.553.369   | 1,0   | 6.987.359.842      | 1,2   |
| Transporte (67 T) | Autobús híbrido  | P-km           | 11.446.600     | 0,0  | 1.397.471.968     | 0,2  | 5.946.553.369   | 1,0   | 6.987.359.842      | 1,2   |
| Transporte        | Tren de pasajeros actual                               | P-km           | 23.093.000.000 | 5,4  | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Transporte (68 T) | Tren de pasajeros eficiente                            | P-km           | 0              | 0,0  | 40.045.051.833    | 6,7  | 59.465.533.690  | 10,0  | 40.045.051.833     | 6,7   |
| Transporte        | Transporte de mercancías por ferrocarril actual        | T-km           | 7.391.000.000  | 3,4  | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Transporte (69 T) | Transporte de mercancías por ferrocarril más eficiente | T-km           | 0              | 0,0  | 15.807.274.226    | 4,1  | 76.630.484.109  | 20,0  | 15.807.274.226     | 4,1   |
| Transporte (70 T) | Neumáticos de baja resistencia a la rodadura           | P-km           | 0              | 0,0  | 0                 | 0,0  | 416.258.735.832 | 70,0  | 0                  | 0,0   |
| Comercial (72 C)  | Caldera de biomasa                                     | m <sup>2</sup> | 0              | 0,0  | 10.253.354        | 1,3  | 21.046.358      | 2,8   | 10.881.110         | 1,4   |
| Comercial (73 C)  | Microcogeneración                                      | m <sup>2</sup> | 0              | 0,0  | 20.506.708        | 2,7  | 42.092.716      | 5,5   | 29.016.294         | 3,8   |
| Comercial (74 C)  | Calefacción urbana                                     | m <sup>2</sup> | 0              | 0,0  | 20.506.708        | 2,7  | 42.092.716      | 5,5   | 21.762.220         | 2,9   |
| Comercial         | Calefacción eléctrica                                  | m <sup>2</sup> | 95.598.552     | 13,0 | 10.253.354        | 1,3  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Comercial         | Caldera de gas   | m <sup>2</sup> | 227.965.778    | 31,0 | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Comercial (75 C)  | Caldera de gas de condensación                         | m <sup>2</sup> | 0              | 0,0  | 123.040.247       | 16,2 | 49.108.169      | 6,4   | 0                  | 0,0   |
| Comercial (76 C)  | Bomba de calor   | m <sup>2</sup> | 14.707.470     | 2,0  | 87.885.890        | 11,5 | 70.154.527      | 9,2   | 72.540.735         | 9,5   |
| Comercial (77 C)  | Bomba de calor eficiente                               | m <sup>2</sup> | 0              | 0,0  | 143.546.954       | 18,8 | 210.463.580     | 27,6  | 290.162.940        | 38,1  |
| Comercial         | Caldera de otros combustibles                          | m <sup>2</sup> | 169.135.900    | 23,0 | 19.774.325        | 2,6  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Comercial (78 C)  | Caldera de gas de baja temperatura                     | m <sup>2</sup> | 0              | 0,0  | 82.026.831        | 10,8 | 56.123.621      | 7,4   | 43.524.441         | 5,7   |
| Comercial (71 C)  | Bomba de calor geotérmica                              | m <sup>2</sup> | 0              | 1,0  | 15.380.031        | 2,0  | 42.092.716      | 5,5   | 65.286.661         | 8,6   |
| Comercial (80 C)  | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)        | m <sup>2</sup> | 0              | 0,0  | 167.569.098       | 22,0 | 457.006.630     | 60,0  | 457.006.630        | 60,0  |
| Comercial (81 C)  | Doble acristalamiento                                  | m <sup>2</sup> | 286.795.656    | 39,0 | 411.305.967       | 54,0 | 685.509.945     | 90,0  | 685.509.945        | 90,0  |
| Comercial (79 C)  | Sistemas de gestión de la climatización                | m <sup>2</sup> | 294.149.391    | 40,0 | 457.006.630       | 60,0 | 761.677.717     | 100,0 | 761.677.717        | 100,0 |
| Comercial (82 C)  | Iluminación fluorescente                               | m <sup>2</sup> | 441.224.086    | 60,0 | 571.258.287       | 75,0 | 609.342.173     | 80,0  | 418.922.744        | 55,0  |
| Comercial         | Iluminación incandescente                              | m <sup>2</sup> | 275.765.054    | 37,5 | 114.251.657       | 15,0 | 0               | 0,0   | 114.251.657        | 15,0  |
| Comercial (83 C)  | Iluminación LED  | m <sup>2</sup> | 18.384.337     | 2,5  | 76.167.772        | 10,0 | 152.335.543     | 20,0  | 228.503.315        | 30,0  |
| Comercial (84 C)  | Calentador de agua solar                               | m <sup>2</sup> | 2.206.120      | 0,3  | 228.503.315       | 30,0 | 533.174.402     | 70,0  | 674.084.779        | 88,5  |

| Sector (clave)   | Descripción                            | Unidades       | 2010        |      | 2030 (tendencial) |      | 2030 (político) |       | 2030 (tecnológico) |       |
|------------------|--|----------------|-------------|------|-------------------|------|-----------------|-------|--------------------|-------|
|                  |  |                | Cantidad    | en % | Cantidad          | en % | Cantidad        | en %  | Cantidad           | en %  |
| Comercial (85 C) | Calentador de agua gas de condensación | m <sup>2</sup> | 0           | 0,0  | 228.503.315       | 30,0 | 190.419.429     | 25,0  | 76.167.772         | 10,0  |
| Comercial        | Calentador de agua gas convencional    | m <sup>2</sup> | 250.026.982 | 34,0 | 0                 | 0,0  | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Comercial        | Calentador de agua GLP                 | m <sup>2</sup> | 343.419.414 | 46,7 | 228.503.315       | 30,0 | 15.233.554      | 2,0   | 0                  | 0,0   |
| Comercial (86 C) | Calentador de agua biomasa             | m <sup>2</sup> | 0           | 0,0  | 0                 | 0,0  | 22.850.331      | 3,0   | 11.425.166         | 1,5   |
| Comercial        | Calentador de agua otros combustibles  | m <sup>2</sup> | 139.720.961 | 19,0 | 76.167.772        | 10,0 | 0               | 0,0   | 0                  | 0,0   |
| Comercial (87 C) | Equipos eléctricos eficientes          | m <sup>2</sup> | 0           | 0,0  | 380.838.858       | 50,0 | 761.677.717     | 100,0 | 761.677.717        | 100,0 |

### > Versiones de curvas: coste social y privado

Un agente privado realiza una inversión en función de sus preferencias personales y de la rentabilidad esperada. Si este cálculo le sale desfavorable, no realizará el proyecto. No obstante, desde un punto de vista social, puede que la inversión sea deseable. Por eso, es preciso distinguir las dos perspectivas, la privada y la pública. En nuestro cálculo de curvas de coste marginal de ahorro energético hacemos esta distinción<sup>8</sup>. Construimos dos curvas para cada uno de los escenarios descritos anteriormente.

La curva de coste privado intenta representar las figuras y cálculos que haría un inversor privado (el propietario de una vivienda, un empresario, etc.). Consecuentemente, para el cálculo de esta curva utilizamos los precios de las energías incluyendo los impuestos existentes. Además, utilizamos los siguientes tipos de interés: transporte privado 20%; sector residencial 30% y resto de sectores 9%.

Para la curva de coste público usamos un tipo de interés del 9% en todos los sectores. Los precios de las energías no incluyen ningún tipo de impuestos. Calcular los dos tipos de curvas para cada uno de los tres escenarios tiene mucho sentido. Ofrece información adicional sobre quién realizaría una inversión de ahorro energético y quién no. Muchas veces hay intereses e incentivos divergentes entre la sociedad. Entonces es preciso saber si hay diferencias entre las dos curvas. Si, por ejemplo, una tecnología es coste-efectiva desde un punto de vista social, pero el inversor privado considera el mismo proyecto demasiado caro, el estado podría intervenir e implementar una regulación (señales de precio, estándares, etc.) para alinear los intereses sociales con los intereses privados. La comparación de las dos curvas (coste público y privado) es especialmente interesante desde el punto de vista regulatorio porque da información sobre donde tiene sentido y donde hay necesidad de regular.

<sup>8</sup> Turner et al. (2010, p.11) comentan la importancia del coste de capital. "Las distintas percepciones o exigencias a la rentabilidad de una inversión afectan en gran medida la decisión de una inversión. Además, las diferencias en la rentabilidad exigida pueden explicar por qué alguna inversiones no se realizan cuando son beneficiosas desde un punto de vista social".



[ 05 ]



# Potenciales y costes de reducción de la demanda de energía en España

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el informe para seis casos de estudio que combinan los tres escenarios (tendencial, tecnológico y político) con las dos aproximaciones a la evaluación del coste de las medidas (público y privado). Cada figura recoge los costes marginales y el potencial de reducción de la demanda de energía de las distintas medidas que se identifican con un número y una letra. El número permite la consulta rápida en el Cuadro 10 (al final de este capítulo) y la letra indica el sector al que pertenece la medida (según el Cuadro 3). El cuadro 10 relaciona los sectores y las letras. En los Cuadros 4-9 se suministra la información detallada de costes y potenciales de cada medida en los distintos escenarios.

**Cuadro 3. Identificación de sectores en las Figuras 5-10**

| Sector      | Letra |
|-------------|-------|
| Eléctrico   | P     |
| Residencial | R     |
| Industrial  | I     |
| Transporte  | T     |
| Comercial   | C     |

## 5.1

### Escenario 2010-2030, el escenario tendencial

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. Como se indicó anteriormente, es un escenario que debe utilizarse como base y sobre el que los dos escenarios posteriores mostrarán reducciones adicionales.

Los resultados muestran que la demanda energética final en 2030 puede ser un 2% inferior a la de 2010 porque, a pesar del crecimiento en algunos de los factores explicativos del consumo energético (edificación, transporte, etc.) que se muestran en el Cuadro 2, 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 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

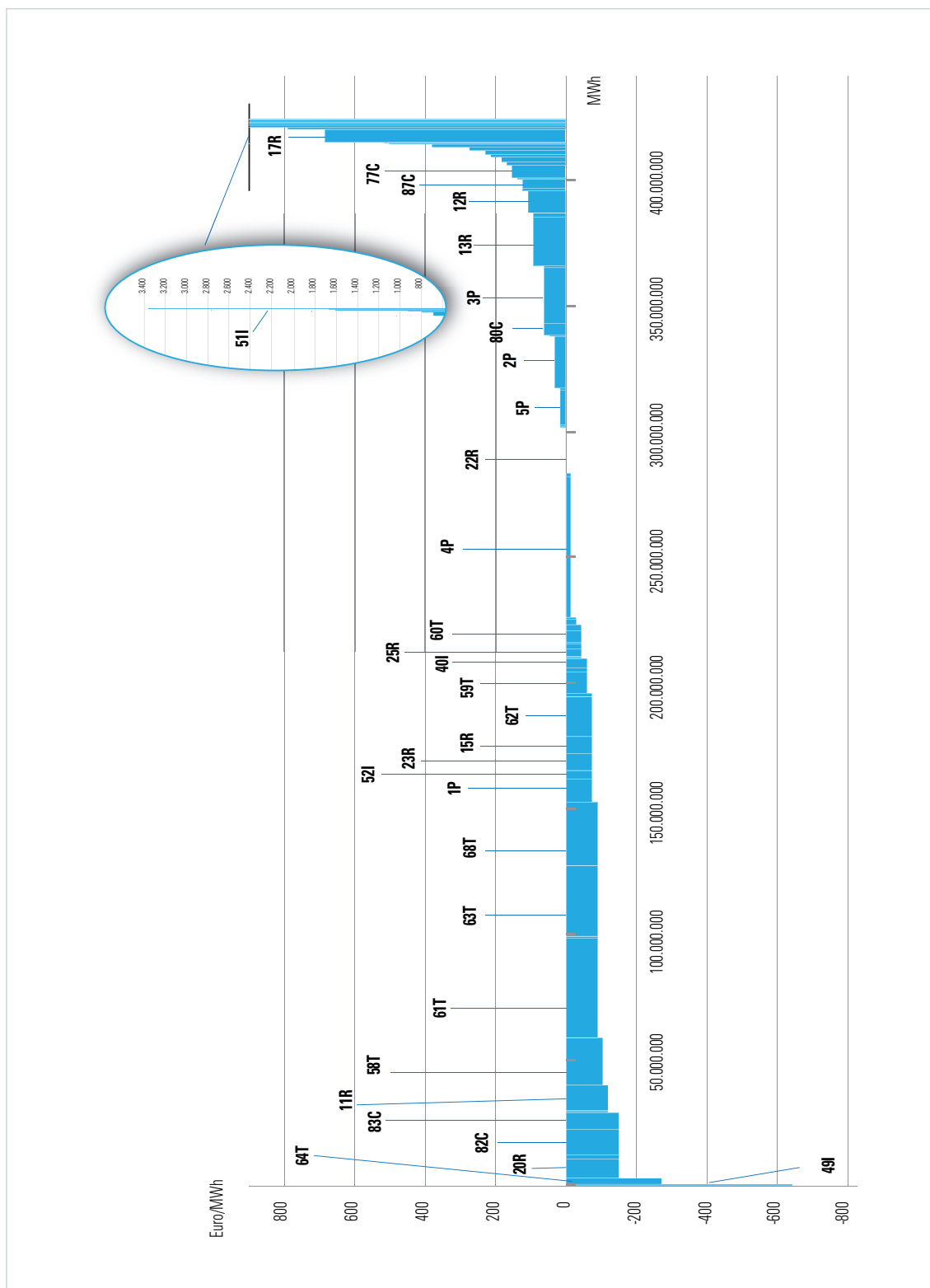


19% de ahorro con respecto a la situación sin ahorro) puede alcanzarse a coste negativo o nulo. Y entre un 81% y un 84% (dependiendo de si es coste público o privado) sería rentable con costes por debajo de 50€/MWh (que a su vez es inferior al precio considerado para el gas natural). Por ello, de compensar 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. En el caso privado 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. De hecho, en términos generales hay poca diferencia en el coste de las medidas entre el caso privado y público: la mayor tasa de descuento es compensada con mayores precios de los combustibles, que a su vez permiten mayores ahorros. 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. Dado su elevado coste, cabe preguntarse por el interés de aplicar 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<sup>1</sup>.

En relación a las diferencias entre el coste privado y público, se observa que se reduce el coste de la mayoría de las medidas, menos en el sector residencial. Esto se debe a la inclusión de los impuestos sobre productos energéticos, aumentando el precio neto por el uso de la electricidad, gasolina etc. Como resultado, la misma cantidad de energía ahorrada representa más ahorro monetario. No obstante, como el sector residencial tiene también una tasa de descuento elevada, hay otro efecto que actúa de forma opuesta. En el caso de este sector, el efecto de la tasa de descuento más elevada domina el efecto de los precios más elevados (porque incluyen impuestos). Solamente hay dos excepciones en el sector residencial: curiosamente, las dos calderas más eficientes para el sector residencial no siguen esta dinámica. Esto se debe a su coste de capital relativamente bajo, con lo cual el efecto de una tasa de descuento alta no se nota tanto. En el transporte privado, donde también aplicamos una tasa de descuento elevada, sucede lo mismo, aunque en este caso la tasa de descuento utilizada es menor y por tanto compensa menos el efecto del mayor ahorro monetario, por lo que el coste en €/MWh ahorrado es más bajo en el escenario privado que en el público. Las Figuras 5 y 6 muestran las curvas de costes marginales de reducción para este escenario bajo las perspectivas pública y privada, y los cuadros correspondientes detallan los costes y potenciales de reducción por medida, ordenados tanto por coste como por potencial de reducción.

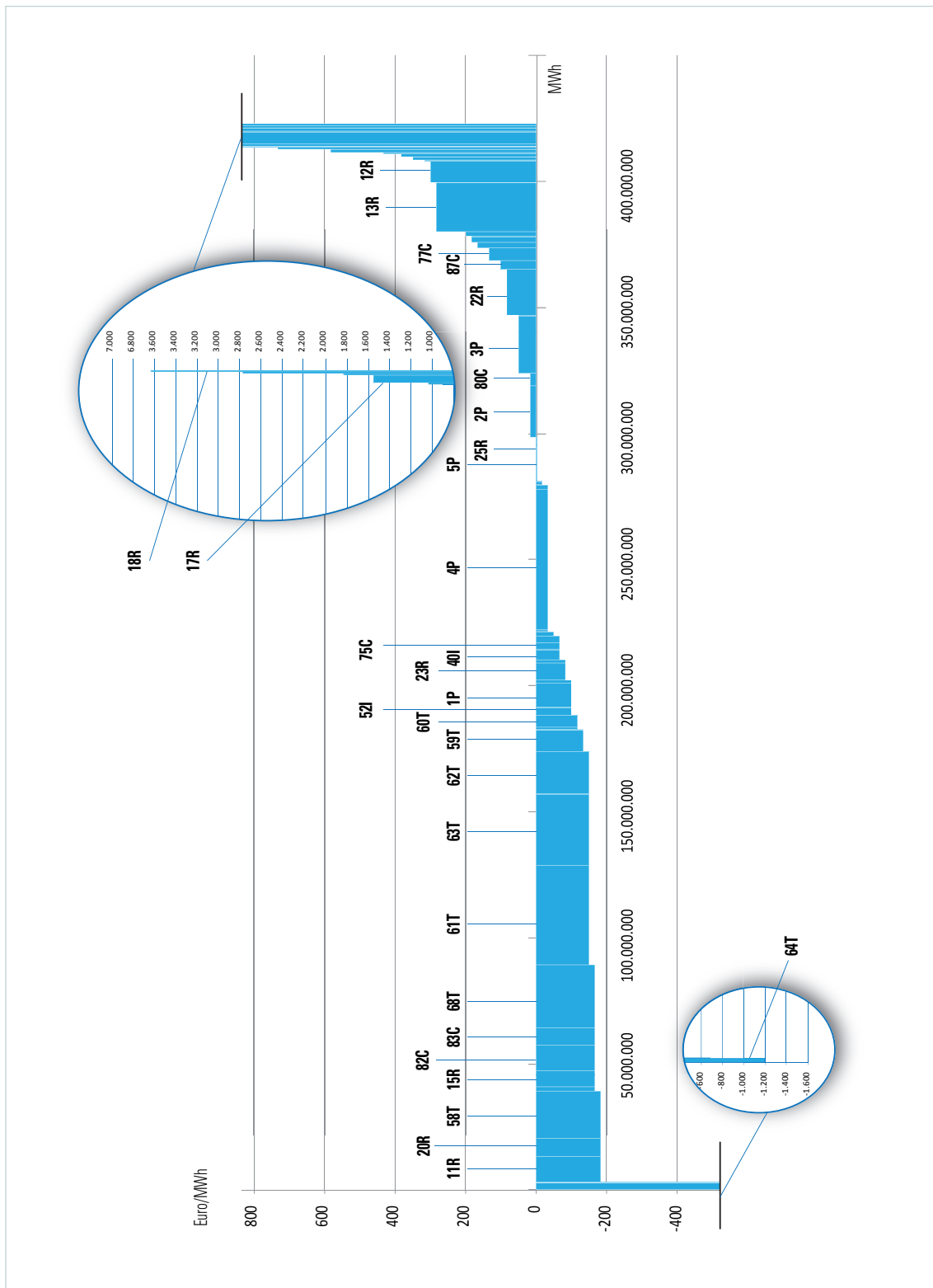
<sup>1</sup> En el caso de la bomba geotérmica y del aislamiento el alto coste se debe fundamentalmente a la elevada inversión necesaria. En el caso de algunos electrodomésticos la razón es más bien su pequeña reducción respecto a la situación de referencia.

**Figura 5. Potencial y costes de reducción 2010–2030 (tendencial), perspectiva pública**



Nota: El cuadro 3 relaciona las letras de las claves que se presentan en esta figura con los distintos sectores. Los números de las claves permiten identificar las medidas que se recogen en el cuadro 10. Finalmente, el cuadro 4 suministra la información detallada sobre costes y potenciales de cada medida en este escenario, introduciendo entre paréntesis la clave si la medida aparece señalada en la figura. Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Potencial y costes de reducción 2010–2030 (tendencial), perspectiva privada



Nota: El cuadro 3 relaciona las letras de las claves que se presentan en esta figura con los distintos sectores. Los números de las claves permiten identificar las medidas que se recogen en el cuadro 10. Finalmente, el cuadro 5 suministra la información detallada sobre costes  
Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4. Potencial y costes de reducción 2010–2030 (tendencial), perspectiva pública**

| Ordenado por coste (de menor a mayor) |  |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |   |               |                 |
|---------------------------------------|--|---------------|-----------------|--|---|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción                              | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción                                     | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Ind. - acero (49 I)                   | Fundición Near net shape strip BOF       | -666,8        | 28.192          | Eléctrico (4 P)  | Eólica onshore                                  | -14,0         | 55.666.478      |
| Ind. - acero                          | Fundición Near net shape strip EAF       | -329,7        | 282.286         | Transporte (61 T)                                      | Coche híbrido no enchufable                     | -88,3         | 39.307.702      |
| Transporte (64 T)                     | Camión de biodiesel                      | -274,1        | 2.903.863       | Transporte (63 T)                                      | Camión diesel Euro V                            | -87,1         | 28.216.189      |
| Residencial (20 R)                    | Iluminación fluorescente                 | -149,6        | 7.227.208       | Transporte (68 T)                                      | Tren de pasajeros eficiente                     | -80,8         | 25.150.939      |
| Residencial                           | Iluminación LED                          | -148,3        | 1.788.609       | Eléctrico (3 P)  | Solar termoeléctrica                            | 65,4          | 22.428.263      |
| Comercial (82 C)                      | Iluminación fluorescente                 | -141,1        | 10.051.084      | Eléctrico (2 P)  | Solar FV  | 33,4          | 20.611.305      |
| Comercial (83 C)                      | Iluminación LED                          | -141,0        | 6.699.616       | Residencial (13 R)                                     | Bomba de calor avanzada                         | 88,0          | 19.377.684      |
| Ind. - amoníaco                       | Recuperación de hidrógeno                | -123,8        | 373.894         | Transporte (58 T)                                      | Coche diesel más eficiente                      | -107,0        | 18.616.582      |
| Ind. - aluminio                       | Mejora de procesos                       | -123,1        | 155.655         | Residencial (22 R)                                     | Calentador de agua solar                        | 0,5           | 18.179.823      |
| Ind. - amoníaco                       | Gestión de la energía                    | -117,3        | 213.120         | Transporte (62 T)                                      | Coche híbrido enchufable                        | -69,6         | 16.212.793      |
| Residencial (11 R)                    | Caldera de gas de condensación           | -115,1        | 10.180.685      | Eléctrico (5 P)  | Eólica offshore                                 | 13,2          | 13.685.604      |
| Ind. - amoníaco                       | Síntesis de baja presión                 | -109,9        | 214.339         | Residencial (11 R)                                     | Caldera de gas de condensación                  | -115,1        | 10.180.685      |
| Transporte (58 T)                     | Coche diesel más eficiente               | -107,0        | 18.616.582      | Comercial (82 C)                                       | Iluminación fluorescente                        | -141,1        | 10.051.084      |
| Ind. - acero                          | Gestión de energía EAF                   | -106,3        | 291.191         | Eléctrico (1 P)  | Ciclo combinado de gas - eficiencia alta        | -79,6         | 9.193.552       |
| Transporte (61 T)                     | Coche híbrido no enchufable              | -88,3         | 39.307.702      | Residencial (12 R)                                     | Bomba de calor                                  | 102,0         | 8.595.117       |
| Transporte                            | Transporte de mercancías por ferrocarril | -88,3         | 728.976         | Transporte (59 T)                                      | Coche eléctrico                                 | -64,3         | 8.416.194       |
| Transporte (63 T)                     | Camión diesel Euro V                     | -87,1         | 28.216.189      | Residencial (20 R)                                     | Iluminación fluorescente                        | -149,6        | 7.227.208       |
| Transporte (68 T)                     | Tren de pasajeros eficiente              | -80,8         | 25.150.939      | Residencial (23 R)                                     | Calentador de agua gas condensación             | -74,9         | 6.793.439       |
| Eléctrico (1 P)                       | Ciclo combinado de gas - eficiencia alta | -79,6         | 9.193.552       | Comercial (83 C)                                       | Iluminación LED                                 | -141,0        | 6.699.616       |
| Ind. - refinería (52 I)               | Gestión de procesos y de la energía      | -76,7         | 3.047.635       | Residencial (15 R)                                     | Caldera de gas de baja temperatura              | -70,0         | 6.364.931       |
| Residencial (23 R)                    | Calentador de agua gas condensación      | -74,9         | 6.793.439       | Comercial (77 C)                                       | Bomba de calor eficiente                        | 157,7         | 5.009.030       |
| Transporte                            | Autobús híbrido                          | -72,2         | 273.203         | Comercial (80 C)                                       | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión) | 55,7          | 4.740.849       |

| Ordenado por coste (de menor a mayor) |   |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |  |               |                 |
|---------------------------------------|---|---------------|-----------------|--|--|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción                             | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Residencial (15 R)                    | Caldera de gas de baja temperatura      | -70,0         | 6.364.931       | Residencial (17 R)                                     | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 675,3         | 4.730.373       |
| Transporte (62 T)                     | Coche híbrido enchufable                | -69,6         | 16.212.793      | Transporte (60 T)                                      | Coche de gasolina más eficiente                              | -42,7         | 4.591.534       |
| Comercial                             | Sistemas de gestión de la climatización | -68,5         | 1.277.700       | Ind. - cemento (40 I)                                  | Control de procesos y automatización                         | -52,9         | 3.718.003       |
| Transporte (59 T)                     | Coche eléctrico                         | -64,3         | 8.416.194       | Comercial (87 C)                                       | Equipos eléctricos eficientes                                | 130,5         | 3.570.449       |
| Comercial                             | Caldera de gas de baja temperatura      | -54,1         | 1.490.256       | Ind. - refinería (52 I)                                | Gestión de procesos y de la energía                          | -76,7         | 3.047.635       |
| Ind. - cemento (40 I)                 | Control de procesos y automatización    | -52,9         | 3.718.003       | Transporte (64 T)                                      | Camión de biodiesel  | -274,1        | 2.903.863       |
| Transporte                            | Autobús Euro V                          | -49,7         | 687.209         | Residencial (25 R)                                     | Frigoríficos eficientes                                      | -47,2         | 2.818.108       |
| Transporte                            | Autobús eléctrico                       | -49,3         | 218.577         | Comercial  | Caldera de gas de condensación                               | -38,7         | 2.419.942       |
| Residencial (25 R)                    | Frigoríficos eficientes                 | -47,2         | 2.818.108       | Ind. - cemento   | Mantenimiento preventivo                                     | -45,1         | 2.334.763       |
| Ind. - cemento                        | Mantenimiento preventivo                | -45,1         | 2.334.763       | Comercial  | Bomba de calor   | 187,1         | 2.131.094       |
| Ind. - petroquímica                   | Mejora de procesos                      | -44,1         | 429.016         | Ind. - cemento   | Precalcinadores  | -34,0         | 2.037.046       |
| Ind. - acero                          | Gestión de energía BOF                  | -42,8         | 25.373          | Residencial  | Sistemas de gestión de la climatización                      | 88,7          | 1.960.801       |
| Transporte (60 T)                     | Coche de gasolina más eficiente         | -42,7         | 4.591.534       | Residencial  | Iluminación LED  | -148,3        | 1.788.609       |
| Comercial                             | Caldera de gas de condensación          | -38,7         | 2.419.942       | Comercial  | Calentador de agua solar                                     | 232,7         | 1.683.922       |
| Ind. - cemento                        | Precalcinadores                         | -34,0         | 2.037.046       | Comercial  | Caldera de gas de baja temperatura                           | -54,1         | 1.490.256       |
| Comercial                             | Caldera de biomasa                      | -21,8         | 163.665         | Eléctrico  | Hidro (fluyente)   | -11,9         | 1.444.830       |
| Ind. - acero                          | Recuperación de gases - BOF             | -20,8         | 58.043          | Residencial  | Lavadoras eficientes   | 267,5         | 1.305.687       |
| Ind. - cemento                        | Enfriado de rejilla                     | -20,6         | 552.837         | Comercial  | Sistemas de gestión de la climatización                      | -68,5         | 1.277.700       |
| Eléctrico (4 P)                       | Eólica onshore                          | -14,0         | 55.666.478      | Residencial  | Lavavajillas eficientes                                      | 163,5         | 1.243.512       |
| Ind. - cerámica                       | Recuperación de calor                   | -12,8         | 92.574          | Residencial  | Bomba de calor geotérmica                                    | 786,7         | 1.135.275       |
| Eléctrico                             | Hidro (fluyente)                        | -11,9         | 1.444.830       | Residencial  | Cocina de inducción de alta eficiencia                       | 382,5         | 1.040.567       |
| Ind. - cerámica                       | Mejora del flujo de aire                | 0,4           | 187.894         | Residencial  | Microcogeneración  | 118,8         | 965.153         |
| Residencial (22 R)                    | Calentador de agua solar                | 0,5           | 18.179.823      | Residencial  | Calefacción urbana   | 1160,4        | 965.153         |
| Comercial                             | Calentador de agua gas de condensación  | 12,5          | 514.523         | Residencial  | Doble acristalamiento  | 1664,2        | 794.361         |

| Ordenado por coste (de menor a mayor) |   |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |  |               |                 |
|---------------------------------------|---|---------------|-----------------|--|--|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción                                     | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción                                | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Ind. - cerámica                       | Cambio de túnel a rodillos                      | 12,7          | 399.468         | Ind. - ladrillos                                       | Upgrade de Hoffman a Túnel mejorado        | 16,1          | 751.966         |
| Eléctrico (5 P)                       | Eólica offshore                                 | 13,2          | 13.685.604      | Transporte   | Transporte de mercancías por ferrocarril   | -88,3         | 728.976         |
| Ind. - ladrillos                      | Upgrade de Hoffman a Túnel mejorado             | 16,1          | 751.966         | Residencial  | Caldera de biomasa                         | 510,9         | 718.007         |
| Ind. - cerámica                       | Precalentamiento con recuperación de gases      | 29,8          | 214.766         | Transporte   | Autobús Euro V                             | -49,7         | 687.209         |
| Eléctrico (2 P)                       | Solar FV  | 33,4          | 20.611.305      | Ind. - cemento   | Enfriado de rejilla                        | -20,6         | 552.837         |
| Ind. - ladrillos                      | Mejora del flujo y presión - Túnel              | 53,9          | 75.056          | Residencial  | Hornos eficientes                          | 132,4         | 523.932         |
| Comercial (80 C)                      | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión) | 55,7          | 4.740.849       | Comercial  | Calentador de agua gas de condensación     | 12,5          | 514.523         |
| Eléctrico (3 P)                       | Solar termoeléctrica                            | 65,4          | 22.428.263      | Comercial  | Bomba de calor geotérmica                  | 930,4         | 513.317         |
| Eléctrico                             | Mareas  | 69,9          | 456.187         | Comercial  | Microcogeneración                          | 218,1         | 471.379         |
| Residencial (13 R)                    | Bomba de calor avanzada                         | 88,0          | 19.377.684      | Comercial  | Calefacción urbana                         | 1600,0        | 471.379         |
| Residencial                           | Sistemas de gestión de la climatización         | 88,7          | 1.960.801       | Eléctrico  | Mareas                                     | 69,9          | 456.187         |
| Residencial (12 R)                    | Bomba de calor                                  | 102,0         | 8.595.117       | Ind. - petroquímica                                    | Mejora de procesos                         | -44,1         | 429.016         |
| Residencial                           | Microcogeneración                               | 118,8         | 965.153         | Ind. - cerámica  | Cambio de túnel a rodillos                 | 12,7          | 399.468         |
| Comercial (87 C)                      | Equipos eléctricos eficientes                   | 130,5         | 3.570.449       | Comercial  | Doble acristalamiento                      | 498,8         | 384.461         |
| Residencial                           | Hornos eficientes                               | 132,4         | 523.932         | Ind. - amoníaco  | Recuperación de hidrógeno                  | -123,8        | 373.894         |
| Ind. - ladrillos                      | Recuperación de gases - Túnel                   | 153,2         | 57.269          | Ind. - acero   | Gestión de energía EAF                     | -106,3        | 291.191         |
| Comercial (77 C)                      | Bomba de calor eficiente                        | 157,7         | 5.009.030       | Ind. - acero   | Fundición Near net shape strip EAF         | -329,7        | 282.286         |
| Ind. - ladrillos                      | Secado continuo - Hoffman                       | 162,5         | 134.135         | Transporte   | Autobús híbrido                            | -72,2         | 273.203         |
| Residencial                           | Lavavajillas eficientes                         | 163,5         | 1.243.512       | Transporte   | Autobús eléctrico                          | -49,3         | 218.577         |
| Comercial                             | Bomba de calor                                  | 187,1         | 2.131.094       | Ind. - cerámica  | Precalentamiento con recuperación de gases | 29,8          | 214.766         |
| Comercial                             | Microcogeneración                               | 218,1         | 471.379         | Ind. - amoníaco  | Síntesis de baja presión                   | -109,9        | 214.339         |
| Ind. - cerámica                       | Aislamiento de hornos                           | 221,4         | 170.473         | Ind. - amoníaco  | Gestión de la energía                      | -117,3        | 213.120         |
| Comercial                             | Calentador de agua solar                        | 232,7         | 1.683.922       | Ind. - cerámica  | Mejora del flujo de aire                   | 0,4           | 187.894         |
| Residencial                           | Lavadoras eficientes                            | 267,5         | 1.305.687       | Ind. - cerámica  | Aislamiento de hornos                      | 221,4         | 170.473         |

| Ordenado por coste (de menor a mayor) |  |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |                                    |               |                 |
|---------------------------------------|--|---------------|-----------------|--|------------------------------------|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción                        | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Residencial                           | Cocina de inducción de alta eficiencia                       | 382,5         | 1.040.567       | Comercial  | Caldera de biomasa                 | -21,8         | 163.665         |
| Ind. - ladrillos                      | Aislamiento del horno - Túnel                                | 464,7         | 68.939          | Ind. - aluminio  | Mejora de procesos                 | -123,1        | 155.655         |
| Comercial                             | Doble acristalamiento  | 498,8         | 384.461         | Ind. - ladrillos                                       | Secado continuo - Hoffman          | 162,5         | 134.135         |
| Residencial                           | Caldera de biomasa   | 510,9         | 718.007         | Ind. - cerámica  | Recuperación de calor              | -12,8         | 92.574          |
| Residencial (17 R)                    | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 675,3         | 4.730.373       | Ind. - ladrillos                                       | Mejora del flujo y presión - Túnel | 53,9          | 75.056          |
| Residencial                           | Bomba de calor geotérmica                                    | 786,7         | 1.135.275       | Ind. - ladrillos                                       | Aislamiento del horno - Túnel      | 464,7         | 68.939          |
| Comercial                             | Bomba de calor geotérmica                                    | 930,4         | 513.317         | Ind. - acero   | Recuperación de gases - BOF        | -20,8         | 58.043          |
| Residencial                           | Calefacción urbana   | 1160,4        | 965.153         | Ind. - ladrillos                                       | Recuperación de gases - Túnel      | 153,2         | 57.269          |
| Comercial                             | Calefacción urbana   | 1600,0        | 471.379         | Ind. - acero (51 I)                                    | Sustitución de BOF por EAF         | 3354,9        | 46.767          |
| Residencial                           | Doble acristalamiento  | 1664,2        | 794.361         | Ind. - acero (49 I)                                    | Fundición Near net shape strip BOF | -666,8        | 28.192          |
| Ind. - acero (51 I)                   | Sustitución de BOF por EAF                                   | 3354,9        | 46.767          | Ind. - acero   | Gestión de energía BOF             | -42,8         | 25.373          |

**Cuadro 5. Potencial y costes de reducción 2010–2030 (tendencial), perspectiva privada**

| Ordenado por coste (de menor a mayor) |  |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |   |               |                 |
|---------------------------------------|--|---------------|-----------------|--|---|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción                              | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción                                     | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Transporte (64 T)                     | Camión de biodiesel                      | -1189,5       | 2.903.863       | Eléctrico (4 P)  | Eólica onshore                                  | -26,1         | 55.666.478      |
| Ind.- acero                           | Fundición Near net shape strip BOF       | -686,5        | 28.192          | Transporte (61 T)                                      | Coche híbrido no enchufable                     | -155,2        | 39.307.702      |
| Ind.- acero                           | Fundición Near net shape strip EAF       | -352,7        | 282.286         | Transporte (63 T)                                      | Camión diesel Euro V                            | -154,6        | 28.216.189      |
| Residencial (11 R)                    | Caldera de gas de condensación           | -179,4        | 10.180.685      | Transporte (68 T)                                      | Tren de pasajeros eficiente                     | -166,6        | 25.150.939      |
| Residencial (20 R)                    | Iluminación fluorescente                 | -175,0        | 7.227.208       | Eléctrico (3 P)  | Solar termoeléctrica                            | 53,4          | 22.428.263      |
| Transporte (58 T)                     | Coche diesel más eficiente               | -173,9        | 18.616.582      | Eléctrico (2 P)  | Solar FV  | 21,3          | 20.611.305      |
| Residencial                           | Iluminación LED                          | -168,3        | 1.788.609       | Residencial (13 R)                                     | Bomba de calor avanzada                         | 284,1         | 19.377.684      |
| Residencial (15 R)                    | Caldera de gas de baja temperatura       | -167,6        | 6.364.931       | Transporte (58 T)                                      | Coche diesel más eficiente                      | -173,9        | 18.616.582      |
| Comercial (82 C)                      | Iluminación fluorescente                 | -166,8        | 10.051.084      | Residencial (22 R)                                     | Calentador de agua solar                        | 76,3          | 18.179.823      |
| Comercial (83 C)                      | Iluminación LED                          | -166,7        | 6.699.616       | Transporte (62 T)                                      | Coche híbrido enchufable                        | -145,7        | 16.212.793      |
| Transporte (68 T)                     | Tren de pasajeros eficiente              | -166,6        | 25.150.939      | Eléctrico (5 P)  | Eólica offshore                                 | 1,1           | 13.685.604      |
| Transporte (61 T)                     | Coche híbrido no enchufable              | -155,2        | 39.307.702      | Residencial (11 R)                                     | Caldera de gas de condensación                  | -179,4        | 10.180.685      |
| Transporte (63 T)                     | Camión diesel Euro V                     | -154,6        | 28.216.189      | Comercial (82 C)                                       | Iluminación fluorescente                        | -166,8        | 10.051.084      |
| Ind. - amoníaco                       | Recuperación de hidrógeno                | -146,9        | 373.894         | Eléctrico (1 P)  | Ciclo combinado de gas - eficiencia alta        | -99,2         | 9.193.552       |
| Ind. - aluminio                       | Mejora de procesos                       | -146,0        | 155.655         | Residencial (12 R)                                     | Bomba de calor                                  | 304,4         | 8.595.117       |
| Transporte (62 T)                     | Coche híbrido enchufable                 | -145,7        | 16.212.793      | Transporte (59 T)                                      | Coche eléctrico                                 | -137,7        | 8.416.194       |
| Ind. - amoníaco                       | Gestión de la energía                    | -139,1        | 213.120         | Residencial (20 R)                                     | Iluminación fluorescente                        | -175,0        | 7.227.208       |
| Transporte (59 T)                     | Coche eléctrico                          | -137,7        | 8.416.194       | Residencial (23 R)                                     | Calentador de agua gas condensación             | -89,2         | 6.793.439       |
| Ind. - amoníaco                       | Síntesis de baja presión                 | -130,5        | 214.339         | Comercial (83 C)                                       | Iluminación LED                                 | -166,7        | 6.699.616       |
| Ind.- acero                           | Gestión de energía EAF                   | -128,3        | 291.191         | Residencial (15 R)                                     | Caldera de gas de baja temperatura              | -167,6        | 6.364.931       |
| Transporte                            | Transporte de mercancías por ferrocarril | -114,6        | 728.976         | Comercial (77 C)                                       | Bomba de calor eficiente                        | 131,4         | 5.009.030       |
| Transporte (60 T)                     | Coche de gasolina más eficiente          | -112,2        | 4.591.534       | Comercial (80 C)                                       | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión) | 22,2          | 4.740.849       |



| Ordenado por coste (de menor a mayor) |  |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |  |               |                 |
|---------------------------------------|--|---------------|-----------------|--|--|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción                              | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Transporte                            | Autobús eléctrico                        | -101,6        | 218.577         | Residencial (17 R)                                     | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 1537,8        | 4.685.587       |
| Ind. - refinera (52 I)                | Gestión de procesos y de la energía      | -100,8        | 3.047.635       | Transporte (60 T)                                      | Coche de gasolina más eficiente                              | -112,2        | 4.591.534       |
| Transporte                            | Autobús híbrido                          | -99,6         | 273.203         | Ind. - cemento (40 I)                                  | Control de procesos y automatización                         | -72,1         | 3.718.003       |
| Eléctrico (1 P)                       | Ciclo combinado de gas - eficiencia alta | -99,2         | 9.193.552       | Comercial (87 C)                                       | Equipos eléctricos eficientes                                | 104,7         | 3.570.449       |
| Comercial                             | Sistemas de gestión de la climatización  | -94,5         | 1.277.700       | Ind. - refinera (52 I)                                 | Gestión de procesos y de la energía                          | -100,8        | 3.047.635       |
| Residencial (23 R)                    | Calentador de agua gas condensación      | -89,2         | 6.793.439       | Transporte (64 T)                                      | Camión de biodiesel  | -1189,5       | 2.903.863       |
| Comercial                             | Caldera de gas de baja temperatura       | -82,5         | 1.490.256       | Residencial (25 R)                                     | Frigoríficos eficientes                                      | 8,1           | 2.818.108       |
| Ind. - cemento (40 I)                 | Control de procesos y automatización     | -72,1         | 3.718.003       | Comercial (75 C)                                       | Caldera de gas de condensación                               | -66,8         | 2.419.942       |
| Ind. - petroquímica                   | Mejora de procesos                       | -67,7         | 429.016         | Ind. - cemento   | Mantenimiento preventivo                                     | -61,5         | 2.334.763       |
| Comercial                             | Caldera de biomasa                       | -66,9         | 163.665         | Comercial  | Bomba de calor   | 160,6         | 2.131.094       |
| Comercial (75 C)                      | Caldera de gas de condensación           | -66,8         | 2.419.942       | Ind. - cemento   | Precalcinadores  | -47,5         | 2.037.046       |
| Ind. - acero                          | Gestión de energía BOF                   | -62,5         | 25.373          | Residencial  | Sistemas de gestión de la climatización                      | 186,8         | 1.960.801       |
| Ind. - cemento                        | Mantenimiento preventivo                 | -61,5         | 2.334.763       | Residencial  | Iluminación LED  | -168,3        | 1.788.609       |
| Ind. - cemento                        | Precalcinadores                          | -47,5         | 2.037.046       | Comercial  | Calentador de agua solar                                     | 206,5         | 1.683.922       |
| Ind. - acero                          | Recuperación de gases - BOF              | -40,2         | 58.043          | Comercial  | Caldera de gas de baja temperatura                           | -82,5         | 1.490.256       |
| Ind. - cerámica                       | Recuperación de calor                    | -32,3         | 92.574          | Eléctrico  | Hidro (fluyente)   | -23,9         | 1.444.830       |
| Ind. - cemento                        | Enfriado de rejilla                      | -29,4         | 552.837         | Residencial  | Lavadoras eficientes   | 579,2         | 1.305.687       |
| Eléctrico (4 P)                       | Eólica onshore                           | -26,1         | 55.666.478      | Comercial  | Sistemas de gestión de la climatización                      | -94,5         | 1.277.700       |
| Eléctrico                             | Hidro (fluyente)                         | -23,9         | 1.444.830       | Residencial  | Lavavajillas eficientes                                      | 390,5         | 1.243.512       |
| Ind. - cerámica                       | Mejora del flujo de aire                 | -18,0         | 187.894         | Residencial  | Bomba de calor geotérmica                                    | 1821,3        | 1.135.275       |
| Comercial                             | Calentador de agua gas de condensación   | -17,7         | 514.523         | Residencial  | Cocina de inducción de alta eficiencia                       | 726,4         | 1.040.567       |
| Transporte                            | Autobús Euro V                           | -16,9         | 687.209         | Residencial  | Microgeneración  | 344,7         | 965.153         |
| Ind. - cerámica                       | Cambio de túnel a rodillos               | -6,8          | 399.468         | Residencial  | Calefacción urbana   | 2778,7        | 965.153         |
| Ind. - ladrillos                      | Upgrade de Hoffman a Túnel mejorado      | -3,3          | 751.966         | Residencial (18 R)                                     | Doble acristalamiento  | 3641,8        | 794.361         |
| Eléctrico (5 P)                       | Eólica offshore                          | 1,1           | 13.685.604      | Ind. - ladrillos                                       | Upgrade de Hoffman a Túnel mejorado                          | -3,3          | 751.966         |

| Ordenado por coste (de menor a mayor) |   |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |   |               |                 |
|---------------------------------------|---|---------------|-----------------|--|---|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción                                     | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción                                 | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Residencial (25 R)                    | Frigoríficos eficientes                         | 8,1           | 2.818.108       | Transporte   | Transporte de mercancías por ferrocarril    | -114,6        | 728.976         |
| Ind. - cerámica                       | Pre calentamiento con recuperación de gases     | 8,1           | 214.766         | Residencial  | Caldera de biomasa                          | 1024,3        | 718.007         |
| Eléctrico (2 P)                       | Solar FV  | 21,3          | 20.611.305      | Transporte   | Autobús Euro V                              | -16,9         | 687.209         |
| Comercial (80 C)                      | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión) | 22,2          | 4.740.849       | Ind. - cemento   | Enfriado de rejilla                         | -29,4         | 552.837         |
| Ind. - ladrillos                      | Mejora del flujo y presión - Túnel              | 34,4          | 75.056          | Residencial  | Hornos eficientes                           | 313,5         | 523.932         |
| Eléctrico (3 P)                       | Solar termoeléctrica                            | 53,4          | 22.428.263      | Comercial  | Calentador de agua gas de condensación      | -17,7         | 514.523         |
| Eléctrico                             | Mareas  | 57,8          | 456.187         | Comercial  | Bomba de calor geotérmica                   | 904,0         | 513.317         |
| Residencial (22 R)                    | Calentador de agua solar                        | 76,3          | 18.179.823      | Comercial  | Microcogeneración                           | 189,6         | 471.379         |
| Comercial (87 C)                      | Equipos eléctricos eficientes                   | 104,7         | 3.570.449       | Comercial  | Calefacción urbana                          | 1541,5        | 471.379         |
| Comercial (77 C)                      | Bomba de calor eficiente                        | 131,4         | 5.009.030       | Eléctrico  | Mareas                                      | 57,8          | 456.187         |
| Ind. - ladrillos                      | Recuperación de gases - Túnel                   | 132,7         | 57.269          | Ind. - petroquímica                                    | Mejora de procesos                          | -67,7         | 429.016         |
| Ind. - ladrillos                      | Secado continuo - Hoffman                       | 143,6         | 134.135         | Ind. - cerámica  | Cambio de túnel a rodillos                  | -6,8          | 399.468         |
| Comercial                             | Bomba de calor                                  | 160,6         | 2.131.094       | Comercial  | Doble acristalamiento                       | 439,4         | 384.461         |
| Residencial                           | Sistemas de gestión de la climatización         | 186,8         | 1.960.801       | Ind. - amoníaco  | Recuperación de hidrógeno                   | -146,9        | 373.894         |
| Comercial                             | Microcogeneración                               | 189,6         | 471.379         | Ind. - acero   | Gestión de energía EAF                      | -128,3        | 291.191         |
| Ind. - cerámica                       | Aislamiento de hornos                           | 198,5         | 170.473         | Ind. - acero   | Fundición Near net shape strip EAF          | -352,7        | 282.286         |
| Comercial                             | Calentador de agua solar                        | 206,5         | 1.683.922       | Transporte   | Autobús híbrido                             | -99,6         | 273.203         |
| Residencial (13 R)                    | Bomba de calor avanzada                         | 284,1         | 19.377.684      | Transporte   | Autobús eléctrico                           | -101,6        | 218.577         |
| Residencial (12 R)                    | Bomba de calor                                  | 304,4         | 8.595.117       | Ind. - cerámica  | Pre calentamiento con recuperación de gases | 8,1           | 214.766         |
| Residencial                           | Hornos eficientes                               | 313,5         | 523.932         | Ind. - amoníaco  | Síntesis de baja presión                    | -130,5        | 214.339         |
| Residencial                           | Microcogeneración                               | 344,7         | 965.153         | Ind. - amoníaco  | Gestión de la energía                       | -139,1        | 213.120         |
| Residencial                           | Lavavajillas eficientes                         | 390,5         | 1.243.512       | Ind. - cerámica  | Mejora del flujo de aire                    | -18,0         | 187.894         |
| Comercial                             | Doble acristalamiento                           | 439,4         | 384.461         | Ind. - cerámica  | Aislamiento de hornos                       | 198,5         | 170.473         |
| Ind. - ladrillos                      | Aislamiento del horno - Túnel                   | 443,4         | 68.939          | Comercial  | Caldera de biomasa                          | -66,9         | 163.665         |

| Ordenado por coste (de menor a mayor) |  |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |                                    |               |                 |
|---------------------------------------|--|---------------|-----------------|--|------------------------------------|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción                        | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Residencial                           | Lavadoras eficientes   | 579,2         | 1.305.687       | Ind. - aluminio  | Mejora de procesos                 | -146,0        | 155.655         |
| Residencial                           | Cocina de inducción de alta eficiencia                       | 726,4         | 1.040.567       | Ind. - ladrillos                                       | Secado continuo - Hoffman          | 143,6         | 134.135         |
| Comercial                             | Bomba de calor geotérmica                                    | 904,0         | 513.317         | Ind. - cerámica  | Recuperación de calor              | -32,3         | 92.574          |
| Residencial                           | Caldera de biomasa   | 1024,3        | 718.007         | Ind. - ladrillos                                       | Mejora del flujo y presión - Túnel | 34,4          | 75.056          |
| Residencial (17 R)                    | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 1537,8        | 4.685.587       | Ind. - ladrillos                                       | Aislamiento del horno - Túnel      | 443,4         | 68.939          |
| Comercial                             | Calefacción urbana   | 1541,5        | 471.379         | Ind.- acero  | Recuperación de gases - BOF        | -40,2         | 58.043          |
| Residencial                           | Bomba de calor geotérmica                                    | 1821,3        | 1.135.275       | Ind. - ladrillos                                       | Recuperación de gases - Túnel      | 132,7         | 57.269          |
| Residencial                           | Calefacción urbana   | 2778,7        | 965.153         | Ind. - acero   | Sustitución de BOF por EAF         | 3496,2        | 46.767          |
| Ind. - acero                          | Sustitución de BOF por EAF                                   | 3496,2        | 46.767          | Ind. - acero   | Fundición Near net shape strip BOF | -686,5        | 28.192          |
| Residencial (18 R)                    | Doble acristalamiento  | 3641,8        | 794.361         | Ind. - acero   | Gestión de energía BOF             | -62,5         | 25.373          |

Dentro del sector de generación eléctrica aportan la mayor reducción de consumo energético la eólica y la solar (tanto PV como termo-solar). La medida más coste-eficiente parece ser el ciclo combinado de gas de alta eficiencia, que están sustituyendo fundamentalmente capacidad fósil tradicional (carbón). En el escenario privado, todas las medidas aparecen ligeramente más coste-eficientes, porque la consideración de impuestos de combustibles aumenta el efecto monetario del ahorro.

En la industria gran parte del ahorro energético proviene de mejoras de procesos más o menos concretos y definidos, dependiendo del ramo industrial. En muchos casos se trata de medidas *retrofit* que consiguen reducir el consumo energético mediante la mejora de procesos (recuperaciones de calor y gases, precalentamientos, flujos de aire y presiones en hornos etc). La sustitución de un proceso productivo completo, como por ejemplo un cambio de hornos en el sector de ladrillos y baldosas o el cambio del horno alto al de arco eléctrico en la producción de acero, también aportan ahorros, pero tienen un coste mayor. En el sector de acero los resultados indican que algunas medidas en el proceso de colada del producto son altamente coste-eficientes, aunque la reducción alcanzable con estas medidas es muy pequeña. Se observan pocas diferencias entre el coste público y privado, siendo ligeramente más bajo en el segundo caso, aunque con menor variación que en otros sectores porque no varía la tasa de descuento utilizada.

En el sector transporte gran parte del ahorro energético se consigue a través de avances tecnológicos. Los trenes, coches (tanto de diésel y gasolina como como los eléctricos y híbridos) y camiones serán más eficientes, por lo que se consigue un ahorro energético y monetario (por menor gasto en combustible). Debido al avance tecnológico, todos los cambios de 2010 a 2030 en el sector de transporte consiguen ahorros a coste negativo. Estos costes se reducen aún más en el escenario privado, porque un precio de combustible más alto afecta a la efectividad en costes de las medidas. Las diferencias entre el escenario privado y público en el transporte son especialmente grandes por los elevados impuestos sobre el diésel, gasolina etc.

En el sector comercial destacan las iluminaciones alternativas (fluorescentes y LED), que representan más de la tercera parte de toda la reducción en este sector y son las dos medidas más coste-eficientes. En climatización de edificios se observa otro avance tecnológico favorable porque las calderas de gas de condensación y de temperatura baja sustituirán a las calderas tradicionales, consiguiendo ahorros significativos y a coste negativo. Como ya se ha comentado, las medidas de aislamiento tienen un potencial de ahorro elevado, pero su coste relativo no es muy atractivo por el volumen de inversión necesario, siendo este efecto aún más pronunciado en el escenario privado. En este caso, conviene matizar que el coste considerado es el de una actuación sobre edificación existente que no requiera reformas de por sí. Si la rehabilitación energética se asociara a una reforma en profundidad del edificio, su coste adicional y, por tanto el coste de la medida, podría ser muy inferior.

En el sector residencial ya hemos comentado los resultados más llamativos. La iluminación eficiente presenta la mayor efectividad en términos de coste pero contribuyen menos al ahorro total (aproximadamente la mitad) por el mayor consumo relacionado con la iluminación en el sector comercial. Las calderas de gas de condensación y de baja temperatura representan un avance tecnológico favorable, igual que en el sector comercial. El calentador de agua solar-térmico tiene un potencial más elevado en el sector residencial que en el sector comercial, ya que el consumo de agua es mayor en las residencias que en edificios comerciales. Las medidas de aislamiento también tienen un potencial significativo de ahorro, siendo más coste-eficientes en el ámbito comercial porque, debido a las características climáticas españolas, en este sector se usa más aire acondicionado por lo que se consigue más ahorro en costes con medidas de aislamiento. Este ejemplo permite visualizar bien la peculiaridad de los aislamientos y la interacción entre medidas, porque la eficiencia de las medidas de aislamiento no solamente depende de sus propios grados de ahorro y costes de instalación y operación, sino también de los grados de eficiencia y grados de uso de otras instalaciones como las calefacciones, aire acondicionado, etc. En este sentido, los aislamientos, al ser las medidas inicialmente más caras, sufren más el efecto de las interacciones porque otras alternativas más coste-eficientes son adoptadas antes y reducen consecuentemente su potencial de ahorro y aumentan su coste relativo.

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 adicionales a las existentes. 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.

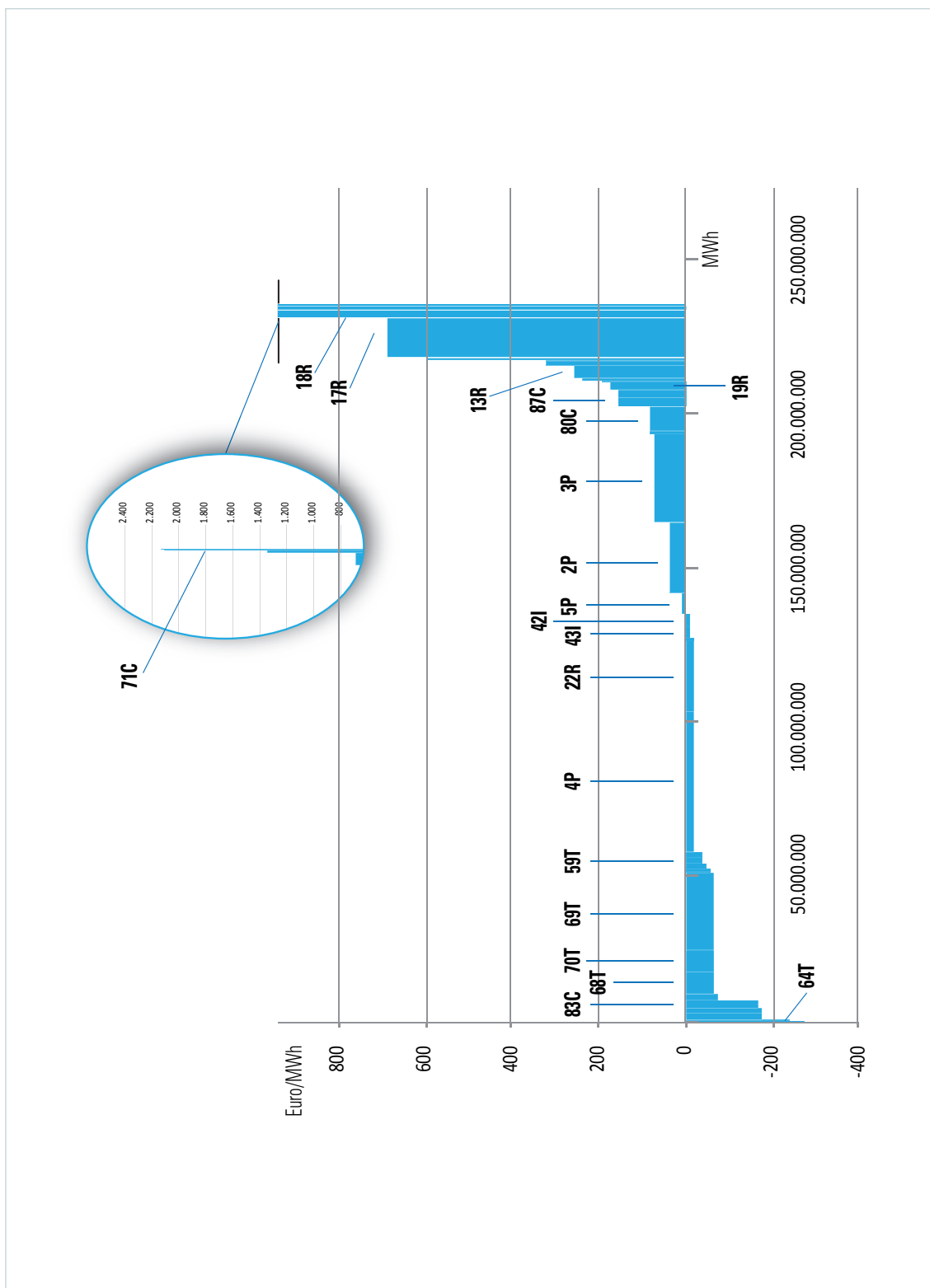
## 5.2

### Escenario 2030 político

El escenario político es el más ambicioso porque se logran reducciones del 35% en 2030 con respecto al consumo energético del escenario tendencial, es decir, 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 está entre el 50% (caso privado) y el 58% (caso público). Las medidas con coste inferior a 50€/MWh están entre el 60% y el 70%, respectivamente. En este escenario ir más allá de este 60 o 70% 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 17.700 millones de Euros. No obstante, si se limitaran las medidas a adoptar a las que presentasen un coste inferior a 250 €/MWh, el coste total sería nulo. Lo precedente está obviamente relacionado al hecho de que algunos potenciales de reducción muy coste-eficientes, como la instalación

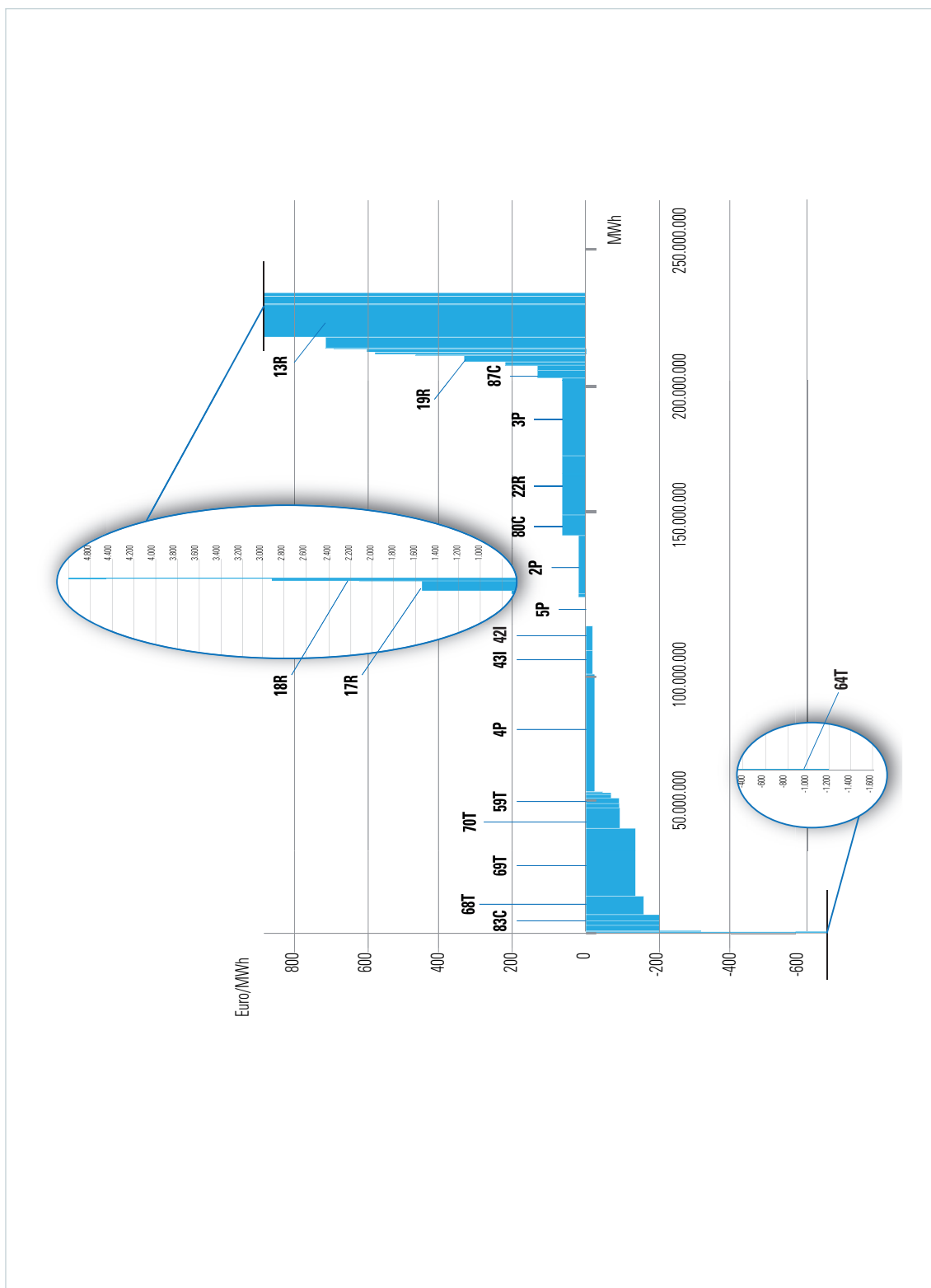
de calderas eficientes de gas, ya fueron agotados en gran medida en el escenario tendencial. Respecto a las disparidades público-privadas, el coste se dobla desde una perspectiva privada, fundamentalmente por el mayor coste de las tecnologías residenciales (como el aislamiento). También el potencial con coste negativo o menor a 50€/MWh es inferior en el caso privado. Las Figuras 7 y 8 muestran la curva de costes marginales de reducción de energía para este escenario. Como se puede observar, las tecnologías más interesantes son los vehículos eficientes, el cambio modal para el transporte de mercancías, o la energía eólica.

**Figura 7. Potencial y costes de reducción 2030 político, perspectiva pública**



Nota: El cuadro 3 relaciona las letras de las claves que se presentan en esta figura con los distintos sectores. Los números de las claves permiten identificar las medidas que se recogen en el cuadro 10. Finalmente, el cuadro 6 suministra la información detallada sobre costes y potenciales de cada medida en este escenario, introduciendo entre paréntesis la clave si la medida aparece señalada en la figura. Fuente: Elaboración propia

**Figura 8. Potencial y costes de reducción 2030 político, perspectiva privada**



Nota: El cuadro 3 relaciona las letras de las claves que se presentan en esta figura con los distintos sectores. Los números de las claves permiten identificar las medidas que se recogen en el cuadro 10. Finalmente, el cuadro 7 suministra la información detallada sobre costes y potenciales de cada medida en este escenario, introduciendo entre paréntesis la clave si la medida aparece señalada en la figura. Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 6. Potencial y costes de reducción 2030 político, perspectiva pública**

| Ordenado por coste (de menor a mayor) |  |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |  |               |                 |
|---------------------------------------|--|---------------|-----------------|--|--|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción                                  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Transporte (64 T)                     | Camión de biodiesel                          | -274,1        | 730.720         | Eléctrico (4 P)  | Eólica onshore   | -23,2         | 44.834.973      |
| Residencial                           | Calentador de agua biomasa                   | -244,8        | 391.737         | Eléctrico (3 P)  | Solar termoeléctrica   | 72,2          | 28.750.548      |
| Comercial                             | Calentador de agua biomasa                   | -237,6        | 40.210          | Transporte (69 T)                                      | Transporte de mercancías por ferrocarril                     | -62,4         | 26.124.986      |
| Residencial                           | Iluminación fluorescente                     | -179,8        | 1.742.693       | Residencial (22 R)                                     | Calentador de agua solar                                     | -20,3         | 23.344.758      |
| Residencial                           | Iluminación LED                              | -178,2        | 1.742.693       | Eléctrico (2 P)  | Solar FV   | 33,7          | 22.548.752      |
| Comercial (83 C)                      | Iluminación LED                              | -169,1        | 2.450.172       | Residencial (17 R)                                     | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 691,5         | 12.710.937      |
| Ind. - amoníaco                       | Gestión de la energía                        | -148,5        | 124.695         | Transporte (70 T)                                      | Neumáticos de baja resistencia a la rodadura                 | -64,1         | 9.500.137       |
| Ind. - aluminio                       | Mejora de procesos                           | -146,7        | 87.048          | Comercial (80 C)                                       | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              | 83,7          | 7.731.494       |
| Ind. - acero                          | Gestión de energía EAF                       | -133,7        | 164.028         | Transporte (68 T)                                      | Tren de pasajeros eficiente                                  | -69,2         | 7.046.220       |
| Ind. - refinería                      | Gestión de procesos y de la energía          | -78,7         | 1.978.996       | Eléctrico (5 P)  | Eólica offshore  | 9,4           | 6.747.123       |
| Transporte (68 T)                     | Tren de pasajeros eficiente                  | -69,2         | 7.046.220       | Ind. - cemento (42 I)                                  | Precalcinadores - residuos                                   | -6,6          | 4.171.404       |
| Transporte (70 T)                     | Neumáticos de baja resistencia a la rodadura | -64,1         | 9.500.137       | Residencial (13 R)                                     | Bomba de calor avanzada                                      | 254,0         | 4.082.628       |
| Transporte (69 T)                     | Transporte de mercancías por ferrocarril     | -62,4         | 26.124.986      | Ind. - cemento (43 I)                                  | Control de procesos y automatización - residuos              | -12,9         | 3.988.359       |
| Transporte                            | Autobús híbrido                              | -61,0         | 545.056         | Comercial (87 C)                                       | Equipos eléctricos eficientes                                | 156,8         | 2.971.822       |
| Residencial                           | Frigoríficos eficientes                      | -56,8         | 1.005.266       | Residencial (18 R)                                     | Doble acristalamiento  | 1343,0        | 2.707.150       |
| Comercial                             | Sistemas de gestión de la climatización      | -47,3         | 1.431.086       | Comercial (83 C)                                       | Iluminación LED  | -169,1        | 2.450.172       |
| Ind. - acero                          | Gestión de energía BOF                       | -42,8         | 16.915          | Residencial (19 R)                                     | Sistemas de gestión de la climatización                      | 176,4         | 2.424.938       |
| Transporte (59 T)                     | Coche eléctrico                              | -36,0         | 2.017.791       | Comercial  | Calentador de agua solar                                     | 159,5         | 2.396.236       |
| Transporte                            | Coche híbrido enchufable                     | -35,4         | 1.657.428       | Transporte (59 T)                                      | Coche eléctrico  | -36,0         | 2.017.791       |
| Eléctrico (4 P)                       | Eólica onshore                               | -23,2         | 44.834.973      | Ind. - refinería                                       | Gestión de procesos y de la energía                          | -78,7         | 1.978.996       |
| Residencial (22 R)                    | Calentador de agua solar                     | -20,3         | 23.344.758      | Residencial  | Iluminación fluorescente                                     | -179,8        | 1.742.693       |



| Ordenado por coste (de menor a mayor) |  |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |   |               |                 |
|---------------------------------------|--|---------------|-----------------|--|---|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción                             | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Transporte                            | Autobús eléctrico  | -19,2         | 610.483         | Residencial  | Iluminación LED                         | -178,2        | 1.742.693       |
| Ind. - cemento (43 I)                 | Control de procesos y automatización - residuos              | -12,9         | 3.988.359       | Transporte   | Coche híbrido enchufable                | -35,4         | 1.657.428       |
| Ind. - cemento (42 I)                 | Precalcinadores - residuos                                   | -6,6          | 4.171.404       | Comercial  | Sistemas de gestión de la climatización | -47,3         | 1.431.086       |
| Eléctrico (5 P)                       | Eólica offshore  | 9,4           | 6.747.123       | Residencial  | Bomba de calor geotérmica               | 2107,7        | 1.407.055       |
| Eléctrico (2 P)                       | Solar FV   | 33,7          | 22.548.752      | Residencial  | Cocina de inducción de alta eficiencia  | 318,1         | 1.251.262       |
| Eléctrico (3 P)                       | Solar termoeléctrica   | 72,2          | 28.750.548      | Residencial  | Frigoríficos eficientes                 | -56,8         | 1.005.266       |
| Eléctrico                             | Mareas   | 77,6          | 829.510         | Comercial  | Bomba de calor eficiente                | 235,7         | 995.318         |
| Comercial (80 C)                      | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              | 83,7          | 7.731.494       | Eléctrico  | Mareas                                  | 77,6          | 829.510         |
| Residencial                           | Hornos eficientes  | 138,5         | 214.626         | Comercial  | Doble acristalamiento                   | 600,2         | 801.257         |
| Comercial (87 C)                      | Equipos eléctricos eficientes                                | 156,8         | 2.971.822       | Transporte (64 T)                                      | Camión de biodiesel                     | -274,1        | 730.720         |
| Comercial                             | Calentador de agua solar                                     | 159,5         | 2.396.236       | Transporte   | Autobús eléctrico                       | -19,2         | 610.483         |
| Residencial (19 R)                    | Sistemas de gestión de la climatización                      | 176,4         | 2.424.938       | Comercial (71 C)                                       | Bomba de calor geotérmica               | 2134,9        | 572.862         |
| Residencial                           | Lavavajillas eficientes                                      | 196,5         | 414.009         | Transporte   | Autobús híbrido                         | -61,0         | 545.056         |
| Comercial                             | Bomba de calor eficiente                                     | 235,7         | 995.318         | Residencial  | Lavadoras eficientes                    | 321,4         | 465.760         |
| Residencial (13 R)                    | Bomba de calor avanzada                                      | 254,0         | 4.082.628       | Residencial  | Lavavajillas eficientes                 | 196,5         | 414.009         |
| Residencial                           | Cocina de inducción de alta eficiencia                       | 318,1         | 1.251.262       | Residencial  | Calentador de agua biomasa              | -244,8        | 391.737         |
| Residencial                           | Lavadoras eficientes   | 321,4         | 465.760         | Residencial  | Hornos eficientes                       | 138,5         | 214.626         |
| Comercial                             | Doble acristalamiento  | 600,2         | 801.257         | Ind.- acero  | Gestión de energía EAF                  | -133,7        | 164.028         |
| Residencial (17 R)                    | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 691,5         | 12.710.937      | Ind. - amoníaco  | Gestión de la energía                   | -148,5        | 124.695         |
| Residencial (18 R)                    | Doble acristalamiento  | 1343,0        | 2.707.150       | Ind. - aluminio  | Mejora de procesos                      | -146,7        | 87.048          |
| Residencial                           | Bomba de calor geotérmica                                    | 2107,7        | 1.407.055       | Comercial  | Calentador de agua biomasa              | -237,6        | 40.210          |
| Comercial (71 C)                      | Bomba de calor geotérmica                                    | 2134,9        | 572.862         | Ind.- acero  | Gestión de energía BOF                  | -42,8         | 16.915          |

**Cuadro 7. Potencial y costes de reducción 2030 político, perspectiva privada**

| Ordenado por coste (de menor a mayor) |  |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |  |               |                 |
|---------------------------------------|--|---------------|-----------------|--|--|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción                                  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Transporte (64 T)                     | Camión de biodiesel                          | -1189,5       | 730.720         | Eléctrico (4 P)  | Eólica onshore   | -36,9         | 44.834.973      |
| Residencial                           | Calentador de agua biomasa                   | -317,5        | 391.737         | Eléctrico (3 P)  | Solar termoeléctrica   | 58,6          | 28.750.548      |
| Comercial                             | Calentador de agua biomasa                   | -315,4        | 40.210          | Transporte (69 T)                                      | Transporte de mercancías por ferrocarril                     | -142,4        | 26.124.986      |
| Residencial                           | Iluminación fluorescente                     | -210,2        | 1.742.693       | Residencial (22 R)                                     | Calentador de agua solar                                     | 55,2          | 23.344.758      |
| Residencial                           | Iluminación LED                              | -201,3        | 1.742.693       | Eléctrico (2 P)  | Solar FV   | 20,1          | 22.548.752      |
| Comercial (83 C)                      | Iluminación LED                              | -200,0        | 2.450.172       | Residencial (17 R)                                     | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 1537,9        | 12.710.937      |
| Ind. - amoníaco                       | Gestión de la energía                        | -176,1        | 124.695         | Transporte (70 T)                                      | Neumáticos de baja resistencia a la rodadura                 | -107,5        | 9.500.137       |
| Ind. - aluminio                       | Mejora de procesos                           | -174,0        | 87.048          | Comercial (80 C)                                       | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              | 51,7          | 7.900.978       |
| Ind.- acero                           | Gestión de energía EAF                       | -161,4        | 164.028         | Transporte (68 T)                                      | Tren de pasajeros eficiente                                  | -153,7        | 7.046.220       |
| Transporte (68 T)                     | Tren de pasajeros eficiente                  | -153,7        | 7.046.220       | Eléctrico (5 P)  | Eólica offshore  | -4,2          | 6.747.123       |
| Transporte (69 T)                     | Transporte de mercancías por ferrocarril     | -142,4        | 26.124.986      | Ind. - cemento (42 I)                                  | Precalcinadores - residuos                                   | -8,8          | 4.171.404       |
| Transporte (70 T)                     | Neumáticos de baja resistencia a la rodadura | -107,5        | 9.500.137       | Residencial (13 R)                                     | Bomba de calor avanzada                                      | 712,4         | 4.082.628       |
| Ind. - refinería                      | Gestión de procesos y de la energía          | -103,4        | 1.978.996       | Ind. - cemento (43 I)                                  | Control de procesos y automatización - residuos              | -16,3         | 3.988.359       |
| Transporte                            | Coche híbrido enchufable                     | -96,4         | 1.657.428       | Comercial (87 C)                                       | Equipos eléctricos eficientes                                | 125,8         | 2.971.822       |
| Transporte (59 T)                     | Coche eléctrico                              | -95,9         | 2.017.791       | Residencial (18 R)                                     | Doble acristalamiento  | 2926,5        | 2.707.150       |
| Comercial                             | Sistemas de gestión de la climatización      | -76,2         | 1.431.086       | Comercial (83 C)                                       | Iluminación LED  | -200,0        | 2.450.172       |
| Transporte                            | Autobús híbrido                              | -63,9         | 545.056         | Residencial (19 R)                                     | Sistemas de gestión de la climatización                      | 322,6         | 2.424.938       |
| Ind.- acero                           | Gestión de energía BOF                       | -62,5         | 16.915          | Comercial  | Calentador de agua solar                                     | 131,2         | 2.396.236       |
| Transporte                            | Autobús eléctrico                            | -56,6         | 610.483         | Transporte (59 T)                                      | Coche eléctrico  | -95,9         | 2.017.791       |
| Eléctrico (4 P)                       | Eólica onshore                               | -36,9         | 44.834.973      | Ind. - refinería                                       | Gestión de procesos y de la energía                          | -103,4        | 1.978.996       |

| Ordenado por coste (de menor a mayor) |  |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |   |               |                 |
|---------------------------------------|--|---------------|-----------------|--|---|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción                             | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Ind. - cemento (43 I)                 | Control de procesos y automatización - residuos              | -16,3         | 3.988.359       | Residencial  | Iluminación fluorescente                | -210,2        | 1.742.693       |
| Ind. - cemento (42 I)                 | Precalcinadores - residuos                                   | -8,8          | 4.171.404       | Residencial  | Iluminación LED                         | -201,3        | 1.742.693       |
| Eléctrico (5 P)                       | Eólica offshore  | -4,2          | 6.747.123       | Transporte   | Coche híbrido enchufable                | -96,4         | 1.657.428       |
| Residencial                           | Frigoríficos eficientes                                      | 9,7           | 1.005.266       | Comercial  | Sistemas de gestión de la climatización | -76,2         | 1.431.086       |
| Eléctrico (2 P)                       | Solar FV   | 20,1          | 22.548.752      | Residencial  | Bomba de calor geotérmica               | 4794,9        | 1.407.055       |
| Comercial (80 C)                      | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              | 51,7          | 7.900.978       | Residencial  | Cocina de inducción de alta eficiencia  | 604,1         | 1.251.262       |
| Residencial (22 R)                    | Calentador de agua solar                                     | 55,2          | 23.344.758      | Residencial  | Frigoríficos eficientes                 | 9,7           | 1.005.266       |
| Eléctrico (3 P)                       | Solar termoeléctrica   | 58,6          | 28.750.548      | Comercial  | Bomba de calor eficiente                | 209,5         | 995.318         |
| Eléctrico                             | Mareas   | 63,9          | 829.510         | Eléctrico  | Mareas                                  | 63,9          | 829.510         |
| Comercial (87 C)                      | Equipos eléctricos eficientes                                | 125,8         | 2.971.822       | Comercial  | Doble acristalamiento                   | 565,4         | 784.070         |
| Comercial                             | Calentador de agua solar                                     | 131,2         | 2.396.236       | Transporte (64 T)                                      | Camión de biodiesel                     | -1189,5       | 730.720         |
| Comercial                             | Bomba de calor eficiente                                     | 209,5         | 995.318         | Transporte   | Autobús eléctrico                       | -56,6         | 610.483         |
| Residencial (19 R)                    | Sistemas de gestión de la climatización                      | 322,6         | 2.424.938       | Comercial  | Bomba de calor geotérmica               | 2109,2        | 572.862         |
| Residencial                           | Hornos eficientes  | 328,0         | 214.626         | Transporte   | Autobús híbrido                         | -63,9         | 545.056         |
| Residencial                           | Lavavajillas eficientes                                      | 469,2         | 414.009         | Residencial  | Lavadoras eficientes                    | 695,9         | 465.760         |
| Comercial                             | Doble acristalamiento  | 565,4         | 784.070         | Residencial  | Lavavajillas eficientes                 | 469,2         | 414.009         |
| Residencial                           | Cocina de inducción de alta eficiencia                       | 604,1         | 1.251.262       | Residencial  | Calentador de agua biomasa              | -317,5        | 391.737         |
| Residencial                           | Lavadoras eficientes   | 695,9         | 465.760         | Residencial  | Hornos eficientes                       | 328,0         | 214.626         |
| Residencial (13 R)                    | Bomba de calor avanzada                                      | 712,4         | 4.082.628       | Ind.- acero  | Gestión de energía EAF                  | -161,4        | 164.028         |
| Residencial (17 R)                    | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 1537,9        | 12.710.937      | Ind. - amoníaco  | Gestión de la energía                   | -176,1        | 124.695         |
| Comercial                             | Bomba de calor geotérmica                                    | 2109,2        | 572.862         | Ind. - aluminio  | Mejora de procesos                      | -174,0        | 87.048          |
| Residencial (18 R)                    | Doble acristalamiento  | 2926,5        | 2.707.150       | Comercial  | Calentador de agua biomasa              | -315,4        | 40.210          |
| Residencial                           | Bomba de calor geotérmica                                    | 4794,9        | 1.407.055       | Ind.- acero  | Gestión de energía BOF                  | -62,5         | 16.915          |

El sector de generación eléctrica evoluciona fuertemente en este escenario. Se aumenta la instalación de renovables (sobre todo eólica, termo-solar y fotovoltaica) y, en cambio, se reducen otras fuentes fósiles y se abandona la energía nuclear enteramente. En otros sectores también se aumenta la penetración de los calentadores solares y el aislamiento. Estas medidas son las tecnologías que más reducción consiguen, fundamentalmente porque no consumen energía directamente. Es decir, hay una sustitución de procesos hacia actividades de consumo energético nulo en su operación, lo que conlleva la gran reducción total de energía. Respecto al coste de las medidas, la mayoría de las demás medidas del sector residencial y comercial se encuentran al final de la curva con costes más elevados. Como ya se indicaba, el aprovechamiento del elevado potencial de reducción en este escenario es relativamente caro. Los nuevos sistemas de iluminación son la gran excepción. En este escenario suponemos un aumento adicional de los sistemas fluorescentes y LEDs por encima de lo conseguido en el escenario tendencial. Los resultados de los diferentes escenarios demuestran que sustituir los sistemas de iluminación incandescentes por nuevos sistemas, preferentemente LEDs, presenta la mayor coste-efectividad en los sectores de edificios. Solamente en algunos escenarios los calentadores solares llegan a una efectividad en costes similar.

El cambio modal hacia el tren también consigue grandes reducciones y es muy coste-eficiente, tanto para el transporte de personas como de mercancías. El sector de transporte es el único sector cuyas medidas presentan un coste negativo bajo ambas perspectivas (público y privado).

## 5.3 Escenario 2030 tecnológico

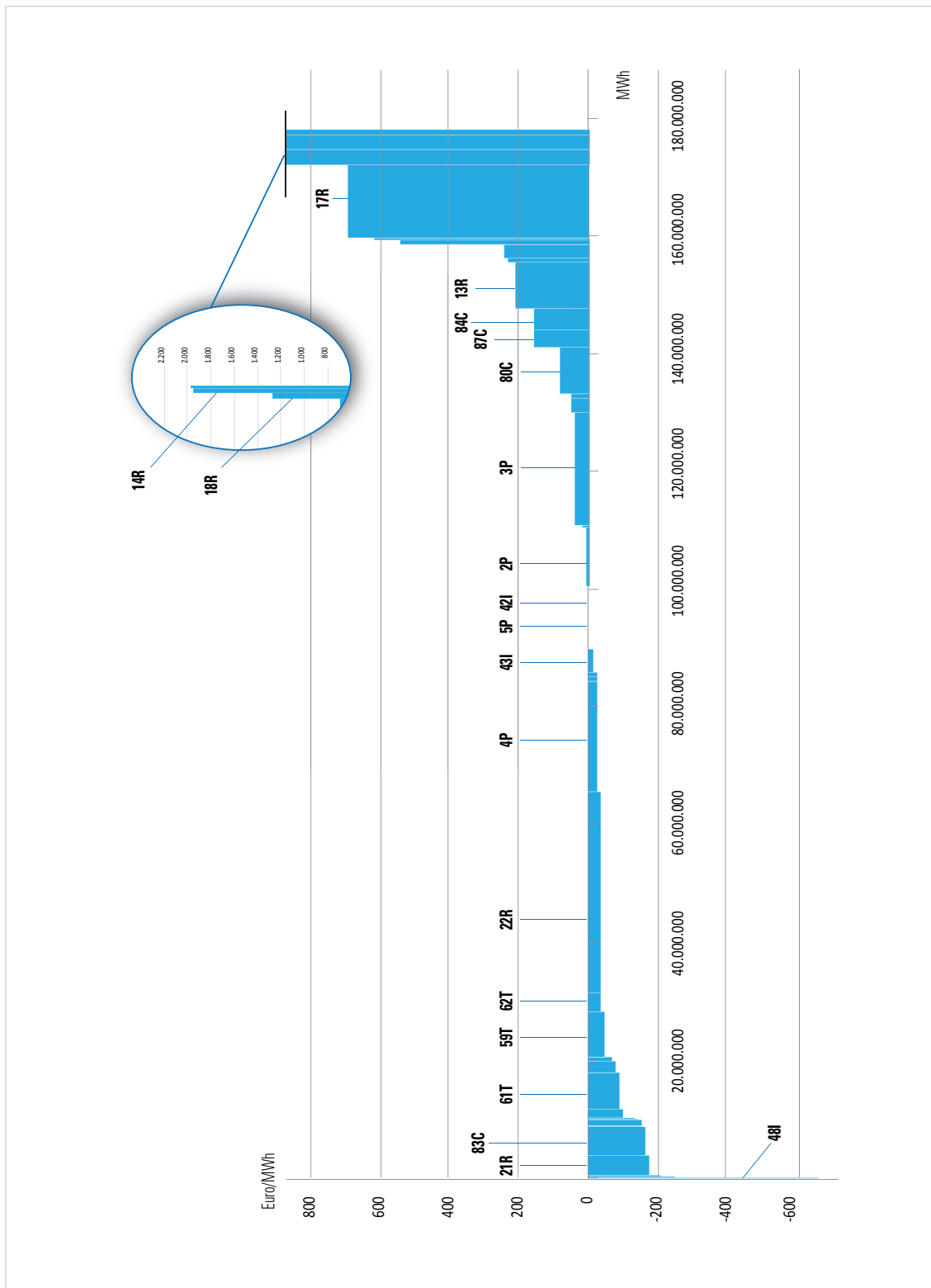
Finalmente, el escenario tecnológico asume una evolución avanzada de las tecnologías eficientes (incluyendo una bajada de su coste) pero, al no incorporar el escenario una política agresiva de ahorro y eficiencia, supone unas penetraciones inferiores. Las tecnologías que bajan su coste en este escenario son:

- Generación eléctrica renovable (Solar PV, Termo-solar, Eólica *Onshore* y *Offshore*, Mareas)
- Calderas residenciales (Bomba de calor de alta eficiencia, Biomasa, CHP, Calefacción urbana), Bomba de calor geotérmica residencial y comercial
- Calentador de agua termo-solar residencial
- Electrodomésticos (Hornos, Lavadoras, Lavavajillas, Frigoríficos, Aire acondicionado de alta eficiencia, Cocina de inducción)
- Iluminación residencial (sistemas fluorescentes y LED)
- Coche eléctrico, Bus eléctrico
- Coche híbrido (enchufable y no enchufable), Bus híbrido

Con respecto a los escenarios anteriores, el escenario tecnológico representaría una situación menos agresiva en cuanto a adopción de medidas eficientes, con los resultados esperables: el potencial de reducción es en este caso muy inferior al del escenario político, de un 15% de reducción adicional frente al consumo tendencial en 2030 (comparado con una reducción del 20% en el escenario político). En este escenario presentan los costes más reducidos la iluminación LED, la hibridación de vehículos y los coches eléctricos (recordamos que se ha supuesto una bajada de sus costes respecto a otros escenarios). El mayor ahorro viene por el uso del calentador de agua solar, el aislamiento de viviendas y la generación eléctrica renovable (sobre todo la termo-solar, la eólica y PV).

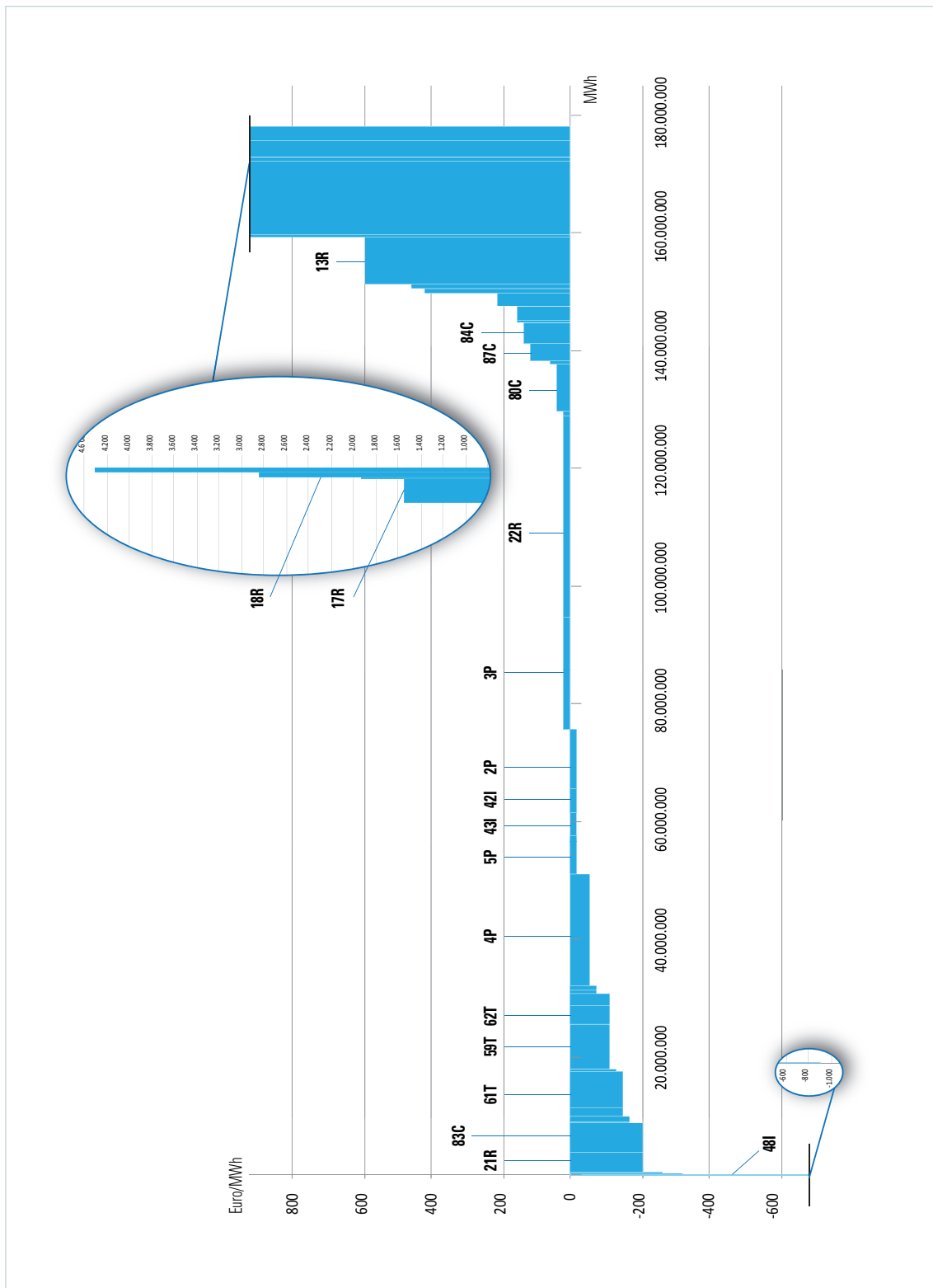
En cuanto a los costes, el resultado no es tan evidente. Aunque por una parte se podría esperar que el coste de las medidas se redujese por los mayores avances tecnológicos, los ahorros también caerían al asumir un precio bajo del gas natural. Por ello, el coste total es algo superior al del escenario político, incluso para una reducción de la demanda un 25% menor a la de dicho escenario: 19.000 Millones de Euros en el caso público y el doble para el caso privado. La estructura de costes es algo más desfavorable en términos relativos porque los ahorros alcanzables con un coste negativo están entre un 42% (para el caso privado) y un 56% (para el caso público). En cambio, de contabilizar los ahorros con coste inferior a 50€/MWh, el resultado es algo superior al del político: entre un 75 y un 77% del potencial de reducción sería posible por debajo de este coste.

Figura 9. Potencial y costes de reducción 2030 tecnológico, perspectiva pública



Nota: El cuadro 3 relaciona las letras de las claves que se presentan en esta figura con los distintos sectores. Los números de las claves permiten identificar las medidas que se recogen en el cuadro 10. Finalmente, el cuadro 8 suministra la información detallada sobre costes y potenciales de cada medida en este escenario, introduciendo entre paréntesis la clave si la medida aparece señalada en la figura. Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Potencial y costes de reducción 2030 (tecnológico), perspectiva privada



Nota: El cuadro 3 relaciona las letras de las claves que se presentan en esta figura con los distintos sectores. Los números de las claves permiten identificar las medidas que se recogen en el cuadro 10. Finalmente, el cuadro 9 suministra la información detallada sobre costes y potenciales de cada medida en este escenario, introduciendo entre paréntesis la clave si la medida aparece señalada en la figura. Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 8. Potencial y costes de reducción 2030 tecnológico, perspectiva pública**

| Ordenado por coste (de menor a mayor) |   |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |  |               |                 |
|---------------------------------------|---|---------------|-----------------|--|--|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción                                     | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Ind.- acero (48 I)                    | Gestión de energía BOF                          | -675,2        | 16.915          | Residencial (22 R)                                     | Calentador de agua solar                                     | -32,3         | 34.141.709      |
| Residencial                           | Calentador de agua biomasa                      | -244,8        | 195.868         | Eléctrico (3 P)  | Solar termoeléctrica   | 42,0          | 19.127.587      |
| Comercial                             | Calentador de agua biomasa                      | -237,6        | 20.105          | Eléctrico (4 P)  | Eólica onshore   | -28,8         | 18.861.303      |
| Ind.- acero                           | Gestión de energía EAF                          | -206,5        | 164.028         | Residencial (17 R)                                     | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 689,9         | 12.404.424      |
| Residencial (21 R)                    | Iluminación LED                                 | -179,5        | 3.485.387       | Eléctrico (2 P)  | Solar FV   | 6,6           | 9.945.366       |
| Comercial (83 C)                      | Iluminación LED                                 | -169,1        | 4.900.344       | Residencial (13 R)                                     | Bomba de calor avanzada                                      | 210,8         | 8.008.231       |
| Ind. - amoníaco                       | Gestión de la energía                           | -154,2        | 124.695         | Comercial (80 C)                                       | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              | 75,8          | 7.900.978       |
| Residencial                           | Frigoríficos eficientes                         | -150,0        | 1.005.266       | Transporte (59 T)                                      | Coche eléctrico  | -46,2         | 7.798.778       |
| Ind. - aluminio                       | Mejora de procesos                              | -146,2        | 87.048          | Eléctrico (5 P)  | Eólica offshore  | -7,2          | 6.491.490       |
| Residencial                           | Hornos eficientes                               | -130,3        | 214.626         | Transporte (61 T)                                      | Coche híbrido no enchufable                                  | -90,8         | 6.216.832       |
| Comercial                             | Sistemas de gestión de la climatización         | -104,1        | 1.431.086       | Comercial (83 C)                                       | Iluminación LED  | -169,1        | 4.900.344       |
| Transporte (61 T)                     | Coche híbrido no enchufable                     | -90,8         | 6.216.832       | Ind. - cemento (42 I)                                  | Precalcinadores - residuos                                   | -6,6          | 4.171.404       |
| Ind. - refinera                       | Gestión de procesos y de la energía             | -78,7         | 1.978.996       | Ind. - cemento (43 I)                                  | Control de procesos y automatización - residuos              | -12,9         | 3.988.359       |
| Transporte                            | Autobús híbrido                                 | -66,1         | 669.762         | Comercial (84 C)                                       | Calentador de agua solar                                     | 159,5         | 3.504.496       |
| Transporte (59 T)                     | Coche eléctrico                                 | -46,2         | 7.798.778       | Residencial (21 R)                                     | Iluminación LED  | -179,5        | 3.485.387       |
| Transporte (62 T)                     | Coche híbrido enchufable                        | -41,5         | 3.132.510       | Transporte (62 T)                                      | Coche híbrido enchufable                                     | -41,5         | 3.132.510       |
| Residencial (22 R)                    | Calentador de agua solar                        | -32,3         | 34.141.709      | Comercial (87 C)                                       | Equipos eléctricos eficientes                                | 156,8         | 2.971.822       |
| Eléctrico (4 P)                       | Eólica onshore                                  | -28,8         | 18.861.303      | Residencial (18 R)                                     | Doble acristalamiento  | 1261,5        | 2.641.870       |
| Residencial                           | Lavavajillas eficientes                         | -28,4         | 621.014         | Residencial (14 R)                                     | Bomba de calor geotérmica                                    | 1936,1        | 2.489.405       |
| Transporte                            | Autobús eléctrico                               | -28,2         | 750.159         | Residencial  | Sistemas de gestión de la climatización                      | 43,7          | 2.424.938       |
| Ind. - cemento (43 I)                 | Control de procesos y automatización - residuos | -12,9         | 3.988.359       | Comercial  | Bomba de calor eficiente                                     | 235,7         | 2.180.765       |
| Eléctrico (5 P)                       | Eólica offshore                                 | -7,2          | 6.491.490       | Ind. - refinera  | Gestión de procesos y de la energía                          | -78,7         | 1.978.996       |



| Ordenado por coste (de menor a mayor) |  |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |   |               |                 |
|---------------------------------------|--|---------------|-----------------|--|---|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción                             | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Ind. - cemento (42 I)                 | Precalcinadores - residuos                                   | -6,6          | 4.171.404       | Comercial  | Sistemas de gestión de la climatización | -104,1        | 1.431.086       |
| Eléctrico (2 P)                       | Solar FV   | 6,6           | 9.945.366       | Residencial  | Frigoríficos eficientes                 | -150,0        | 1.005.266       |
| Residencial                           | Lavadoras eficientes   | 21,6          | 465.760         | Comercial  | Bomba de calor geotérmica               | 1958,9        | 888.521         |
| Eléctrico (3 P)                       | Solar termoeléctrica   | 42,0          | 19.127.587      | Eléctrico  | Mareas                                  | 46,0          | 812.468         |
| Residencial                           | Sistemas de gestión de la climatización                      | 43,7          | 2.424.938       | Comercial  | Doble acristalamiento                   | 533,7         | 763.598         |
| Eléctrico                             | Mareas   | 46,0          | 812.468         | Residencial  | Cocina de inducción de alta eficiencia  | 225,1         | 750.757         |
| Comercial (80 C)                      | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              | 75,8          | 7.900.978       | Transporte   | Autobús eléctrico                       | -28,2         | 750.159         |
| Comercial (87 C)                      | Equipos eléctricos eficientes                                | 156,8         | 2.971.822       | Transporte   | Autobús híbrido                         | -66,1         | 669.762         |
| Comercial (84 C)                      | Calentador de agua solar                                     | 159,5         | 3.504.496       | Residencial  | Lavavajillas eficientes                 | -28,4         | 621.014         |
| Residencial (13 R)                    | Bomba de calor avanzada                                      | 210,8         | 8.008.231       | Residencial  | Lavadoras eficientes                    | 21,6          | 465.760         |
| Residencial                           | Cocina de inducción de alta eficiencia                       | 225,1         | 750.757         | Residencial  | Aire acondicionado avanzado             | 616,4         | 365.855         |
| Comercial                             | Bomba de calor eficiente                                     | 235,7         | 2.180.765       | Residencial  | Hornos eficientes                       | -130,3        | 214.626         |
| Comercial                             | Doble acristalamiento  | 533,7         | 763.598         | Residencial  | Calentador de agua biomasa              | -244,8        | 195.868         |
| Residencial                           | Aire acondicionado avanzado                                  | 616,4         | 365.855         | Ind. - acero   | Gestión de energía EAF                  | -206,5        | 164.028         |
| Residencial (17 R)                    | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 689,9         | 12.404.424      | Ind. - amoníaco  | Gestión de la energía                   | -154,2        | 124.695         |
| Residencial (18 R)                    | Doble acristalamiento  | 1261,5        | 2.641.870       | Ind. - aluminio  | Mejora de procesos                      | -146,2        | 87.048          |
| Residencial (14 R)                    | Bomba de calor geotérmica                                    | 1936,1        | 2.489.405       | Comercial  | Calentador de agua biomasa              | -237,6        | 20.105          |
| Comercial                             | Bomba de calor geotérmica                                    | 1958,9        | 888.521         | Ind. - acero (48 I)                                    | Gestión de energía BOF                  | -675,2        | 16.915          |

**Cuadro 8. Potencial y costes de reducción 2030 tecnológico, perspectiva pública**

| Ordenado por coste (de menor a mayor) |   |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |  |               |                 |
|---------------------------------------|---|---------------|-----------------|--|--|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción                                     | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Ind.- acero (48 I)                    | Gestión de energía BOF                          | -904,9        | 16.915          | Residencial (22 R)                                     | Calentador de agua solar                                     | 30,7          | 34.141.709      |
| Residencial                           | Calentador de agua biomasa                      | -317,5        | 195.868         | Eléctrico (3 P)  | Solar termoeléctrica   | 28,4          | 19.127.587      |
| Comercial                             | Calentador de agua biomasa                      | -315,4        | 20.105          | Eléctrico (4 P)  | Eólica onshore   | -42,4         | 18.861.303      |
| Ind.- acero                           | Gestión de energía EAF                          | -258,3        | 164.028         | Residencial (17 R)                                     | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 1552,1        | 12.404.424      |
| Residencial (21 R)                    | Iluminación LED                                 | -205,2        | 3.485.387       | Eléctrico (2 P)  | Solar FV   | -7,1          | 9.945.366       |
| Comercial (83 C)                      | Iluminación LED                                 | -200,0        | 4.900.344       | Residencial (13 R)                                     | Bomba de calor avanzada                                      | 593,4         | 8.008.231       |
| Ind. - amoníaco                       | Gestión de la energía                           | -183,3        | 124.695         | Comercial (80 C)                                       | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              | 43,8          | 7.900.978       |
| Ind. - aluminio                       | Mejora de procesos                              | -173,3        | 87.048          | Transporte (59 T)                                      | Coche eléctrico  | -112,1        | 7.798.778       |
| Residencial                           | Frigoríficos eficientes                         | -159,4        | 1.005.266       | Eléctrico (5 P)  | Eólica offshore  | -20,8         | 6.491.490       |
| Comercial                             | Sistemas de gestión de la climatización         | -149,2        | 1.431.086       | Transporte (61 T)                                      | Coche híbrido no enchufable                                  | -143,9        | 6.216.832       |
| Transporte (61 T)                     | Coche híbrido no enchufable                     | -143,9        | 6.216.832       | Comercial (83 C)                                       | Iluminación LED  | -200,0        | 4.900.344       |
| Residencial                           | Hornos eficientes                               | -131,5        | 214.626         | Ind. - cemento (42 I)                                  | Precalcinadores - residuos                                   | -8,8          | 4.171.404       |
| Transporte (59 T)                     | Coche eléctrico                                 | -112,1        | 7.798.778       | Ind. - cemento (43 I)                                  | Control de procesos y automatización - residuos              | -16,3         | 3.988.359       |
| Transporte (62 T)                     | Coche híbrido enchufable                        | -106,0        | 3.132.510       | Comercial (84 C)                                       | Calentador de agua solar                                     | 131,2         | 3.504.496       |
| Ind. - refinera                       | Gestión de procesos y de la energía             | -103,4        | 1.978.996       | Residencial (21 R)                                     | Iluminación LED  | -205,2        | 3.485.387       |
| Transporte                            | Autobús híbrido                                 | -69,0         | 669.762         | Transporte (62 T)                                      | Coche híbrido enchufable                                     | -106,0        | 3.132.510       |
| Transporte                            | Autobús eléctrico                               | -65,7         | 750.159         | Comercial (87 C)                                       | Equipos eléctricos eficientes                                | 125,8         | 2.971.822       |
| Eléctrico (4 P)                       | Eólica onshore                                  | -42,4         | 18.861.303      | Residencial (18 R)                                     | Doble acristalamiento  | 2853,1        | 2.641.870       |
| Eléctrico (5 P)                       | Eólica offshore                                 | -20,8         | 6.491.490       | Residencial  | Bomba de calor geotérmica                                    | 4322,2        | 2.489.405       |
| Ind. - cemento (43 I)                 | Control de procesos y automatización - residuos | -16,3         | 3.988.359       | Residencial  | Sistemas de gestión de la climatización                      | 154,1         | 2.424.938       |
| Ind. - cemento (42 I)                 | Precalcinadores - residuos                      | -8,8          | 4.171.404       | Comercial  | Bomba de calor eficiente                                     | 209,5         | 2.180.765       |
| Eléctrico (2 P)                       | Solar FV  | -7,1          | 9.945.366       | Ind. - refinera  | Gestión de procesos y de la energía                          | -103,4        | 1.978.996       |

| Ordenado por coste (de menor a mayor) |  |               |                 | Ordenado por potencial de reducción (de mayor a menor) |   |               |                 |
|---------------------------------------|--|---------------|-----------------|--|---|---------------|-----------------|
| Sector                                | Descripción  | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) | Sector   | Descripción                             | Coste (€/MWh) | Reducción (MWh) |
| Eléctrico (3 P)                       | Solar termoeléctrica   | 28,4          | 19.127.587      | Comercial  | Sistemas de gestión de la climatización | -149,2        | 1.431.086       |
| Residencial (22 R)                    | Calentador de agua solar                                     | 30,7          | 34.141.709      | Residencial  | Frigoríficos eficientes                 | -159,4        | 1.005.266       |
| Eléctrico                             | Mareas   | 32,3          | 812.468         | Comercial  | Bomba de calor geotérmica               | 1933,2        | 888.521         |
| Comercial (80 C)                      | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              | 43,8          | 7.900.978       | Eléctrico  | Mareas                                  | 32,3          | 812.468         |
| Residencial                           | Lavavajillas eficientes                                      | 61,1          | 621.014         | Comercial  | Doble acristalamiento                   | 457,3         | 763.598         |
| Comercial (87 C)                      | Equipos eléctricos eficientes                                | 125,8         | 2.971.822       | Residencial  | Cocina de inducción de alta eficiencia  | 435,3         | 750.757         |
| Comercial (84 C)                      | Calentador de agua solar                                     | 131,2         | 3.504.496       | Transporte   | Autobús eléctrico                       | -65,7         | 750.159         |
| Residencial                           | Lavadoras eficientes   | 151,8         | 465.760         | Transporte   | Autobús híbrido                         | -69,0         | 669.762         |
| Residencial                           | Sistemas de gestión de la climatización                      | 154,1         | 2.424.938       | Residencial  | Lavavajillas eficientes                 | 61,1          | 621.014         |
| Comercial                             | Bomba de calor eficiente                                     | 209,5         | 2.180.765       | Residencial  | Lavadoras eficientes                    | 151,8         | 465.760         |
| Residencial                           | Cocina de inducción de alta eficiencia                       | 435,3         | 750.757         | Residencial  | Aire acondicionado avanzado             | 1438,9        | 365.855         |
| Comercial                             | Doble acristalamiento  | 457,3         | 763.598         | Residencial  | Hornos eficientes                       | -131,5        | 214.626         |
| Residencial (13 R)                    | Bomba de calor avanzada                                      | 593,4         | 8.008.231       | Residencial  | Calentador de agua biomasa              | -317,5        | 195.868         |
| Residencial                           | Aire acondicionado avanzado                                  | 1438,9        | 365.855         | Ind. - acero   | Gestión de energía EAF                  | -258,3        | 164.028         |
| Residencial (17 R)                    | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 1552,1        | 12.404.424      | Ind. - amoníaco  | Gestión de la energía                   | -183,3        | 124.695         |
| Comercial                             | Bomba de calor geotérmica                                    | 1933,2        | 888.521         | Ind. - aluminio  | Mejora de procesos                      | -173,3        | 87.048          |
| Residencial (18 R)                    | Doble acristalamiento  | 2853,1        | 2.641.870       | Comercial  | Calentador de agua biomasa              | -315,4        | 20.105          |
| Residencial                           | Bomba de calor geotérmica                                    | 4322,2        | 2.489.405       | Ind. - acero (48 I)                                    | Gestión de energía BOF                  | -904,9        | 16.915          |

La tecnología más barata es en este caso la mejora de procesos en el sector del acero (fundamentalmente porque se ha supuesto que esta mejora se podría conseguir a bajo coste). Sin embargo, la reducción de consumo es muy pequeña. Los calentadores solares son, otra vez, muy coste-eficientes (aunque no tanto para el caso privado). Evidentemente, esta medida tiene mucho potencial en España por razones climáticas. Además el ahorro conseguido por instalación es alto, porque el calentador solar consume no consume energía directa. La sustitución de una caldera convencional (de gas, por ejemplo) por un calentador solar ahorra todo el gas consumido anteriormente. En este sentido el calentador solar es superior al calentador de gas de condensación, porque la caldera de gas de condensación consigue solo un ahorro de una parte del gas consumido anteriormente. Dicho de otra forma, para conseguir la misma reducción son necesarias más calderas de gas de condensación que sistemas solares. Los LEDs, ya mencionados anteriormente, también ofrecen un coste atractivo. Y de nuevo, las medidas de ahorro en el sector de transporte presentan todos costes negativos, aunque no están entre las medidas con mejor coste-eficiencia.

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. Nuevamente, el coste de estas tecnologías (en general residenciales) es mayor bajo la perspectiva privada como puede observarse en las Figuras 9 y 10.

Finalmente, es interesante señalar la influencia de las interacciones entre medidas. Aunque las cifras detalladas pueden consultarse en el informe completo, 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. En el anexo se muestra en más detalle esta información.

### Cuadro 10. 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) |

| Clave | Sector                    | Descripción                                     |
|-------|---------------------------|---|
| 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                           |
| 54 I  | Industrial - cerámica     | Mejora del flujo de aire                        |
| 55 I  | Industrial - cerámica     | Precalentamiento 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                     |

| Clave | Sector     | Descripción                                     |
|-------|------------|---|
| 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                   |



[ 06 ]

## Conclusiones y recomendaciones

**6.1. Resumen de resultados y conclusiones**

**6.2 Políticas de promoción del ahorro energético**

## 6.1 Resumen de resultados y conclusiones

El informe ha suministrado, de manera pionera para España, una estimación de los potenciales y costes de reducción de la demanda de energía. Esta información es especialmente útil y necesaria para el correcto diseño y evaluación de políticas de ahorro y eficiencia energética, prioritarias para las instituciones europeas y españolas en la búsqueda de más seguridad energética, menos emisiones contaminantes y más ahorros económicos.

Para realizar los cálculos se ha utilizado una aproximación basada en la valoración de expertos, aunque con ciertas modificaciones. Así, se ha partido de un modelo de *Bloomberg New Energy Finance* sobre el que se han introducido cambios para tratar de solventar algunas de las limitaciones habituales en este tipo de estudios, en especial las posibles interacciones entre las medidas y la representación del comportamiento de los consumidores. Además, se ha realizado un gran esfuerzo en ofrecer de forma transparente todos los datos de partida y los supuestos del estudio.

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 reducción 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, algo que se situaría por encima de los ambiciosos objetivos de la UE a este respecto. 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. El informe avanza que dejar los cambios al mercado, incluso en un escenario de avance tecnológico (que podría ser promovido políticamente), no resultaría tan efectivo, especialmente si el coste de la energía es bajo. El escenario tecnológico logra por ello una reducción bastante menor (aunque no despreciable), del 15% con respecto a los niveles tendenciales.

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 informe 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.

La primera y principal aportación del informe se refiere al cálculo simultáneo de los potenciales de reducción y de los costes estimados de la reducción de la demanda energética en España. Así 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. Esto hace que las subvenciones generalistas a la inversión, bastante habituales en la práctica, puedan no ser especialmente adecuadas porque simplemente mejoran la rentabilidad económica, ya satisfactoria de por sí en muchas de las medidas, sin resolver los problemas de costes ocultos, altos costes de transacción, o de barreras no económicas.

La fiscalidad, aunque sí da señales adecuadas en el largo plazo y por tanto corrige el efecto sobre el precio de la energía, tampoco permite solventar el problema citado. Otras políticas pueden ser más exitosas para este cometido, como los estándares (deseablemente, lo más flexibles posible), los acuerdos voluntarios, la simplificación de procesos administrativos o el uso de ayudas directas bien focalizadas. Sin embargo, éste es un campo aún por explorar, en el que no hay soluciones evidentes y en el que solo una limitada experiencia internacional puede servir de guía.

Una segunda conclusión del informe 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, y 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 todos los escenarios, sin embargo, las medidas de aislamiento de edificios resultan ser las menos atractivas a pesar de su significativo potencial de reducción. Este mayor coste por unidad de reducción aumenta cuando se tienen en cuenta las interacciones con otras medidas (sustitución de calderas, por ejemplo), y es todavía mayor desde el punto de vista privado. Por tanto, si se quiere promover la rehabilitación energética de edificios debe reconocerse la baja rentabilidad relativa de esta actuación.

## 6.2 Políticas de promoción del ahorro energético

La selección de la política de promoción adecuada, ya avanzada en párrafos anteriores, debe tener en cuenta las características de las distintas medidas en cuanto a coste y potencial de reducción. Para ello, y aunque sea de forma imprecisa, hemos clasificado las medidas en seis categorías. Los Cuadros 11, 12 y 13 muestran esta clasificación para los escenarios tendencial, político y tecnológico desde una perspectiva privada (que es la que más sentido tiene a la hora de diseñar políticas).

**Cuadro 11. Clasificación de medidas por potencial y coste en el escenario tendencial**

| Tecnologías precio muy negativo - alto potencial |  | Tecnologías precio muy negativo - bajo potencial |  |
|--|--|--|--|
| sector   | descripción                              | sector   | descripción                              |
| Eléctrico  | Eólica onshore                           | Comercial  | Caldera de gas de condensación           |
| Transporte                                       | Coche híbrido no enchufable              | Ind. - cemento                                   | Mantenimiento preventivo                 |
| Transporte                                       | Camión diesel Euro V                     | Ind. - cemento                                   | Precalcinadores                          |
| Transporte                                       | Tren de pasajeros eficiente              | Residencial                                      | Iluminación LED                          |
| Transporte                                       | Coche diesel más eficiente               | Comercial  | Caldera de gas de baja temperatura       |
| Transporte                                       | Coche híbrido enchufable                 | Eléctrico  | Hidro (fluyente)                         |
| Residencial                                      | Caldera de gas de condensación           | Comercial  | Sistemas de gestión de la climatización  |
| Comercial  | Iluminación fluorescente                 | Transporte                                       | Transporte de mercancías por ferrocarril |
| Eléctrico  | Ciclo combinado de gas - eficiencia alta | Transporte                                       | Autobús Euro V                           |
| Transporte                                       | Coche eléctrico                          | Ind. - cemento                                   | Enfriado de rejilla                      |
| Residencial                                      | Iluminación fluorescente                 | Comercial  | Calentador de agua gas de condensación   |
| Residencial                                      | Calentador de agua gas condensación      | Ind. - petroquímica                              | Mejora de procesos                       |
| Comercial  | Iluminación LED                          | Ind. - amoníaco                                  | Recuperación de hidrógeno                |
| Residencial                                      | Caldera de gas de baja temperatura       | Ind. - acero                                     | Gestión de energía EAF                   |
| Transporte                                       | Coche de gasolina más eficiente          | Ind. - acero                                     | Fundición Near net shape strip EAF       |
| Ind. - cemento                                   | Control de procesos y automatización     | Transporte                                       | Autobús híbrido                          |
| Ind. - refinería                                 | Gestión de procesos y de la energía      | Transporte                                       | Autobús eléctrico                        |
| Transporte                                       | Camión de biodiesel                      | Ind. - amoníaco                                  | Síntesis de baja presión                 |
|  |  | Ind. - amoníaco                                  | Gestión de la energía                    |
|  |  | Ind. - cerámica                                  | Mejora del flujo de aire                 |
|  |  | Comercial  | Caldera de biomasa                       |
|  |  | Ind. - aluminio                                  | Mejora de procesos                       |
|  |  | Ind. - cerámica                                  | Recuperación de calor                    |
|  |  | Ind. - acero                                     | Recuperación de gases - BOF              |
|  |  | Ind. - acero                                     | Fundición Near net shape strip BOF       |
|  |  | Ind. - acero                                     | Gestión de energía BOF                   |
| Tecnologías baratas - alto potencial             |  | Tecnologías baratas - bajo potencial             |  |
| sector   | descripción                              | sector   | descripción                              |
| Eléctrico  | Solar termoeléctrica                     | Ind. - ladrillos                                 | Upgrade de Hoffman a Túnel mejorado      |
| Eléctrico  | Solar FV                                 | Eléctrico  | Mareas                                   |

| Residencial                        | Calentador de agua solar                                     | Ind. - cerámica                    | Cambio de túnel a rodillos                |
|------------------------------------|--|------------------------------------|---|
| Eléctrico                          | Eólica offshore  | Ind. - cerámica                    | Precaentamiento con recuperación de gases |
| Comercial                          | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              | Ind. - ladrillos                   | Mejora del flujo y presión - Túnel        |
| Residencial                        | Frigoríficos eficientes                                      |                                    |   |
| Tecnologías caras - alto potencial |  | Tecnologías caras - bajo potencial |   |
| sector                             | descripción  | sector                             | descripción                               |
| Residencial                        | Bomba de calor avanzada                                      | Comercial                          | Bomba de calor                            |
| Residencial                        | Bomba de calor   | Residencial                        | Sistemas de gestión de la climatización   |
| Comercial                          | Bomba de calor eficiente                                     | Comercial                          | Calentador de agua solar                  |
| Residencial                        | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | Residencial                        | Lavadoras eficientes                      |
| Comercial                          | Equipos eléctricos eficientes                                | Residencial                        | Lavavajillas eficientes                   |
|                                    |  | Residencial                        | Bomba de calor geotérmica                 |
|                                    |  | Residencial                        | Cocina de inducción de alta eficiencia    |
|                                    |  | Residencial                        | Microcogeneración                         |
|                                    |  | Residencial                        | Calefacción urbana                        |
|                                    |  | Residencial                        | Doble acristalamiento                     |
|                                    |  | Residencial                        | Caldera de biomasa                        |
|                                    |  | Residencial                        | Hornos eficientes                         |
|                                    |  | Comercial                          | Bomba de calor geotérmica                 |
|                                    |  | Comercial                          | Microcogeneración                         |
|                                    |  | Comercial                          | Calefacción urbana                        |
|                                    |  | Comercial                          | Doble acristalamiento                     |
|                                    |  | Ind. - cerámica                    | Aislamiento de hornos                     |
|                                    |  | Ind. - ladrillos                   | Secado continuo - Hoffman                 |
|                                    |  | Ind. - ladrillos                   | Aislamiento del horno - Túnel             |
|                                    |  | Ind. - ladrillos                   | Recuperación de gases - Túnel             |
|                                    |  | Ind. - acero                       | Sustitución de BOF por EAF                |

Cuadro 12. Clasificación de medidas por potencial y coste en el escenario político

| Tecnologías precio muy negativo - alto potencial |   | Tecnologías precio muy negativo - bajo potencial |   |
|--|---|--|---|
| sector   | descripción                                     | sector   | descripción                             |
| Eléctrico  | Eólica onshore                                  | Comercial  | Iluminación LED                         |
| Transporte                                       | Transporte de mercancías por ferrocarril        | Transporte                                       | Coche eléctrico                         |
| Transporte                                       | Tren de pasajeros eficiente                     | Ind. - refinería                                 | Gestión de procesos y de la energía     |
| Ind. - cemento                                   | Control de procesos y automatización - residuos | Residencial                                      | Iluminación fluorescente                |
|  |   | Residencial                                      | Iluminación LED                         |
|  |   | Transporte                                       | Coche híbrido enchufable                |
|  |   | Comercial  | Sistemas de gestión de la climatización |
|  |   | Transporte                                       | Camión de biodiesel                     |

|                                      |  | Transporte                           | Autobús eléctrico                            |
|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--|
|                                      |  | Transporte                           | Autobús híbrido                              |
|                                      |  | Residencial                          | Calentador de agua biomasa                   |
|                                      |  | Ind.- acero                          | Gestión de energía EAF                       |
|                                      |  | Ind. - amoníaco                      | Gestión de la energía                        |
|                                      |  | Ind. - aluminio                      | Mejora de procesos                           |
|                                      |  | Comercial                            | Calentador de agua biomasa                   |
|                                      |  | Ind.- acero                          | Gestión de energía BOF                       |
| Tecnologías baratas - alto potencial |  | Tecnologías baratas - bajo potencial |  |
| sector                               | descripción  | sector                               | descripción                                  |
| Eléctrico                            | Solar termoeléctrica   | Transporte                           | Neumáticos de baja resistencia a la rodadura |
| Residencial                          | Calentador de agua solar                                     | Residencial                          | Frigoríficos eficientes                      |
| Eléctrico                            | Solar FV   | Eléctrico                            | Mareas                                       |
| Comercial                            | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              |                                      |  |
| Eléctrico                            | Eólica offshore  |                                      |  |
| Ind. - cemento                       | Precalcinadores - residuos                                   |                                      |  |
| Tecnologías caras - alto potencial   |  | Tecnologías caras - bajo potencial   |  |
| sector                               | descripción  | sector                               | descripción                                  |
| Residencial                          | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | Residencial                          | Sistemas de gestión de la climatización      |
| Residencial                          | Bomba de calor avanzada                                      | Comercial                            | Calentador de agua solar                     |
| Comercial                            | Equipos eléctricos eficientes                                | Residencial                          | Bomba de calor geotérmica                    |
| Residencial                          | Doble acristalamiento  | Residencial                          | Cocina de inducción de alta eficiencia       |
|                                      |  | Comercial                            | Bomba de calor eficiente                     |
|                                      |  | Comercial                            | Doble acristalamiento                        |
|                                      |  | Comercial                            | Bomba de calor geotérmica                    |
|                                      |  | Residencial                          | Lavadoras eficientes                         |
|                                      |  | Residencial                          | Lavavajillas eficientes                      |
|                                      |  | Residencial                          | Hornos eficientes                            |

Cuadro 13. Clasificación de medidas por potencial y coste en el escenario tecnológico

| Tecnologías precio muy negativo - alto potencial |   | Tecnologías precio muy negativo - bajo potencial |   |
|--|---|--|---|
| sector   | descripción                                     | sector   | descripción                             |
| Eléctrico  | Eólica onshore                                  | Ind. - refinera                                  | Gestión de procesos y de la energía     |
| Transporte                                       | Coche eléctrico                                 | Comercial  | Sistemas de gestión de la climatización |
| Eléctrico  | Eólica offshore                                 | Residencial                                      | Frigoríficos eficientes                 |
| Transporte                                       | Coche híbrido no enchufable                     | Transporte                                       | Autobús eléctrico                       |
| Comercial  | Iluminación LED                                 | Transporte                                       | Autobús híbrido                         |
| Ind. - cemento                                   | Control de procesos y automatización - residuos | Residencial                                      | Hornos eficientes                       |
| Residencial                                      | Iluminación LED                                 | Residencial                                      | Calentador de agua biomasa              |

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| Transporte                                  | Coche híbrido enchufable                                     | Ind. - acero                                | Gestión de energía EAF                  |
|   |  | Ind. - amoníaco                             | Gestión de la energía                   |
|   |  | Ind. - aluminio                             | Mejora de procesos                      |
|   |  | Comercial                                   | Calentador de agua biomasa              |
|   |  | Ind. - acero                                | Gestión de energía BOF                  |
| <b>Tecnologías baratas - alto potencial</b> |  | <b>Tecnologías baratas - bajo potencial</b> |   |
| <b>sector</b>                               | <b>descripción</b>   | <b>sector</b>                               | <b>descripción</b>                      |
| Residencial                                 | Calentador de agua solar                                     | Eléctrico                                   | Mareas                                  |
| Eléctrico                                   | Solar termoeléctrica   | Residencial                                 | Lavavajillas eficientes                 |
| Eléctrico                                   | Solar FV   |   |   |
| Comercial                                   | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              |   |   |
| Ind. - cemento                              | Precalcinadores - residuos                                   |   |   |
| <b>Tecnologías caras - alto potencial</b>   |  | <b>Tecnologías caras - bajo potencial</b>   |   |
| <b>sector</b>                               | <b>descripción</b>   | <b>sector</b>                               | <b>descripción</b>                      |
| Residencial                                 | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | Residencial                                 | Bomba de calor geotérmica               |
| Residencial                                 | Bomba de calor avanzada                                      | Residencial                                 | Sistemas de gestión de la climatización |
| Comercial                                   | Calentador de agua solar                                     | Comercial                                   | Bomba de calor eficiente                |
| Comercial                                   | Equipos eléctricos eficientes                                | Comercial                                   | Bomba de calor geotérmica               |
| Residencial                                 | Doble acristalamiento  | Comercial                                   | Doble acristalamiento                   |
|   |  | Residencial                                 | Cocina de inducción de alta eficiencia  |
|   |  | Residencial                                 | Lavadoras eficientes                    |
|   |  | Residencial                                 | Aire acondicionado avanzado             |

Cada una de estas categorías requerirá una política de apoyo distinta, tal como se describe a continuación.

### >Medidas con coste muy negativo y alto potencial:

Estas medidas 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<sup>1</sup>, 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, 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

<sup>1</sup> Esto no es directamente aplicable al escenario tecnológico, en el que el coste negativo puede venir determinado por la bajada de costes que se ha supuesto. En estos casos podría no haber barreras a la penetración de estas medidas.

- 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, una señal de precio o una subvención pueden romper en ocasiones inercias, o crear concienciación. Pero dado que su efecto sería típicamente temporal, y su uso continuado muy eficiente, deberían ser políticas con una fecha de caducidad muy limitada.

Por supuesto, lo que sí es imprescindible es que los precios de la energía sean los reales: Vemos en este grupo de medidas opciones como la energía eólica, que puede ser más barata que las alternativas de generación eléctrica, pero siempre que el precio del gas sea lo suficientemente alto. Si los precios de la energía son bajos, habrá opciones cuyo coste pase a ser positivo.

#### **>Medidas con coste muy negativo y bajo potencial:**

Este caso requeriría políticas similares a las anteriores, porque, de nuevo, lo que se pretende es eliminar las barreras no económicas para la implantación de las medidas. Pero, en este caso, dado que el potencial es bajo, y que estas políticas en general son complicadas de implantar, puede cuestionarse la necesidad de atacar estas medidas de forma específica.

#### **>Medidas de bajo coste y alto potencial:**

En este grupo se incluyen medidas de bajo coste y alto potencial, y por tanto, también medidas interesantes de promover desde el Estado. 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.

#### **>Medidas de bajo coste y bajo potencial:**

Estas medidas requieren una evaluación cuidadosa: si su bajo coste es real, y no existen barreras significativas a su penetración, como en el caso anterior no requerirán de políticas específicas para su promoción, ya que el mercado se encargará de lograrla.

Ahora bien, si esta aparente rentabilidad se ve obstaculizada por barreras no económicas, entonces sería necesario utilizar políticas como las mencionadas para las medidas con coste muy negativo. Pero aquí es necesario recordar que su potencial de reducción es bajo, y por tanto el esfuerzo necesario para implantar las políticas puede no compensar el ahorro energético logrado.

**>Medidas de alto coste y alto potencial:**

Este grupo de medidas es más complejo: la primera pregunta que se podría hacer es si realmente interesan, dado su alto coste. Para responder a la pregunta es necesario comparar el coste público y el coste privado.

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 dos opciones 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). Igualmente importante es evaluar cuidadosamente el coste privado de estas medidas. Si bien este informe ha tratado de ser riguroso en esta evaluación, la magnitud del ahorro energético que se podría lograr podría hacer recomendable una evaluación más en detalle.

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.

**>Medidas de alto coste y bajo potencial:**

Estas medidas no parecen especialmente apropiadas, y por tanto no parece recomendable establecer políticas para apoyarlas, dado que su rentabilidad en términos de ahorro energético no es importante.

Así pues, vemos que la evaluación de potenciales y costes de reducción presentada en el informe es fundamental para el diseño adecuado de las políticas de apoyo a la eficiencia energética. Confiamos por tanto en que la contribución que se realiza en el mismo sea de utilidad a los implicados en el diseño de las mismas.

Finalmente, y como ya se ha adelantado en algunas de estas conclusiones y recomendaciones, es interesante 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 toda la información necesaria para evaluar la sensibilidad de los resultados a cambios en los parámetros que considere de interés.

En cualquier caso, e independientemente de los resultados, estamos convencidos de la importancia y potencial del ahorro y eficiencia energética para España, y por tanto desde Economics for Energy seguiremos trabajando en el mejor conocimiento de los factores que los dirigen y del diseño de políticas para conseguirlos. Los dos primeros informes anuales han sido los primeros pasos de este esfuerzo, que continuará en el futuro como una de las líneas de trabajo fundamentales del centro. Invitamos por tanto a los lectores y a todos los agentes relacionados con el sector energético español a seguir de cerca los desarrollos que se realicen, dada su relevancia para el mismo.



[ 07 ]

## Apéndices

- 7.1 Apéndice A - Tipos y precios de productos energéticos**
- 7.2 Apéndice B - Información adicional sobre los sectores considerados en el informe**
- 7.3 Apéndice C - Lista completa de tecnologías**
- 7.4 Apéndice D - Efectos del solape**
- 7.5 Apéndice E - Fuentes de datos:**



## 7.1

## Apéndice A - Tipos y precios de productos energéticos

Como se ha explicado en el capítulo cuatro, usamos una serie de precios de combustibles para estimar los resultados finales. Esto incluye precios de combustibles para 2030 sin impuestos e incluyendo impuestos. En el cuadro siguiente se puede observar estos precios junto con unas indicaciones de fuentes adicionales consultados de manera orientativa.<sup>1</sup>

Para el escenario tecnológico 2030 estamos considerando una reducción de los precios del gas natural por debajo de las cifras representadas en el cuadro.

**Cuadro 14. Precios finales de combustibles en el año 2030**

| en €/MWh                  | 2030 sin impuestos | 2030 con impuestos |
|---------------------------|--------------------|--------------------|
| Gas natural (industrial)  | 59,268             | 78,944             |
| Gas natural (hogares)     | 99,710             | 126,666            |
| Gas natural (vehículos)   | 79,489             | 142,948            |
| Carbón                    | 16,498             | 34,230             |
| Fuelóleo                  | 43,859             | 63,810             |
| Coque de petróleo         | 38,500             | 61,054             |
| Petróleo                  | 70,600             | 94,843             |
| Electricidad (industrial) | 207,730            | 245,758            |
| Electricidad (hogares)    | 244,811            | 289,514            |
| Uranio                    | 8,404              | 9,917              |
| Gasóleo                   | 83,706             | 110,427            |
| GLP (calefacción)         | 134,835            | 169,124            |
| Etanol                    | 100,906            | 119,069            |
| Biodiesel                 | 75,200             | 88,736             |
| Gasolina                  | 93,197             | 161,056            |
| Diesel                    | 87,093             | 154,567            |
| Biomasa                   | 78,469             | 92,593             |
| Calefacción urbana        | 27,000             | 31,860             |
| Biogás                    | 52,872             | 62,389             |

Fuente: Agencia Tributaria (2010), Base de datos BNEF, Base de datos Eurostat, CORES (2010), CORES (2011), Garulo Galiana (2011), IEA (2010b), Wesselink y Deng (2009). Elaboración propia.

<sup>1</sup> La serie de precios no ha sido reproducido de alguna de las fuentes mencionadas. Más bien, la serie es un resultado de una evaluación propia en la cual una gran cantidad de fuentes variadas sirvió como orientación.

## 7.2

### Apéndice B - Información adicional sobre los sectores considerados en el informe

#### El sector de Generación Eléctrica

En este sector hemos incluido todas las tecnologías disponibles para la generación eléctrica hasta el año 2030. Por esa razón están incluidas tecnologías viejas y relativamente ineficientes y también tecnologías que todavía no se aplican pero tienen buenas y realistas perspectivas de instalación hasta el 2030. La lista de tecnologías disponibles hasta el año 2030 procede de BNEF. Los datos de intensidades y costes también vienen mayormente de BNEF. También usamos otras fuentes para completar los datos (ver Apéndice E).

#### El Sector Residencial (edificios residenciales)

Las medidas del sector residencial han sido elegidas según las categorías de diferentes consumos energéticos de este sector. Para analizar este sector, dividimos primero diferentes tipos de consumo para las viviendas residenciales. IDEA (2010A, 2011c) ofrece consumos energéticos detallados de viviendas privadas, desglosando categorías de uso con información sobre el tipo de combustible usado. Las diferentes categorías son: calefacción, calentamiento de agua, aire acondicionado, cocina, iluminación, electrodomésticos. Las tecnologías en este sector se clasifican en grupos según las categorías de uso.

En España se contabilizaron 17.068.196 hogares en el año 2010. Para el año 2030 contamos con 18.847.875 hogares.

#### El sector Industrial

En el sector industrial consideramos diferentes tipos de tecnologías. Esos tipos representan diferentes opciones de conseguir un ahorro de energía. Una posibilidad es mejorar las instalaciones actuales. Otra es sustituir completamente un proceso por uno más moderno y eficiente. Más que en ningún otro sector, la industria contempla estas dos posibilidades de mejoras tecnológicas.

#### >Aluminio

En el año 2010 el sector del Aluminio español producía 408.000 toneladas de Aluminio. Para el 2030 estimamos una producción de 403.130 toneladas. Era complicado conseguir datos fiables para este sector. Por esto solamente incluimos una tecnología de mejora de procesos a coste bajo.

#### >Amoniaco

En el año 2010 el sector del amoniaco español producía un total de 526.394 toneladas de amoniaco por año. Estimamos que esta cantidad descenderá hasta 461.738 toneladas anuales en el 2030. Es desarrollo tecnológico de la industria del amoniaco está bastante maduro en España. Algunas mejoras, como "*process integration*", tienen una aplicación del 100% hoy en día. En las plantas más antiguas estimamos que un 32% ya usa la tecnología de *low pressure synthesis*. En este sentido, hay posibilidades de aumentar la instalación de esta tecnología.

### >Cerámicas - Ladrillos

La industria del ladrillo es bastante amplia en España. Por su tamaño significativo (producción anual en 2010 de 8.968.000 toneladas anuales) esperamos unos potenciales elevados para este sector. En el 2030 suponemos una producción total de 10.672.000 toneladas de ladrillos.

En el sector del ladrillo español, se usan tres tipos de hornos: el horno tipo *Hoffmann*, tipo túnel, y tipo rodillo. El horno rodillo, lo usa solamente el 1 % de las plantas españolas. Por esa razón no hemos considerado mejoras de este tipo de plantas. La mayor parte de los ladrillos se produce con el horno túnel (66%), y el restante 33% con el horno *Hoffmann*. El horno túnel es un poco más eficiente energéticamente. Usa bastante menos energía térmica que el horno *Hoffmann*. No obstante tiene el consumo de electricidad ligeramente más elevado que el horno *Hoffmann*. Consideramos mejoras que aumenten aún más la eficiencia de los hornos túnel existentes. Estas medidas son el precalentamiento por gases residuales, un mejor aislamiento del horno, y las mejoras en el flujo de aire y la presión dentro del horno. Según nuestra información vemos todavía potencial para aumentar el uso de estas tecnologías en las plantas españolas. También consideramos la sustitución de todos los hornos *Hoffmann* por los hornos túnel (incluyendo las mejoras mencionadas anteriormente) lo que equivaldría al 33% de la producción.

La cadena productiva de los ladrillos incluye también el secamiento del producto. Los hornos *Hoffmann* suelen operar con los secadores de cámara, mientras que las plantas con horno túnel suelen usar los secadores continuos más eficientes. Por eso sustituyendo los hornos de *Hoffmann* con los de túnel significaría un ahorro adicional de energía.

### >Cerámicas – Baldosa

Este sector también es relativamente grande e importante en España. En 2010 las fábricas españolas produjeron un total de 12.000.000 toneladas de baldosas. Para el 2030 calculamos que aumentará hasta unas 14.280.000 toneladas. Para analizar las tecnologías de ahorro energético hemos separado el proceso de producción en tres etapas: Atomización, secado, y cocción. No pudimos identificar una mediada con suficiente impacto en el proceso de atomización. En secado existen dos tipos de secadores con eficiencias divergentes, el secador de cámara y el secador continuo. En la industria de las baldosas española ya se usan los secadores continuos que son superiores a los de cámara. Entonces las tecnologías restantes en este sector se refieren al proceso de cocción.

Al igual que en el sector del ladrillo, existen tres diferentes tipos de hornos. El horno de tipo Hoffmann, el menos eficiente, ya no se usa en las plantas españolas. El horno túnel, con una eficiencia mediana, todavía se usa en un 7,5% de la producción española. El resto de la producción se hace con un horno rodillo, el único horno de los tres que necesita solo un turno de cocción (mono-cocción). Hemos identificado cuatro medidas que todavía no se usan en todas las instalaciones: aislamiento del horno, mejor flujo de aire y mejor presión dentro del horno, precalentamiento con gases residuales, y la recuperación de calor. Estas cuatro medidas son aplicables para las fábricas con horno de rodillo. Por lo que estimamos el potencial de ahorro energético y el coste de sustituir todos los hornos de túnel por el sistema de rodillo, incluyendo las cuatro medidas de mejora mencionadas anteriormente.

### >Cemento

La producción total del sector del cemento español era de 29.504.574 toneladas en el 2010. Para el 2030 estimamos una producción de 35.110.000 toneladas. En la industria del cemento es muy importante distinguir diferentes tipos de producción dependiendo de la materia prima. Existen plantas de cemento seco, semi-seco y húmedo. Por su situación climática España tiene acceso a materia prima seca. Las plantas de fabricación a base de materiales secos son más eficientes ener-

géticamente. Solamente el norte de España tiene acceso limitado a materias primas secas. Allí existen algunas plantas de producción húmeda. En el 2010 España producía algo más que 50 millones de toneladas de cemento. Es uno de los sectores de cemento más grandes de Europa. El 93% del cemento español está producido en plantas de fabricación seca (un 4% es semi-seco, y un 3% es húmedo). El sector de cemento destaca por un alto nivel de eficiencia energética. Las plantas españolas ya han realizado muchas mejoras de ahorro energético, como la ignición indirecta. No obstante todavía vemos posibilidades de mejora adicional en la combustión (pre *calciners*), la automatización de procesos de control, el mantenimiento preventivo, procesos de enfriamiento, y el uso de residuos en la combustión. Estas tecnologías se aplican parcialmente, por lo que hay potencial para aumentar su uso. Por ejemplo, el *waste firing* se utiliza poco en España. España está bastante por debajo del promedio europeo con un 10% de los combustibles usados provenientes de productos residuales. Austria, líder europeo en la combustión de residuos en el sector cemento, usa hasta un 47% de residuos.

Dado que la producción de tipo seco es mayoritaria en España, en este informe solamente consideramos posibles mejoras para este tipo de plantas.

### >Refinería

El proceso de refino es variado y complicado. La intensidad energética y la complejidad de las plantas dependen del crudo procesado y del producto final. En general, se puede distinguir entre el proceso inicial de desalación del crudo y el posterior proceso de destilación del crudo en varios componentes. Los posibles productos finales son: azufre, GLP, gasolina, nafta, queroseno, gasoil, fuel, butano, coque de petróleo, lubricantes y betún.

La refinería es una de las industrias más energéticamente intensivas y contaminantes. En Estados Unidos consume el 28% de toda la energía consumida en la industria. Una refinería consume entre 1,7 a 5,4 GJ por tonelada de crudo procesada. Estos valores pueden variar considerablemente dependiendo del grado de integración de la energía, la complejidad de la planta, y la integración de las plantas de cogeneración, petroquímicas y lubricantes. Cuanto más compleja es una planta, mayor es el consumo de energía. Igualmente, cuanto más azufre se usa en el proceso, mayor es el consumo energético. De hecho, entre el 6% y el 9% del crudo se quema en las refinerías. Dentro de la refinería, los procesos que mayor consumo energético requieren son la destilación atmosférica y la destilación al vacío. Las dos actividades conjuntamente acaparan el 35-40% del consumo energético final.

Los documentos Bref identifican algunos BAT (*best available techniques*) para mejorar el proceso de refino.<sup>2</sup> Sin embargo, no se proporcionan números sobre los potenciales de ahorro y sus costes. Por ello, no incluimos ninguna de estas tecnologías en nuestro modelo. Dada la complejidad del sector y la falta de datos, sólo incluimos como posible mejora una tecnología.

En 2010 la producción en este sector fue de 57.236.000 toneladas. En 2030 se espera una mayor demanda energética pero un porcentaje menos de los recursos fósiles. Por ello, esperamos que la producción en la refinería se mantenga estable, y siga produciendo 57.236.000 toneladas en 2030.

### >Acero

En el año 2010 la producción de acero en España fue de 16.343.000 toneladas. Esperamos que aumente hasta llegar a las 21.227.845,6 toneladas en 2030. En España existen típicamente dos tipos de tecnologías básicas para producir acero. La tecnología BOF (*Basic Oxygen Furnace*) usa, relativamente, más energía térmica. La tecnología EAF (*Electric Arc Furnace*) usa principalmente electricidad. En España, el 75% de la producción es de tipo EAF, el 25% de BOF.

<sup>2</sup> Ver Institute for Prospective Studies.

Las tecnologías identificadas con potencial de instalación adicional referente al status quo son la recuperación de gas de cocción en las plantas BOF. Además consideramos el fundición near net shape y la mejora de procesos en las plantas BOF y EAF.

### >Petroquímica

Hay pocos datos sobre la industria química española. Solamente consideramos una tecnología de mejoras de procesos a un precio asequible. En 2010 estimamos que en España se produjo 35.000.000 toneladas de productos químicos. Esperamos una cantidad igual para el año 2030.

### El Sector de Transporte

El sector de transporte se divide en dos categorías. Hemos analizado el transporte de personas y de mercancías por separado. El transporte de mercancías incluye coches privados, autobuses, y ferrocarril. No consideramos el transporte aéreo y marítimo<sup>3</sup>. En 2010 la población española viajó un total de 430.862.000.000 pasajero-kilómetros. Para el 2030 suponemos un aumento a 594.655.336.903 pasajero-kilómetros. En el transporte de mercancías los números de tonelada-kilómetros son 216.037.000.000 para el 2010 y 383.152.420.543 para el 2030.

Las tecnologías analizadas son las distintas alternativas de movilidad para las personas, diferentes tipos de coches, autobuses y tren. Tenemos en cuenta los posibles avances tecnológicos hasta 2030 de estas tecnologías. En el transporte de mercancías consideramos diferentes tipos de camiones y el transporte ferroviario.

### El Sector Comercial (edificios comerciales)

Como en el sector residencial, dividimos el sector en distintas categorías en función de la finalidad del consumo de energía. En el sector hay consumos energéticos de calefacción, agua caliente, iluminación, aire acondicionado y aparatos eléctricos. Las tecnologías escogidas representan las distintas opciones de ahorro energético hasta 2030. En primer lugar, con los datos obtenidos de IDEA y la fundación de la energía de la comunidad de Madrid calculamos el consumo energético en las distintas categorías en 2010. También hacemos uso de los datos calculados para el sector residencial. Luego, era posible dividir el consumo energético de cada categoría por los metros cuadrados de la superficie comercial. Así obtenemos los datos base sobre consumos energéticos de cada una de las categorías del sector. Los valores de las mejoras tecnológicas se calculan como desviaciones de datos base. En 2010 había 735.373.477 metros cuadrados de superficie comercial. En 2030 se espera que aumente hasta los 761.677.717 metros cuadrados.

## 7.3

### Apéndice C - Lista completa de tecnologías:

La lista presentada a continuación incluye todas las tecnologías usadas en el informe. Tecnologías de referencia están incluidas. En las demás columnas se encuentran los datos más importantes del modelo (menos los datos de penetración que se encuentran en el cuadro 1).

<sup>3</sup> Mendiluce y Schipper (2011, p.3) señalan que en España el 86% del transporte es por carretera (73% en el transporte no urbano). También resaltan que las conexiones por carreteras están bien desarrolladas para el número de habitantes. Sólo Luxemburgo tiene más kilómetros de autopista por habitante. Esto implica que el transporte por carretera seguirá siendo importante. Por tanto, los ahorros energéticos tiene que conseguirse mejorando la eficiencia en el transporte por carretera o realizando una fuerte inversión para más atractivas las otras alternativas. Por esta razón este informe se ha centrado principalmente en el transporte por carretera.

Cuadro 15. Listado de tecnologías completas con datos esenciales

| Sector (clave)     | Descripción   | Intensidad Eléctrica (MWh) | Intensidad Térmica (MWh) | CMLP (€)  | CAPEX anualizado (€) | Factor de carga | Vida útil (años) | Mantenimiento (€) | CAPEX supuesto 1 (€) | CAPEX supuesto 2 (€) | Costes de combustibles (€) |
|--------------------|---|----------------------------|--------------------------|-----------|----------------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Eléctrico          | Carbón convencional                                 | 0                          | 2,570                    | 79,266    | 32,199               | 0,850           | 40               | 4,67              | 2.579.115,24         | 2.579.115,24         | 42,400                     |
| Eléctrico          | Carbón supercrítico                                 | 0                          | 2,110                    | 70,121    | 32,199               | 0,850           | 40               | 3,11              | 2.579.115,24         | 2.579.115,24         | 34,811                     |
| Eléctrico          | Gasificación integrada en ciclo combinado de carbón | 0                          | 2,222                    | 61,792    | 19,351               | 0,850           | 40               | 5,78              | 1.550.000,00         | 1.550.000,00         | 36,662                     |
| Eléctrico          | Turbina de gas en ciclo abierto                     | 0                          | 2,632                    | 181,478   | 21,743               | 0,850           | 25               | 3,77              | 1.590.236,14         | 1.590.236,14         | 155,968                    |
| Eléctrico          | Ciclo combinado de gas - eficiencia media           | 0                          | 1,887                    | 133,855   | 14,495               | 0,850           | 25               | 7,53              | 1.060.157,43         | 1.060.157,43         | 111,826                    |
| Eléctrico (1 P)    | Ciclo combinado de gas - eficiencia alta            | 0                          | 1,639                    | 114,167   | 14,495               | 0,850           | 25               | 2,51              | 1.060.157,43         | 1.060.157,43         | 97,161                     |
| Eléctrico          | Biomasa   | 0                          | 2,632                    | 266,399   | 44,745               | 0,800           | 15               | 15,12             | 2.527.603,03         | 2.527.603,03         | 206,530                    |
| Eléctrico          | Nuclear   | 0                          | 3,000                    | 86,587    | 42,886               | 0,908           | 45               | 18,49             | 3.711.812,27         | 3.711.812,27         | 25,212                     |
| Eléctrico (2 P)    | Solar FV  | 0                          | 0                        | 167,424   | 148,980              | 0,171           | 25               | 18,44             | 2.195.052,63         | 1.646.289,47         | 0                          |
| Eléctrico (3 P)    | Solar termoeléctrica                                | 0                          | 0                        | 220,293   | 207,379              | 0,205           | 25               | 12,91             | 3.666.587,53         | 2.933.270,02         | 0                          |
| Eléctrico (4 P)    | Eólica onshore                                      | 0                          | 0                        | 89,264    | 76,612               | 0,228           | 20               | 12,65             | 1.398.717,79         | 1.258.846,01         | 0                          |
| Eléctrico (5 P)    | Eólica offshore                                     | 0                          | 0                        | 134,056   | 113,810              | 0,285           | 20               | 20,25             | 2.597.290,08         | 2.077.832,07         | 0                          |
| Eléctrico (6 P)    | Hidro (fluyente)                                    | 0                          | 0                        | 92,779    | 85,384               | 0,380           | 50               | 7,40              | 3.115.583,73         | 3.115.583,73         | 0                          |
| Eléctrico          | Hidro (regulable)                                   | 0                          | 0                        | 178,162   | 170,767              | 0,380           | 50               | 7,40              | 6.231.167,46         | 6.231.167,46         | 0                          |
| Eléctrico (7 P)    | Mareas  | 0                          | 0                        | 227,626   | 216,969              | 0,250           | 20               | 10,66             | 4.337.532,37         | 3.470.025,90         | 0                          |
| Eléctrico          | Olas  | 0                          | 0                        | 265,667   | 251,458              | 0,250           | 20               | 14,21             | 5.027.017,17         | 5.027.017,17         | 0                          |
| Residencial (8 R)  | Caldera de biomasa                                  | 0                          | 3,294                    | 2.353,951 | 1.095,465            | 1               | 20               | 1.000,00          | 10.000,00            | 9.000,00             | 258,486                    |
| Residencial (9 R)  | Microgeneración                                     | -1,400                     | 4,667                    | 1.031,721 | 909,143              | 1               | 15               | 0,00              | 7.328,32             | 6.595,49             | 122,578                    |
| Residencial (10 R) | Calefacción urbana                                  | -1,400                     | 4,667                    | 3.850,580 | 3.724,580            | 1               | 20               | 0,00              | 34.000,00            | 1.433,33             | 126,000                    |
| Residencial        | Calefacción eléctrica                               | 6,772                      | 0                        | 1.696,841 | 27,783               | 1               | 15               | 11,20             | 223,95               | 223,95               | 1657,860                   |
| Residencial        | Caldera de gas convencional                         | 0                          | 4,000                    | 608,386   | 109,546              | 1               | 20               | 100,00            | 1.000,00             | 1.000,00             | 398,840                    |

| Sector (clave)     | Descripción  | Intensidad Eléctrica (MWh) | Intensidad Térmica (MWh) | CMLP (€)  | CAPEX anualizado (€) | Factor de carga | Vida útil (años) | Mantenimiento (€) | CAPEX supuesto 1 (€) | CAPEX supuesto 2 (€) | Costes de combustibles (€) |
|--------------------|--|----------------------------|--------------------------|-----------|----------------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Residencial (11 R) | Caldera de gas de condensación                               | 0                          | 2,800                    | 593,508   | 164,320              | 1               | 20               | 150,00            | 1.500,00             | 1.500,00             | 279,188                    |
| Residencial (12 R) | Bomba de calor   | 0,933                      | 0                        | 1.420,171 | 818,222              | 1               | 20               | 373,46            | 7.469,18             | 7.469,18             | 228,490                    |
| Residencial (13 R) | Bomba de calor avanzada                                      | 0,467                      | 0                        | 1.014,290 | 900,044              | 1               | 20               | 0,00              | 8.216,10             | 7.394,49             | 114,245                    |
| Residencial        | Caldera de GLP   | 0                          | 4,000                    | 867,979   | 328,639              | 1               | 20               | 0,00              | 3.000,00             | 3.000,00             | 539,340                    |
| Residencial        | Caldera con otros combustibles                               | 0                          | 4,000                    | 396,155   | 66,424               | 1               | 20               | 6,06              | 606,36               | 606,36               | 323,667                    |
| Residencial (14 R) | Bomba de calor geotérmica                                    | 0,589                      | 0                        | 3.430,704 | 3.286,394            | 1               | 20               | 0,00              | 30.000,00            | 27.000,00            | 144,310                    |
| Residencial (15 R) | Caldera de gas de baja temperatura                           | 0                          | 3,000                    | 752,637   | 326,507              | 1               | 5                | 127,00            | 1.270,00             | 1.270,00             | 299,130                    |
| Residencial (16 R) | Aire acondicionado avanzado                                  | -0,141                     | 0                        | 136,788   | 171,402              | 1               | 10               | 0,00              | 1.100,00             | 990,00               | -34,614                    |
| Residencial (18 R) | Doble acristalamiento  | 0,907                      | 3,894                    | 1.117,555 | 541,631              | 1               | 10               | 0,00              | 3.476,00             | 3.476,00             | 575,924                    |
| Residencial (17 R) | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 0,614                      | 2,747                    | 1.769,713 | 1.369,814            | 1               | 10               | 0,00              | 8.791,00             | 8.791,00             | 399,898                    |
| Residencial (19 R) | Sistemas de gestión de la climatización                      | 0,899                      | 4,027                    | 678,644   | 92,553               | 1               | 5                | 0,00              | 360,00               | 360,00               | 586,091                    |
| Residencial        | Aire acondicionado convencional                              | 0                          | 0                        | 96,609    | 96,608               | 1               | 10               | 0,00              | 620,00               | 620,00               | 0,000                      |
| Residencial (20 R) | Iluminación fluorescente                                     | 0,331                      | 0                        | 84,776    | 3,856                | 1               | 5                | 0,00              | 15,00                | 13,50                | 80,920                     |
| Residencial        | Iluminación incandescente                                    | 0,826                      | 0                        | 207,095   | 4,796                | 1               | 1                | 0,00              | 4,40                 | 4,40                 | 202,299                    |
| Residencial (21 R) | Iluminación LED  | 0,083                      | 0                        | 25,178    | 4,948                | 1               | 25               | 0,00              | 48,60                | 36,45                | 20,230                     |
| Residencial        | Calentador de agua eléctrico                                 | 4,946                      | 0                        | 1.251,694 | 40,939               | 1               | 15               | 0,00              | 330,00               | 330,00               | 1210,755                   |
| Residencial (22 R) | Calentador de agua solar                                     | 0                          | 0                        | 371,268   | 264,618              | 1               | 15               | 106,65            | 2.133,00             | 1.919,70             | 0,000                      |
| Residencial (23 R) | Calentador de agua gas condensación                          | 0                          | 2,043                    | 279,785   | 39,765               | 1               | 20               | 36,30             | 363,00               | 363,00               | 203,719                    |

| Sector (clave)     | Descripción                            | Intensidad Eléctrica (MWh) | Intensidad Térmica (MWh) | CMLP (€) | CAPEX anualizado (€) | Factor de carga | Vida útil (años) | Mantenimiento (€) | CAPEX supuesto 1 (€) | CAPEX supuesto 2 (€) | Costes de combustibles (€) |
|--------------------|--|----------------------------|--------------------------|----------|----------------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Residencial        | Calentador de agua gas convencional    | 0                          | 2,919                    | 360,178  | 36,150               | 1               | 20               | 33,00             | 330,00               | 330,00               | 291,027                    |
| Residencial        | Calentador de agua GLP                 | 0                          | 2,919                    | 313,466  | 36,150               | 1               | 20               | 33,00             | 330,00               | 330,00               | 244,316                    |
| Residencial (24 R) | Calentador de agua biomasa             | 0                          | 2,404                    | 264,679  | 39,765               | 1               | 20               | 36,30             | 363,00               | 363,00               | 188,613                    |
| Residencial        | Calentador de agua otros combustibles  | 0                          | 2,919                    | 305,325  | 36,150               | 1               | 20               | 33,00             | 330,00               | 330,00               | 236,175                    |
| Residencial        | Frigoríficos convencionales            | 0,370                      | 0                        | 234,654  | 109,074              | 1               | 10               | 35,00             | 700,00               | 700,00               | 90,580                     |
| Residencial (25 R) | Frigoríficos eficientes                | 0,241                      | 0                        | 224,562  | 125,435              | 1               | 10               | 40,25             | 805,00               | 724,50               | 58,877                     |
| Residencial        | Tecnología base calefacción 2030       | 0,271                      | 1,091                    | 764,333  | 0                    | 1               | 10               | 0                 |                      |                      | 0                          |
| Residencial        | Tecnología base ACS 2030               | 0,495                      | 1,489                    | 413,711  |                      |                 |                  |                   |                      |                      |                            |
| Residencial        | Hornos convencionales                  | 0,032                      | 0,146                    | 97,208   | 54,537               | 1               | 10               | 17,50             | 350,00               | 350,00               | 25,171                     |
| Residencial (26 R) | Hornos eficientes                      | 0,025                      | 0,117                    | 102,465  | 62,328               | 1               | 10               | 20,00             | 400,00               | 360,00               | 20,137                     |
| Residencial        | Lavadoras convencionales               | 0,260                      | 0                        | 269,471  | 155,820              | 1               | 10               | 50,00             | 1.000,00             | 1.000,00             | 63,651                     |
| Residencial (27 R) | Lavadoras eficientes                   | 0,200                      | 0                        | 295,946  | 186,984              | 1               | 10               | 60,00             | 1.200,00             | 1.080,00             | 48,962                     |
| Residencial        | Lavavajillas convencionales            | 0,370                      | 0                        | 296,400  | 155,820              | 1               | 10               | 50,00             | 1.000,00             | 1.000,00             | 90,580                     |
| Residencial (28 R) | Lavavajillas eficientes                | 0,290                      | 0                        | 317,979  | 186,984              | 1               | 10               | 60,00             | 1.200,00             | 1.080,00             | 70,995                     |
| Residencial        | Cocina convencional                    | 0,053                      | 0,244                    | 113,989  | 54,537               | 1               | 10               | 17,50             | 350,00               | 350,00               | 41,952                     |
| Residencial (29 R) | Cocina de inducción de alta eficiencia | 0,134                      | 0                        | 156,221  | 93,492               | 1               | 10               | 30,00             | 600,00               | 540,00               | 32,729                     |
| Residencial        | Tecnología base calefacción            | 0,982                      | 4,396                    | 963,639  | 323,802              | 1               | 18               | 0                 | 323,80               | 301,13               | 639,838                    |
| Residencial        | Tecnología base aire acondicionado     |                            |                          | 0        | 0                    | 1               | 10               | 0                 |                      | 0                    | 0                          |
| Residencial        | Tecnología base ACS                    | 0,392                      | 2,598                    | 369,790  | 37,746               | 1               | 18               | 0                 | 37,75                | 42,30                | 332,044                    |
| Residencial        | Tecnología base cocina                 | 0,106                      | 0,488                    | 83,904   | 0                    | 1               | 10               | 0                 | 600,00               | 600,00               | 83,904                     |



| Sector (clave)          | Descripción                             | Intensidad Eléctrica (MWh) | Intensidad Térmica (MWh) | CMLP (€) | CAPEX anualizado (€) | Factor de carga | Vida útil (años) | Mantenimiento (€) | CAPEX supuesto 1 (€) | CAPEX supuesto 2 (€) | Costes de combustibles (€) |
|-------------------------|---|----------------------------|--------------------------|----------|----------------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Residencial             | Tecnología base iluminación             | 0,472                      |                          | 115,600  | 0                    | 1               | 10               | 0                 |                      | 0                    | 115,600                    |
| Residencial             | Tecnología base electrodomésticos       |                            |                          | 0        | 0                    | 1               | 10               | 0                 |                      | 0                    | 0                          |
| Ind. - amoníaco (30 I)  | Recuperación de hidrógeno               | 9,249                      | 0,130                    | 1930,236 | 0,246                | 1               | 20               | 1,00              | 2,24                 | 2,24                 | 1.928,990                  |
| Ind. - amoníaco         | Tecnología base amoníaco                | 9,736                      | 0,137                    | 2067,721 | 37,205               | 1               | 20               | 0                 | 339,63               | 339,63               | 2.030,516                  |
| Ind. - amoníaco (31 I)  | Síntesis de baja presión                | 9,249                      | 0,130                    | 1930,727 | 0,737                | 1               | 20               | 1,00              | 6,73                 | 6,73                 | 1.928,990                  |
| Ind. - amoníaco (32 I)  | Gestión de la energía                   | 9,249                      | 0,130                    | 1930,272 | 0,282                | 1               | 20               | 1,00              | 2,58                 | 2,58                 | 1.928,990                  |
| Ind. - ladrillos        | Horno Hoffman                           | 0,010                      | 0,583                    | 74,880   | 32,864               | 1               | 20               | 8,00              | 300,00               | 300,00               | 34,016                     |
| Ind. - ladrillos        | Horno de túnel                          | 0,018                      | 0,364                    | 77,508   | 43,819               | 1               | 20               | 10,00             | 400,00               | 400,00               | 23,689                     |
| Ind. - ladrillos        | Horno de rodillos                       | 0,023                      | 0,280                    | 87,897   | 54,773               | 1               | 20               | 13,00             | 500,00               | 500,00               | 20,124                     |
| Ind. - ladrillos (33 I) | Recuperación de gases - Túnel           | 0,018                      | 0,349                    | 25,817   | 2,425                | 1               | 20               | 0,50              | 22,14                | 22,14                | 22,891                     |
| Ind. - ladrillos (34 I) | Aislamiento del horno - Túnel           | 0,018                      | 0,346                    | 31,456   | 8,764                | 1               | 20               | 0,00              | 80,00                | 80,00                | 22,692                     |
| Ind. - ladrillos (35 I) | Mejora del flujo y presión - Túnel      | 0,018                      | 0,346                    | 24,671   | 1,179                | 1               | 20               | 0,80              | 10,76                | 10,76                | 22,692                     |
| Ind. - ladrillos (36 I) | Upgrade de Hoffman a Túnel mejorado     | 0,018                      | 0,315                    | 78,963   | 57,939               | 1               | 20               | 0                 | 528,90               | 528,90               | 21,024                     |
| Ind. - ladrillos        | Cámara de secado - Hoffman              | 0,005                      | 0,179                    | 33,356   | 17,527               | 1               | 20               | 5,00              | 160,00               | 160,00               | 10,829                     |
| Ind. - ladrillos (37 I) | Secado continuo - Hoffman               | 0,010                      | 0,125                    | 40,722   | 26,291               | 1               | 20               | 5,50              | 240,00               | 240,00               | 8,930                      |
| Ind. - cemento          | Tecnología base en plantas secas        | 0,086                      | 0,637                    | 51,957   | 0                    | 1               | 20               | 0                 | 0                    | 0                    | 51,957                     |
| Ind. - cemento          | Tecnología base en nuevas plantas secas | 0,077                      | 0,754                    | 46,762   | 0                    | 1               | 20               | 0                 | 0                    | 0                    | 46,762                     |

| Sector (clave)             | Descripción                                     | Intensidad Eléctrica (MWh) | Intensidad Térmica (MWh) | CMLP (€) | CAPEX anualizado (€) | Factor de carga | Vida útil (años) | Mantenimiento (€) | CAPEX supuesto 1 (€) | CAPEX supuesto 2 (€) | Costes de combustibles (€) |
|----------------------------|---|----------------------------|--------------------------|----------|----------------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Ind. - cemento (38 I)      | Precalcinadores                                 | 0,077                      | 0,697                    | 44,550   | 0,093                | 1               | 20               | 0                 | 0,85                 | 0,85                 | 44,456                     |
| Ind. - cemento (39 I)      | Enfriado de rejilla                             | 0,077                      | 0,697                    | 45,167   | 0,711                | 1               | 20               | 0                 | 6,49                 | 6,49                 | 44,456                     |
| Ind. - cemento (40 I)      | Control de procesos y automatización            | 0,075                      | 0,730                    | 45,333   | 0,021                | 1               | 20               | 0                 | 0,19                 | 0,19                 | 45,312                     |
| Ind. - cemento (41 I)      | Mantenimiento preventivo                        | 0,076                      | 0,744                    | 46,183   | 0,029                | 1               | 20               | 0                 | 0,27                 | 0,27                 | 46,154                     |
| Ind. - cemento             | Uso de residuos en plantas secas                | 0,086                      | 0,837                    | 17,802   | 0                    | 1               | 20               | 0                 | 0                    | 0                    | 17,802                     |
| Ind. - cemento             | Uso de residuos en nuevas plantas secas         | 0,077                      | 0,754                    | 16,022   | 0                    | 1               | 20               | 0                 | 0                    | 0                    | 16,022                     |
| Ind. - cemento (42 I)      | Precalcinadores - residuos                      | 0,077                      | 0,697                    | 16,793   | 0,771                | 1               | 20               | 0                 | 7,04                 | 7,04                 | 16,022                     |
| Ind. - cemento (43 I)      | Control de procesos y automatización - residuos | 0,075                      | 0,730                    | 16,224   | 0,699                | 1               | 20               | 0                 | 6,38                 | 6,38                 | 15,526                     |
| Ind. - cemento             | Mantenimiento preventivo - residuos             | 0,076                      | 0,744                    | 16,521   | 0,707                | 1               | 20               | 0                 | 6,46                 | 6,46                 | 15,814                     |
| Ind. - aluminio (44 I)     | Mejora de procesos en fabricación de aluminio   | -0,375                     | -0,025                   | -79,188  | 0                    | 1               | 20               | 0                 | 0                    | 0                    | -79,188                    |
| Ind. - petroquímica (45 I) | Mejora de procesos en petroquímica              | -0,004                     | -0,006                   | -0,540   | 0,666                | 1               | 20               | 0                 | 6,08                 | 6,08                 | -1,207                     |
| Ind. - acero               | Tecnología base EAF                             | 0,544                      | 0,139                    | 139,377  | 17,353               | 1               | 20               | 0                 | 158,41               | 158,41               | 122,024                    |
| Ind. - acero (46 I)        | Gestión de energía EAF                          | 0,517                      | 0,139                    | 117,031  | 0,657                | 1               | 20               | 0                 | 6,00                 | 6,00                 | 116,374                    |
| Ind. - acero (47 I)        | Función Near net shape strip EAF                | 0,517                      | 0,139                    | 107,233  | 9,859                | 1               | 20               | -19,00            | 90,00                | 90,00                | 116,374                    |
| Ind. - acero               | Tecnología base BOF                             | 0,128                      | 0,750                    | 82,727   | 7,437                | 1               | 20               | 0                 | 67,89                | 67,89                | 75,290                     |
| Ind. - acero (48 I)        | Gestión de energía BOF                          | 0,128                      | 0,728                    | 74,158   | 0,329                | 1               | 20               | 0                 | 3,00                 | 3,00                 | 73,829                     |

| Sector (clave)          | Descripción                                 | Intensidad Eléctrica (MWh) | Intensidad Térmica (MWh) | CMLP (€) | CAPEX anualizado (€) | Factor de carga | Vida útil (años) | Mantenimiento (€) | CAPEX supuesto 1 (€) | CAPEX supuesto 2 (€) | Costes de combustibles (€) |
|-------------------------|---|----------------------------|--------------------------|----------|----------------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Ind. - acero (49 I)     | Fundición Near net shape strip BOF          | 0,128                      | 0,735                    | 65,175   | 9,859                | 1               | 20               | -19,00            | 90,00                | 90,00                | 74,316                     |
| Ind. - acero (50 I)     | Recuperación de gases - BOF                 | 0,128                      | 0,711                    | 74,168   | 1,424                | 1               | 20               | 0                 | 13,00                | 13,00                | 72,743                     |
| Ind. - acero (51 I)     | Sustitución de BOF por EAF                  | 0,491                      | 0,139                    | 119,875  | 27,869               | 1               | 20               | -19,00            | 254,41               | 254,41               | 111,006                    |
| Ind. - refinería (52 I) | Gestión de procesos y de la energía         | -0,008                     | -0,075                   | -6,807   | 0,219                | 1               | 20               | 0                 | 2,00                 | 2,00                 | -7,026                     |
| Ind. - cerámica         | Horno Hoffman                               | 0,010                      | 1,332                    | 115,988  | 32,864               | 1               | 20               | 8,00              | 300,00               | 300,00               | 75,124                     |
| Ind. - cerámica         | Horno de túnel                              | 0,018                      | 1,025                    | 113,747  | 43,819               | 1               | 20               | 10,00             | 400,00               | 400,00               | 59,929                     |
| Ind. - cerámica         | Horno de rodillos                           | 0,023                      | 0,717                    | 111,845  | 54,773               | 1               | 20               | 13,00             | 500,00               | 500,00               | 44,071                     |
| Ind. - cerámica (53 I)  | Aislamiento de hornos                       | 0,023                      | 0,681                    | 50,870   | 8,764                | 1               | 20               | 0                 | 80,00                | 80,00                | 42,107                     |
| Ind. - cerámica (54 I)  | Mejora del flujo de aire                    | 0,023                      | 0,681                    | 44,085   | 1,179                | 1               | 20               | 0,80              | 10,76                | 10,76                | 42,107                     |
| Ind. - cerámica (55 I)  | Pre calentamiento con recuperación de gases | 0,023                      | 0,681                    | 45,032   | 2,425                | 1               | 20               | 0,50              | 22,14                | 22,14                | 42,107                     |
| Ind. - cerámica (56 I)  | Recuperación de calor                       | 0,023                      | 0,675                    | 43,538   | 1,753                | 1               | 20               | 0                 | 16,00                | 16,00                | 41,785                     |
| Ind. - cerámica (57 I)  | Cambio de túnel a rodillos                  | 0,023                      | 0,573                    | 119,375  | 68,894               | 1               | 20               | 14,30             | 628,90               | 628,90               | 36,181                     |
| Ind. - cerámica         | Cambio de Hoffman a rodillos                | 0,023                      | 0,573                    | 119,375  | 68,894               | 1               | 20               | 14,30             | 628,90               | 628,90               | 36,181                     |
| Transporte              | Coche diesel convencional                   | 0                          | 0,000703                 | 0,0725   | 0,00909              | 1               | 15               | 0,0021978         | 0,07326              | 0,07326              | 0,061234846                |
| Transporte (58 T)       | Coche diesel más eficiente                  | 0                          | 0,000645                 | 0,0674   | 0,00909              | 1               | 15               | 0,0021978         | 0,07326              | 0,07326              | 0,056135067                |
| Transporte              | Coche gasolina convencional                 | 0                          | 0,000778                 | 0,0831   | 0,00853              | 1               | 15               | 0,0020625         | 0,06875              | 0,06875              | 0,07250856                 |
| Transporte (60 T)       | Coche de gasolina más eficiente             | 0                          | 0,000703                 | 0,0761   | 0,00853              | 1               | 15               | 0,0020625         | 0,06875              | 0,06875              | 0,065486425                |
| Transporte              | Referencia coches 2010                      | 0                          | 0,000741                 | 0,0777   | 0,00881              | 1               | 15               | 0,00213015        | 0,071005             | 0,071005             | 0,066757381                |

| Sector (clave)    | Descripción  | Intensidad Eléctrica (MWh) | Intensidad Térmica (MWh) | CMLP (€) | CAPEX anualizado (€) | Factor de carga | Vida útil (años) | Mantenimiento (€) | CAPEX supuesto 1 (€) | CAPEX supuesto 2 (€) | Costes de combustibles (€) |
|-------------------|--|----------------------------|--------------------------|----------|----------------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Transporte        | Coche eléctrico actual                                 | 0,0001570                  | 0                        | 0,0384   | -                    | 1               | 15               | 0                 | -                    | -                    | 0,0384                     |
| Transporte (69 T) | Coche eléctrico más eficiente                          | 0,0000981                  | 0                        | 0,0405   | 0,01327              | 1               | 15               | 0,00321           | 0,1069               | 0,0856               | 0,0240                     |
| Transporte        | Coche híbrido no enchufable actual                     | 0                          | 0,000222                 | 0,0330   | 0,01014              | 1               | 15               | 0,00245           | 0,0818               | 0,0818               | 0,0204                     |
| Transporte (61 T) | Coche híbrido no enchufable más eficiente              | 0                          | 0,000200                 | 0,0299   | 0,00935              | 1               | 15               | 0,00226           | 0,0754               | 0,0678               | 0,0183                     |
| Transporte (62 T) | Coche híbrido enchufable                               | 7,85E-05                   | 0,000133                 | 0,0444   | 0,01047              | 1               | 15               | 0,00253           | 0,0844               | 0,0760               | 0,0314                     |
| Transporte        | Coche de etanol  | 0                          | 0,000778                 | 0,0900   | 0,01000              | 1               | 15               | 0,00242           | 0,0806               | 0,0806               | 0,0776                     |
| Transporte        | Coche de biodiesel                                     | 0                          | 0,000815                 | 0,0915   | 0,01000              | 1               | 15               | 0,00242           | 0,0806               | 0,0806               | 0,0791                     |
| Transporte        | Camión diesel actual                                   | 0                          | 0,000661                 | 0,0609   | 0,00236              | 1               | 15               | 0,00095           | 0,0190               | 0,0190               | 0,0576                     |
| Transporte (63 T) | Camión diesel Euro V                                   | 0                          | 0,000565                 | 0,0525   | 0,00236              | 1               | 15               | 0,00095           | 0,0190               | 0,0190               | 0,0492                     |
| Transporte (64 T) | Camión de biodiesel                                    | 0                          | 0,000621                 | 0,0500   | 0,00236              | 1               | 15               | 0,00095           | 0,0190               | 0,0190               | 0,0467                     |
| Transporte        | Autobús Euro IV  | 0                          | 0,000274                 | 0,0291   | 0,00369              | 1               | 15               | 0,00149           | 0,0298               | 0,0298               | 0,0239                     |
| Transporte (65 T) | Autobús Euro V   | 0                          | 0,000226                 | 0,0257   | 0,00431              | 1               | 15               | 0,00174           | 0,0347               | 0,0347               | 0,0197                     |
| Transporte        | Autobús de gas natural                                 | 0                          | 0,000387                 | 0,0360   | 0,00369              | 1               | 15               | 0,00149           | 0,0298               | 0,0298               | 0,0308                     |
| Transporte        | Autobús de biodiesel                                   | 0                          | 0,000355                 | 0,0319   | 0,00369              | 1               | 15               | 0,00149           | 0,0298               | 0,0298               | 0,0267                     |
| Transporte (66 T) | Autobús eléctrico                                      | 6,79E-05                   | 0                        | 0,0202   | 0,00431              | 1               | 15               | 0,00174           | 0,0347               | 0,0278               | 0,0141                     |
| Transporte (67 T) | Autobús híbrido  | 0                          | 0,000108                 | 0,0154   | 0,00431              | 1               | 15               | 0,00174           | 0,0347               | 0,0313               | 0,0094                     |
| Transporte        | Referencia autobuses actuales                          | 3,12E-07                   | 0,000304                 | 0,0296   | 0,05013              | 1               | 15               | 0,02020           | 0,4041               | 0,4041               | 0,0265                     |
| Transporte        | Tren de pasajeros actual                               | 7,21E-05                   | 0,000099                 | 0,0360   | 0,00912              | 1               | 15               | 0,00367           | 0,0735               | 0,0735               | 0,0232                     |
| Transporte (68 T) | Tren de pasajeros eficiente                            | 6,82E-05                   | 0                        | 0,0270   | 0,00912              | 1               | 15               | 0,00367           | 0,0735               | 0,0735               | 0,0142                     |
| Transporte        | Transporte de mercancías por ferrocarril actual        | 1,02E-04                   | 0,000041                 | 0,0298   | 0,00372              | 1               | 15               | 0,00150           | 0,0300               | 0,0300               | 0,0246                     |
| Transporte (69 T) | Transporte de mercancías por ferrocarril más eficiente | 9,86E-05                   | 0                        | 0,0257   | 0,00372              | 1               | 15               | 0,00150           | 0,0300               | 0,0300               | 0,0205                     |

| Sector (clave)    | Descripción                                     | Intensidad Eléctrica (MWh) | Intensidad Térmica (MWh) | CMLP (€) | CAPEX anualizado (€) | Factor de carga | Vida útil (años) | Mantenimiento (€) | CAPEX supuesto 1 (€) | CAPEX supuesto 2 (€) | Costes de combustibles (€) |
|-------------------|---|----------------------------|--------------------------|----------|----------------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Transporte (70 T) | Neumáticos de baja resistencia a la rodadura    | 0                          | -0,000023                | -0,0015  | 0,00022              | 1               | 5                | 0                 | 0,0009               | 0,0009               | -0,0017                    |
| Transporte        | Referencia coches 2030                          | 6,87723E-06                | 0,000450                 | 0,0521   | 0,00975              | 1               | 15               | 0,00393           | 0,0786               | 0,0786               | 0,0342                     |
| Transporte        | Referencia autobuses 2030                       | 1,35829E-06                | 0,000226                 | 0,0227   |                      |                 |                  |                   |                      |                      |                            |
| Comercial (72 C)  | Caldera de biomasa                              | 0                          | 0,0247                   | 4,517    | 1,348                | 1               | 20               | 1,230             | 12,305               | 12,305               | 1,939                      |
| Comercial (73 C)  | Microgeneración                                 | -0,0105                    | 0,0350                   | 7,208    | 6,627                | 1               | 15               | 0                 | 53,421               | 53,421               | 0,581                      |
| Comercial (74 C)  | Calefacción urbana                              | -0,0105                    | 0,0350                   | 31,693   | 30,748               | 1               | 15               | 0                 | 247,850              | 247,850              | 0,945                      |
| Comercial         | Calefacción eléctrica                           | 0,0508                     | 0,0000                   | 12,096   | 0,203                | 1               | 15               | 0,082             | 1,633                | 1,633                | 11,812                     |
| Comercial         | Caldera de gas                                  | 0                          | 0,0300                   | 3,462    | 0,799                | 1               | 20               | 0,073             | 7,290                | 7,290                | 2,591                      |
| Comercial (75 C)  | Caldera de gas de condensación                  | 0                          | 0,0210                   | 4,105    | 1,198                | 1               | 20               | 1,093             | 10,934               | 10,934               | 1,814                      |
| Comercial (76 C)  | Bomba de calor                                  | 0,0070                     | 0                        | 10,315   | 5,965                | 1               | 20               | 2,722             | 54,448               | 54,448               | 1,628                      |
| Comercial (77 C)  | Bomba de calor eficiente                        | 0,0035                     | 0                        | 7,375    | 6,561                | 1               | 20               | 0                 | 59,892               | 59,892               | 0,814                      |
| Comercial         | Caldera de otros combustibles                   | 0                          | 0,0300                   | 5,266    | 1,440                | 1               | 20               | 1,314             | 13,145               | 13,145               | 2,511                      |
| Comercial (78 C)  | Caldera de gas de baja temperatura              | 0                          | 0,0450                   | 5,826    | 1,014                | 1               | 20               | 0,926             | 9,258                | 9,258                | 3,886                      |
| Comercial (71 C)  | Bomba de calor geotérmica                       | 0,0044                     | 0                        | 24,985   | 23,957               | 1               | 20               | 0                 | 218,689              | 196,820              | 1,028                      |
| Comercial (80 C)  | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión) | 0,0215                     | 0,0215                   | 12,841   | 5,921                | 1               | 10               | 0                 | 38,000               | 38,000               | 6,920                      |
| Comercial (81 C)  | Doble acristalamiento                           | 0,0318                     | 0,0339                   | 12,806   | 2,393                | 1               | 10               | 0                 | 15,356               | 15,356               | 10,414                     |
| Comercial (79 C)  | Sistemas de gestión de la climatización         | 0,0315                     | 0,0335                   | 10,729   | 0,409                | 1               | 10               | 0                 | 2,624                | 2,624                | 10,320                     |
| Comercial (82 C)  | Iluminación fluorescente                        | 0,0312                     | 0                        | 7,303    | 0,037                | 1               | 5                | 0                 | 0,145                | 0,145                | 7,266                      |
| Comercial         | Iluminación incandescente                       | 0,0781                     | 0                        | 18,207   | 0,042                | 1               | 1                | 0                 | 0,039                | 0,039                | 18,165                     |
| Comercial (83 C)  | Iluminación LED                                 | 0,0078                     | 0                        | 1,865    | 0,048                | 1               | 25               | 0                 | 0,474                | 0,474                | 1,817                      |

| Sector (clave)   | Descripción                               | Intensidad Eléctrica (MWh) | Intensidad Térmica (MWh) | CMLP (€) | CAPEX anualizado (€) | Factor de carga | Vida útil (años) | Mantenimiento (€) | CAPEX supuesto 1 (€) | CAPEX supuesto 2 (€) | Costes de combustibles (€) |
|------------------|---|----------------------------|--------------------------|----------|----------------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Comercial (84 C) | Calentador de agua solar                  | 0                          | 0                        | 2,706    | 1,929                | 1               | 15               | 0,777             | 15,549               | 15,549               | 0                          |
| Comercial (85 C) | Calentador de agua gas de condensación    | 0                          | 0,0153                   | 1,878    | 0,290                | 1               | 20               | 0,265             | 2,646                | 2,646                | 1,323                      |
| Comercial        | Calentador de agua gas convencional       | 0                          | 0,0219                   | 2,395    | 0,264                | 1               | 20               | 0,241             | 2,406                | 2,406                | 1,891                      |
| Comercial        | Calentador de agua GLP                    | 0                          | 0,0219                   | 2,685    | 0,264                | 1               | 20               | 0,241             | 2,406                | 2,406                | 2,180                      |
| Comercial (86 C) | Calentador de agua biomasa                | 0                          | 0,0180                   | 1,969    | 0,290                | 1               | 20               | 0,265             | 2,646                | 2,646                | 1,415                      |
| Comercial        | Calentador de agua otros combustibles     | 0,0371                     | 0                        | 9,131    | 0,264                | 1               | 20               | 0,241             | 2,406                | 2,406                | 8,627                      |
| Comercial (87 C) | Equipos eléctricos eficientes             | 0,0227                     | 0                        | 15,546   | 10,258               | 1               | 5                | 0                 | 39,900               | 39,900               | 5,288                      |
| Comercial        | Tecnología base calefacción               | 0,0025                     | 0,0366                   | 4,866    | 1,035                | 1               | 18               | 0                 | 1,035                | 1,035                | 3,831                      |
| Comercial        | Tecnología base Aire acondicionado        | 0,0320                     | 0,0000                   | 8,214    | 0,779                | 1               | 10               | 0                 | 5,000                | 5,000                | 7,435                      |
| Comercial        | Tecnología base ACS                       | 0,0005                     | 0,0066                   | 0,975    | 0,269                | 1               | 18               | 0                 | 0,269                | 0,269                | 0,706                      |
| Comercial        | Tecnología base iluminación               | 0,0343                     | 0                        | 7,976    | 0                    | 1               | 10               | 0                 | 0,000                | 0,000                | 7,976                      |
| Comercial        | Tecnología base otros consumos eléctricos | 0,0284                     | 0                        | 14,323   | 7,713                | 1               | 5                | 0                 | 30,000               | 30,000               | 6,610                      |
| Comercial        | Tecnología base climatización             | 0,0344                     | 0,0366                   | 11,837   | 0,571                | 1               | 18               | 0                 | 5,000                | 6,035                | 11,266                     |
| Comercial        | Tecnología base calefacción 2030          | 0,0017                     | 0,0112                   | 5,783    | 0                    | 1               | 10               | 0                 | 0                    | 0                    | 0                          |
| Comercial        | Tecnología base ACS 2030                  | 0,0037                     | 0,0112                   | 3,094    | 0                    | 1               | 10               | 0                 | 0                    | 0                    | 0                          |

Nota: CMLP es el coste marginal a largo plazo, CAPEX son los costes de capital. (capital expenditures).

## 7.4

## Apéndice D - Efectos del solape

Como descrito en el capítulo tres estamos usando un cálculo adicional para adaptar el potencial de ahorro de tecnologías que tienen interacciones entre ellos. Las seis curvas generadas en este informe tienen en cuenta ya el efecto del solape. 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.

En este apéndice ofrecemos información detallada referente a las interacciones de medidas comparando los resultados concretos con y sin interacciones. En los siguientes cuadros encuentran los datos del escenario tecnológico 2030 con coste social. El primer cuadro 16 es igual a aquel del capítulo 5. El segundo cuadro 17 demuestra los resultados sin interacciones. En el tercer cuadro 18 se encuentran las diferencias entre las dos primeras.

Cuadro 16. Efectos del solape I

| Escenario 2030 político con solapes |   |        |            |
|-------------------------------------|---|--------|------------|
| Medida                              |   | €/MWh  | Reducción  |
| Transporte (64 T)                   | Camión de biodiesel                             | -274,1 | 730.720    |
| Residencial                         | Calentador de agua biomasa                      | -244,8 | 391.737    |
| Comercial                           | Calentador de agua biomasa                      | -237,6 | 40.210     |
| Residencial                         | Iluminación fluorescente                        | -179,8 | 1.742.693  |
| Residencial                         | Iluminación LED                                 | -178,2 | 1.742.693  |
| Comercial (83 C)                    | Iluminación LED                                 | -169,1 | 2.450.172  |
| Ind. - amoníaco                     | Gestión de la energía                           | -148,5 | 124.695    |
| Ind. - aluminio                     | Mejora de procesos                              | -146,7 | 87.048     |
| Ind.- acero                         | Gestión de energía EAF                          | -133,7 | 164.028    |
| Ind. - refinería                    | Gestión de procesos y de la energía             | -78,7  | 1.978.996  |
| Transporte (68 T)                   | Tren de pasajeros eficiente                     | -69,2  | 7.046.220  |
| Transporte (70 T)                   | Neumáticos de baja resistencia a la rodadura    | -64,1  | 9.500.137  |
| Transporte (69 T)                   | Transporte de mercancías por ferrocarril        | -62,4  | 26.124.986 |
| Transporte                          | Autobús híbrido                                 | -61,0  | 545.056    |
| Residencial                         | Frigoríficos eficientes                         | -56,8  | 1.005.266  |
| Comercial                           | Sistemas de gestión de la climatización         | -47,3  | 1.431.086  |
| Ind.- acero                         | Gestión de energía BOF                          | -42,8  | 16.915     |
| Transporte (59 T)                   | Coche eléctrico                                 | -36,0  | 2.017.791  |
| Transporte                          | Coche híbrido enchufable                        | -35,4  | 1.657.428  |
| Eléctrico (4 P)                     | Eólica onshore                                  | -23,2  | 44.834.973 |
| Residencial (22 R)                  | Calentador de agua solar                        | -20,3  | 23.344.758 |
| Transporte                          | Autobús eléctrico                               | -19,2  | 610.483    |
| Ind. - cemento (43 I)               | Control de procesos y automatización - residuos | -12,9  | 3.988.359  |
| Ind. - cemento (42 I)               | Precalcinadores - residuos                      | -6,6   | 4.171.404  |
| Eléctrico (5 P)                     | Eólica offshore                                 | 9,4    | 6.747.123  |
| Eléctrico (2 P)                     | Solar FV  | 33,7   | 22.548.752 |

| Escenario 2030 político con solapes |  |        |            |
|-------------------------------------|--|--------|------------|
| Medida                              |  | €/MWh  | Reducción  |
| Eléctrico (3 P)                     | Solar termoeléctrica   | 72,2   | 28.750.548 |
| Eléctrico                           | Mareas   | 77,6   | 829.510    |
| Comercial (80 C)                    | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              | 83,7   | 7.731.494  |
| Residencial                         | Hornos eficientes  | 138,5  | 214.626    |
| Comercial (87 C)                    | Equipos eléctricos eficientes                                | 156,8  | 2.971.822  |
| Comercial                           | Calentador de agua solar                                     | 159,5  | 2.396.236  |
| Residencial (19 R)                  | Sistemas de gestión de la climatización                      | 176,4  | 2.424.938  |
| Residencial                         | Lavavajillas eficientes                                      | 196,5  | 414.009    |
| Comercial                           | Bomba de calor eficiente                                     | 235,7  | 995.318    |
| Residencial (13 R)                  | Bomba de calor avanzada                                      | 254,0  | 4.082.628  |
| Residencial                         | Cocina de inducción de alta eficiencia                       | 318,1  | 1.251.262  |
| Residencial                         | Lavadoras eficientes   | 321,4  | 465.760    |
| Comercial                           | Doble acristalamiento  | 600,2  | 801.257    |
| Residencial (17 R)                  | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 691,5  | 12.710.937 |
| Residencial (18 R)                  | Doble acristalamiento  | 1343,0 | 2.707.150  |
| Residencial                         | Bomba de calor geotérmica                                    | 2107,7 | 1.407.055  |
| Comercial (71 C)                    | Bomba de calor geotérmica                                    | 2134,9 | 572.862    |

### Cuadro 17 – Efectos del solape II

| Escenario 2030 político sin solapes |  |        |           |
|-------------------------------------|--|--------|-----------|
| Medida                              |  | €/MWh  | Reducción |
| Transporte (64 T)                   | Camión de biodiesel                          | -274,1 | 730720    |
| Residencial                         | Calentador de agua biomasa                   | -244,8 | 391737    |
| Comercial                           | Calentador de agua biomasa                   | -237,6 | 40210     |
| Residencial                         | Iluminación fluorescente                     | -179,8 | 1742693   |
| Residencial                         | Iluminación LED                              | -178,2 | 1742693   |
| Comercial (83 C)                    | Iluminación LED                              | -169,1 | 2450172   |
| Ind. - amoníaco                     | Gestión de la energía                        | -148,5 | 124695    |
| Ind. - aluminio                     | Mejora de procesos                           | -146,7 | 87048     |
| Ind.- acero                         | Gestión de energía EAF                       | -133,7 | 164028    |
| Ind. - refinería                    | Gestión de procesos y de la energía          | -78,7  | 1978996   |
| Transporte (68 T)                   | Tren de pasajeros eficiente                  | -69,2  | 7046220   |
| Transporte (70 T)                   | Neumáticos de baja resistencia a la rodadura | -64,1  | 9500137   |
| Transporte (69 T)                   | Transporte de mercancías por ferrocarril     | -62,4  | 26124986  |
| Transporte                          | Autobús híbrido                              | -61,0  | 545056    |
| Residencial                         | Frigoríficos eficientes                      | -56,8  | 1005266   |
| Comercial                           | Sistemas de gestión de la climatización      | -47,3  | 1431086   |
| Ind.- acero                         | Gestión de energía BOF                       | -42,8  | 16915     |
| Transporte (59 T)                   | Coche eléctrico                              | -36,0  | 2017791   |



| Escenario 2030 político sin solapes |  |        |           |
|-------------------------------------|--|--------|-----------|
| Medida                              |  | €/MWh  | Reducción |
| Transporte                          | Coche híbrido enchufable                                     | -35,4  | 1657428   |
| Eléctrico (4 P)                     | Eólica onshore   | -23,2  | 44834973  |
| Residencial (22 R)                  | Calentador de agua solar                                     | -20,3  | 23344758  |
| Transporte                          | Autobús eléctrico  | -19,2  | 610483    |
| Ind. - cemento (43 I)               | Control de procesos y automatización - residuos              | -12,9  | 3988359   |
| Ind. - cemento (42 I)               | Precalcinadores - residuos                                   | -6,6   | 4171404   |
| Eléctrico (5 P)                     | Eólica offshore  | 9,4    | 6747123   |
| Eléctrico (2 P)                     | Solar FV   | 33,7   | 22548752  |
| Eléctrico (3 P)                     | Solar termoeléctrica   | 72,2   | 28750548  |
| Comercial (80 C)                    | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              | 77,3   | 8369680   |
| Eléctrico                           | Mareas   | 77,6   | 829510    |
| Residencial                         | Hornos eficientes  | 138,5  | 214626    |
| Comercial (87 C)                    | Equipos eléctricos eficientes                                | 156,8  | 2971822   |
| Comercial                           | Calentador de agua solar                                     | 159,5  | 2396236   |
| Residencial (19 R)                  | Sistemas de gestión de la climatización                      | 176,4  | 2424938   |
| Residencial                         | Lavavajillas eficientes                                      | 196,5  | 414009    |
| Comercial                           | Bomba de calor eficiente                                     | 235,7  | 995318    |
| Residencial (13 R)                  | Bomba de calor avanzada                                      | 254,0  | 4082628   |
| Residencial                         | Cocina de inducción de alta eficiencia                       | 318,1  | 1251262   |
| Residencial                         | Lavadoras eficientes   | 321,4  | 465760    |
| Comercial                           | Doble acristalamiento  | 371,2  | 1295373   |
| Residencial (17 R)                  | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | 636,8  | 13802659  |
| Residencial (18 R)                  | Doble acristalamiento  | 842,6  | 4315102   |
| Residencial                         | Bomba de calor geotérmica                                    | 2107,7 | 1407055   |
| Comercial (71 C)                    | Bomba de calor geotérmica                                    | 2134,9 | 572862    |

### Cuadro 18 – Efectos del solape III

| Diferencia        |                                     |       |           |
|-------------------|-------------------------------------|-------|-----------|
| Medida            |                                     | €/MWh | Reducción |
| Transporte (64 T) | Camión de biodiesel                 | 0,0   | 0         |
| Residencial       | Calentador de agua biomasa          | 0,0   | 0         |
| Comercial         | Calentador de agua biomasa          | 0,0   | 0         |
| Residencial       | Iluminación fluorescente            | 0,0   | 0         |
| Residencial       | Iluminación LED                     | 0,0   | 0         |
| Comercial (83 C)  | Iluminación LED                     | 0,0   | 0         |
| Ind. - amoníaco   | Gestión de la energía               | 0,0   | 0         |
| Ind. - aluminio   | Mejora de procesos                  | 0,0   | 0         |
| Ind. - acero      | Gestión de energía EAF              | 0,0   | 0         |
| Ind. - refinería  | Gestión de procesos y de la energía | 0,0   | 0         |

| Diferencia            |  |        |           |
|-----------------------|--|--------|-----------|
| Medida                |  | €/MWh  | Reducción |
| Transporte (68 T)     | Tren de pasajeros eficiente                                  | 0,0    | 0         |
| Transporte (70 T)     | Neumáticos de baja resistencia a la rodadura                 | 0,0    | 0         |
| Transporte (69 T)     | Transporte de mercancías por ferrocarril                     | 0,0    | 0         |
| Transporte            | Autobús híbrido  | 0,0    | 0         |
| Residencial           | Frigoríficos eficientes                                      | 0,0    | 0         |
| Comercial             | Sistemas de gestión de la climatización                      | 0,0    | 0         |
| Ind.- acero           | Gestión de energía BOF                                       | 0,0    | 0         |
| Transporte (59 T)     | Coche eléctrico  | 0,0    | 0         |
| Transporte            | Coche híbrido enchufable                                     | 0,0    | 0         |
| Eléctrico (4 P)       | Eólica onshore   | 0,0    | 0         |
| Residencial (22 R)    | Calentador de agua solar                                     | 0,0    | 0         |
| Transporte            | Autobús eléctrico  | 0,0    | 0         |
| Ind. - cemento (43 I) | Control de procesos y automatización - residuos              | 0,0    | 0         |
| Ind. - cemento (42 I) | Precalcinadores - residuos                                   | 0,0    | 0         |
| Eléctrico (5 P)       | Eólica offshore  | 0,0    | 0         |
| Eléctrico (2 P)       | Solar FV   | 0,0    | 0         |
| Eléctrico (3 P)       | Solar termoeléctrica   | 0,0    | 0         |
| Comercial (80 C)      | Aislamiento (excepto acristalamiento y gestión)              | -6,4   | 638187    |
| Eléctrico             | Mareas   | 0,0    | 0         |
| Residencial           | Hornos eficientes  | 0,0    | 0         |
| Comercial (87 C)      | Equipos eléctricos eficientes                                | 0,0    | 0         |
| Comercial             | Calentador de agua solar                                     | 0,0    | 0         |
| Residencial (19 R)    | Sistemas de gestión de la climatización                      | 0,0    | 0         |
| Residencial           | Lavavajillas eficientes                                      | 0,0    | 0         |
| Comercial             | Bomba de calor eficiente                                     | 0,0    | 0         |
| Residencial (13 R)    | Bomba de calor avanzada                                      | 0,0    | 0         |
| Residencial           | Cocina de inducción de alta eficiencia                       | 0,0    | 0         |
| Residencial           | Lavadoras eficientes   | 0,0    | 0         |
| Comercial             | Doble acristalamiento  | -228,9 | 494115    |
| Residencial (17 R)    | Aislamiento de viviendas (excepto acristalamiento y gestión) | -54,7  | 1091723   |
| Residencial (18 R)    | Doble acristalamiento  | -500,5 | 1607952   |
| Residencial           | Bomba de calor geotérmica                                    | 0,0    | 0         |
| Comercial (71 C)      | Bomba de calor geotérmica                                    | 0,0    | 0         |

## 7.5 Fuentes de datos

En el siguiente cuadro se presentan las fuentes consultadas para completar la base de datos de las diferentes tecnologías.

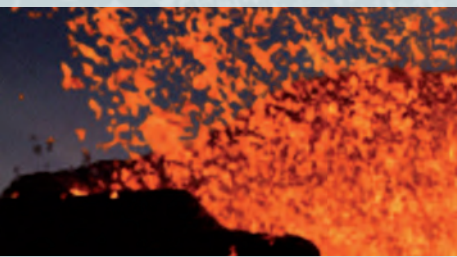
**Cuadro 19. Fuentes de datos**

|                           | <b>Generación</b>  | <b>Industrial</b>  | <b>Residencial</b>  | <b>Comercial</b>   | <b>Transporte</b>   |
|---------------------------|--|--|---|--|---|
| Intensidades              | BNEF, BWEA, European Commission (2008), EWEA, Ministerio de industria, turismo y comercio (2010), SETIS, Frias et al. (2009), European Wind Energy Association, IDEA (2011A), SETIS, | fertiberia, Institute for Prospective Technological Studies, Moya et al. (2010), Linares & Santamaria (2011), Kirschen et al. (2011), Worrel et al. (1999), Garulo Galiana (2011), steelonthenet, OFICEMEN (2010), Fundación Gas Natural (2002), Sociedad para el desarrollo energético de Andalucía, IDAE (2011C), Shammakh et al. (2008) | Ministerio de Fomento (2010), Wesselink & Deng (2009), INE, Asociación de Empresas de Eficiencia Energética, Ministerio de medioambiente y medio rural y marino (2010), Odyssee online indicators, IDAE (2010C), Instituto Nacional, de Estadística (2010), WWF (2010), Bertoldi & Atanasiu (2009), Labandeira et al. (2011), Solydi, IDAE (2011B), IDAE (2011C), | Wesselink & Deng (2009), IEA (2010A), BNEF, Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (A y B), Bertoldi & Atanasiu (2009), Solydi, IDAE (2011C), | Wesselink & Deng (2009), Eurostat (2011), García Álvarez (2008), Lowell et al., Cañizares & García Álvarez (2010), Richardson & McAllister (2009), vialibre, IDAE (2011C), Odyssee online indicators, |
| Costes Capital (CAPEX)    | European Commission (2008), BNEF, EWEA, SETIS, IDEA (2011A), SETIS,  | BNEF, Institute for Prospective Technological Studies, Moya et al. (2010), Linares & Santamaria (2011), Shammakh et al. (2008), Kirschen et al. (2011), Worrel et al. (1999), Garulo Galiana (2011), steelonthenet, Wesselink & Deng (2009), Sociedad para el desarrollo energético de Andalucía, Hyspalit,                                | Wesselink & Deng (2009), BNEF, IDAE (2010C), Solydi, WWF (2010), IDAE (2010D), European Commission (2008),  | Wesselink & Deng (2009), IDAE (2011A), Solydi, Bertoldi & Atanasiu (2009), European Commission (2008),   | Wesselink & Deng (2009), IDAE (2010D), www.coches.com, European Commission (2008), Lowell et al., Cañizares & García Álvarez (2010), MIT(2008), Richardson & McAllister (2009), vialibre,             |
| Mantenimiento & Vida útil | BNEF, SETIS  | Wesselink & Deng (2009), Institute for Prospective Technological Studies, Moya et al. (2010), Linares & Santamaria (2011), Kirschen et al. (2011), Worrel et al. (1999), Garulo Galiana (2011), steelonthenet,   | Wesselink & Deng (2009), IEA (2010A), IDAE (2010C),   | Wesselink & Deng (2009), International Energy Agency (2010A), IDAE (2010C), Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (A y B),                   | Wesselink & Deng (2009), García Álvarez (2008), Coches.com, Cañizares & García Álvarez (2010),  |

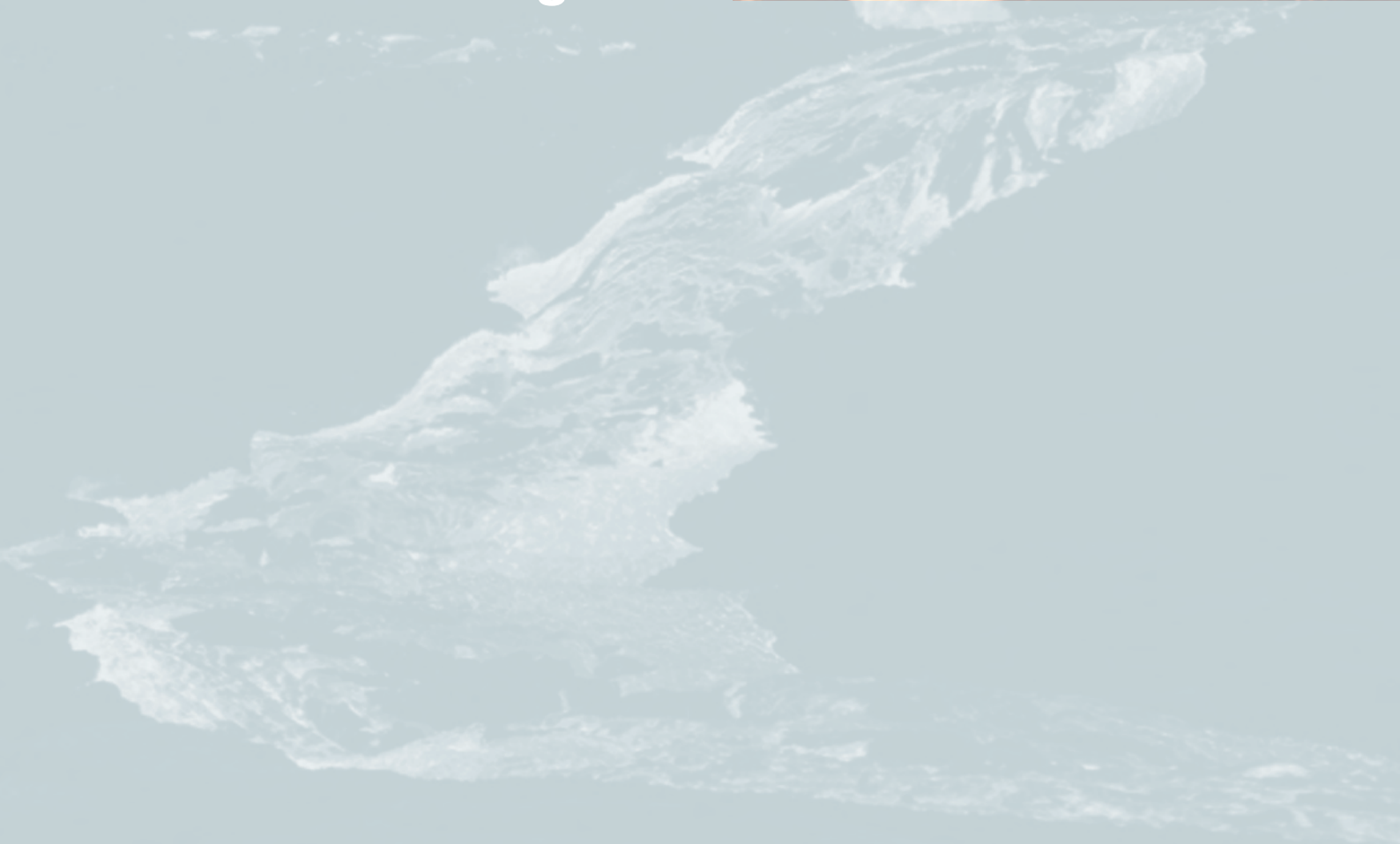
|             | <b>Generación</b>  | <b>Industrial</b>   | <b>Residencial</b>  | <b>Comercial</b>   | <b>Transporte</b>  |
|-------------|--|---|---|--|--|
| Penetración | EWEA, BWEA, ELCOGAS (2010), Ministerio de industria, turismo y comercio (2010), Gobierno de España (2010), Frias et al. (2009), Comisión Nacional de Energía (2011), European comission (2009), IDEA (2010B), Ministerio de Industria, Turismo, comercio (2010), | Institute for Prospective Technological Studies, Moya et al. (2010), Linares & Santamaria (2011), Kirschen et al. (2011), Shammakh et al. (2008), Worrel et al. (1999), Garulo Galiana (2011), steelonthenet, OFICEMEN (2010), European Aluminium Association (2010), | Eurostat, OECD, INE, Wesselink & Deng (2009), IDAE (2010C), Instituto Nacional de Estadística (2010), WWF (2010), Labandeira et al. (2011), | Wesselink & Deng (2009), Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (A), Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (B), | Wesselink & Deng (2009), dirección general de tráfico (2010), Garcia Álvarez (2008), Lowell et al., Mendicluce & Schipper (2011), MIT (2008), Ministerio de Fomento (2011), TREMOVE, |

El documento Wesselink y Deng (2009) es un resumen general del estudio realizado. Se encuentra datos específicos sectoriales en la siguiente documentación relacionada:

Leduc y Blomen (2009), transporte; Overgaag y Harmsen (2009), industria; Bettgenhäuser et al. (2009), residencial y comercial.



## Bibliografía



- Agencia Tributaria (2010) Informe anual de recaudación tributaria 2010, Ministerio de Economía y Hacienda, Gobierno de España.
- 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.
- Amir, R., Germain, M. y van Steenberghe, V. (2008) On the Impact of innovation on the Marginal Abatement Cost Curve, *Journal of Public Economic Theory* 10(6), p. 985-1010.
- Anderson, J. C., Narus, J. A. (1998) Business Marketing: Understand What Customers Value, *Harvard Business Review* 76(6), p. 53-65.
- Asociación de Empresas de Eficiencia Energética (año no disponible) Estudio sobre el mercado de la eficiencia energética en España, Madrid.
- Baker, E., Clarke, L. y Shittu, E. (2008) Technical change and the marginal cost of abatement, *Energy Economics* 30, p. 2799-2816.
- Bättig, R. y Ziegler, M (2009) Swiss Greenhouse Gas Abatement Cost Curve, McKinsey & Company. Zürich, Suiza.
- Bernstein, M., Lempert, R., Loughran, D. & 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.
- Bertoldi, P. y Atanasiu, B. (2009) Electricity Consumption and Efficiency Trends in the European Union – Status Report 2009, JRC Scientific and technical Reports, Institute for Energy (European Commission).
- Bettgenhäuser, K., Boermans, T. & Schimschar, S. (2009) Sectoral Emission Reduction Potentials and Economic Costs for Climate Change (SERPEC-CC): Residential buildings and service sector, Ecofys.
- Boehringer, C., Rutherford, T. F. (2007) Combining Bottom-Up and Top-Down, *Energy Economics* 30(2), p. 574-596.
- British Wind Energy Association, [www.bwea.com/energy/rely.html](http://www.bwea.com/energy/rely.html)
- 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](http://www.electricitymarket.net).
- Coches.com (2011) Informe Precios de coches.

- Comisión Nacional de energía (2011) Información sobre la Ventas de Energía del Régimen Especial, [http://www.cne.es/cne/Publicaciones?id\\_nodo=143&accion=1&soloUltimo=si&slIdCat=10&keyword=&auditoria=F](http://www.cne.es/cne/Publicaciones?id_nodo=143&accion=1&soloUltimo=si&slIdCat=10&keyword=&auditoria=F).
- Comisión nacional para el uso eficiente de la energía (2010) Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, Comisión nacional para el uso eficiente de la energía (CONUEE), secretaria de energía de los estados unidos mexicanos.
- Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos (2010) Informe Resumen anual 2009 del Boletín Estadístico de Hidrocarburos, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Gobierno de España.
- Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos (2011) Boletín Estadístico de Hidrocarburos 2010 Informe Resumen, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Gobierno de España.
- Creyts, J., Derkach, A., Nyquist, S., Ostrowski, K. y Stephenson, J. (2007) Reducing US Greenhouse Gas Emissions: How Much at What Cost? McKinsey & Company. (Diciembre), 107, Estados Unidos.
- Denis, N., Eykerman, P., Peters, C. y Verhoeven, D. (2009) Pathways to World-Class Energy Efficiency in Belgium, McKinsey & Company 60, Bélgica.
- Dirección general de tráfico (2010) Anuario estadístico general año 2009.
- 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, The Energy Journal – Endogeneous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilization Special Issue (IAEE).
- ELCOGAS (2010) central térmica GIC - Informe anual 2009, <http://www.elcogas.es/es/principales-indicadores/datos-economico-financieros>
- Enkvist, P., Nauclér, T. y Rosander, J. (2007) A cost curve for greenhouse gas reduction, MCKinsey Quarterly.
- Enkvist, P., Koch, T., Lillienstrale, A., Lindberg, A., Naucler, T. y Nilsson, G. (2008) Greenhouse Gas Abatement Opportunities in Sweden, McKinsey & Company Estocolmo, Suecia.
- European Aluminum Association (2010) Aluminum Use in Europe, Country Profiles 2005-2008.
- European Commission (2008) Energy Sources, Production Costs and Performance of Technologies for Power Generation, Heating and Transport, Bruselas.
- European Commission (2009) EU Energy Trends to 2030 – update 2009, Directorate-General for Energy, Bruselas.
- European Commission (2010) Europe 2020 – a strategy for smart, sustainable and inclusive growth, Bruselas.
- European Commission (2011a) A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, Bruselas, [http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/index_en.htm).
- European Commission (2011b) A resource-efficient Europe – Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy, Bruselas, <http://ec.europa.eu/resource-efficient-europe/>
- European Commission (2011c) Proposal for a COUNCIL DIRECTIVE amending Directive 2003/96/EC restructuring the Community framework for the taxation of energy products and electricity, Bruselas.
- European Wind Energy Association, [www.ewea.org](http://www.ewea.org).
- Eurostat (2011) Energy transport and environment indicators, Eurostat Pocketbooks edition 2010.
- Eurostat database, [www.eurostat.eu.org](http://www.eurostat.eu.org).

- Fertiberia, [www.fertiberia.es](http://www.fertiberia.es).
- Fischer, C. y Morgenstern, R. D. (2006) Carbon Abatement Costs: Why the big range of Estimates? *Energy Journal* 27(2), p. 73-86.
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (a) Guía de Auditorias Energéticas en Locales Comerciales, Comunidad de Madrid, [www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-auditorias-energeticas-en-locales-comerciales.pdf](http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-auditorias-energeticas-en-locales-comerciales.pdf)
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (b) Guía de Gestión Energética en el sector Hotelero, Comunidad de Madrid, [http://www.gobiernodecanarias.org/energia/doc/eficienciaenergetica/guias/Guia%20de%20gestion%20energetica%20en%20el%20sector%20hotelero%20\(Comunidad%20de%20Madrid\).pdf](http://www.gobiernodecanarias.org/energia/doc/eficienciaenergetica/guias/Guia%20de%20gestion%20energetica%20en%20el%20sector%20hotelero%20(Comunidad%20de%20Madrid).pdf)
- Fundación Gas Natural (2002) Ventajas ambientales del gas natural en el sector cerámico. [http://portal.gasnatural.com/archivos/castellano/Fundacion/Ficha/Ficha\\_B2.pdf](http://portal.gasnatural.com/archivos/castellano/Fundacion/Ficha/Ficha_B2.pdf).
- Frias Marín, P., Linares, P. y Gómez San Román, T. (2009) capítulo 2 de "Tratado de Energías Renovables – tomo 1, análisis prospectivo general.
- García Álvarez (2008) consumo de energía y emisiones del tren de alta velocidad en comparación con otros modos, Versión extendida, actualizada y corregida del artículo publicado en la revista "Anales de Mecánica y Electricidad" (Vol. LXXXIV, Fas. V, sept.-octub. 2007).
- Garulo Galiana, R. (2011) Valoración Económica De La Reducción De Emisiones De CO2 En La Industria Cerámica De España, proyecto de fin de carrera, Universidad Miguel Hernández De Elche.
- Gobierno de España (2010) Acuerdo político para la recuperación del crecimiento económico y la creación de empleo, <http://www.lamoncloa.gob.es/NR/rdonlyres/442B5A20-C495-4E65-9B37-85B7885F7984/133276/Propuestas-delGobiernoparalarecuperacioneconómica.pdf>.
- Görner, S. y Downey, L. (2008) An Australian Cost curve for Greenhouse Gas Reduction, McKinsey & Company. Sydney, Australia.
- Grant, J. (2008) "Green marketing", *Strategic Direction* 24 (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(1), p. 33-54.
- Hein, J., Mittelbach, K., Schroder, M., Birnbaum, L., Hartmann, A. y Malorny, C. (2007) Costs and Potentials of Greenhouse Gas Abatement in Germany, McKinsey & Company. Berlín, Alemania.
- Hourcade, J-C., Jaccard, M. y Gherzi, F. (2006) Hybrid Modeling: New answers to Old Challenges – Introduction to the Special Issue of *The Energy Journal*, *The Energy Journal* 27, p. 1-11.
- HISPALYT, [www.hispalyt.es/estadisticas](http://www.hispalyt.es/estadisticas).
- Institute for Prospective Technological Studies, Joint research Centre of the European Commission, BREF documents on Best Available Technologies (BATs) in various industrial sectors (datos de publicación varían según los informes por sector), <http://eippcb.jrc.es/reference/>
- Instituto Nacional de Estadística, [www.ine.es](http://www.ine.es).
- Instituto Nacional de Estadística (2010) Encuesta presupuesto familiares año 2009.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2008) Boletín Electrónico del IDAE, nº 48.



- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2009) Energy Efficiency Policies and Measures in Spain.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2010a) Informe anual de consumos energéticos 2009.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2010b) Plan de acción de energías renovables para España 2011-2020, [http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630\\_PANER\\_Espanaversión\\_final.pdf](http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630_PANER_Espanaversión_final.pdf).
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2010c) Informes técnicos IDAE programa BIOMCASA.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2010d) Guía práctica de la energía consumo eficiente y responsable.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2011a) Evaluación del Potencial de Energía Solar Térmica y Fotovoltaica Derivado Del Cumplimiento del código Técnico de Edificación – Estudio Técnico per 2011-2020.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2011b) Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 (2º Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética de España).
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2011c) Informe anual de indicadores energéticos 2009.
- International Energy Agency (2010a) Energy Technology Perspectives – Scenarios & Strategies to 2050, París.
- International Energy Agency (2010b) World Energy Outlook 2010, París.
- Jackson, T. (1991) Least-cost greenhouse planning supply curves for global warming abatement, *Energy Policy* 19(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.
- Koerth-Baker, M., Turner, K., deFence, J. y Xin Cui, C. (2011) The Rebound Effect: Some Questions Answered, <http://d.repec.org/n?u=RePEc:str:wpaper:1107&r=ene>.
- Kirschen, M., Badr, K. y Pfeifer, H. (2011) Influence of direct reduced iron on the energy balance of the electric arc furnace in steel industry, *Energy* 36, p. 6146-6155.
- Kuik, O., Brander, L. y Tol, R. S. J. (2009) Marginal Abatement Costs of Greenhouse Gas Emissions: A Meta-Analysis, *Energy Policy* 37(4), p. 1395-1403.
- Labandeira, X., Labeaga, J.M. y López-Otero, X. (2011) Energy Demand for Heating in Spain: An Empirical Analysis with Policy Purposes. WP 06/2011, Economics for Energy.
- Leduc, G. y Blomen, E. (2009) Sectoral Emission Reduction Potentials and Economic Costs for Climate Change (SERPECC): Transport – Passenger cars, road freight and aviation, Ecofys, JRC-IPTS.
- Leidl, P., Visek, T., Kreidl, V. y Safarik, P. (2008) Costs and Potentials of Greenhouse Gas Abatement in the Czech Republic – Key Findings. McKinsey & Company, Praga, República Checa.
- Linares, P. y Labandeira, X. (2010) Energy Efficiency: Economics and Policy. Colección Estudios Económicos – Economía de Cambio Climático, Fundación de Estudios de Economía Aplicada.
- Lowell, D. M., Parsley, W., Bush, C. y Zupo, D. (año no disponible) Comparison of Clean Diesel Buses to CNG buses, MTA New York City Transit, Department of Buses, Research & development.
- Martín Cañizares, M. P. y García Álvarez, A. (2010) Caracterización de los perfiles operacionales del ferrocarril español para el cálculo del consumo de energía y costes operativos, presentación en el IX Congreso de Ingeniería del Transporte "CIT 2010", Madrid el 8 de julio de 2010.

- Massachusetts Institute of Technology (2008) On the road in 2035, Reducing Transportation's Petroleum Consumption and GHG emissions, Laboratory for Energy and the Environment.
- Matzinger, S. (2009) Pathways to a Low-Carbon Economy for Brazil. McKinsey & Company. Sao Paulo, Brasil.
- McKinsey & Company (2007) Energy Savings 2020 - How to triple the impact of energy saving policies in Europe, McKinsey Global Institute.
- McKinsey & Company (2009a) Pathways to a Low-Carbon Economy, Version 2 of the Global Green House Gas Abatement Cost Curve.
- McKinsey & Company (2009b) Greenhouse Gas Abatement Potential in Israel. McKinsey & Company, Israel.
- McKinsey & Company (2010) Climate Change Special Initiative – Greenhouse gas abatement cost curves (joint report).
- Mendiluce, M. y Schipper, L. (2011) Trends in passenger transport and freight energy use in Spain, Energy Policy, Doi:10.1016/j.enpol.2011.07.048.
- Ministerio de Fomento (2010) Construcción de edificios 2005-2009, datos recogidos de las licencias de obra concedidas por los ayuntamientos.
- Ministerio de Fomento (2011) Observatorio de la movilidad Metropolitana.
- Ministerio de industria, turismo y comercio (2010) La energía en España 2009, [http://www.mityc.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/Energia\\_2009.pdf](http://www.mityc.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/Energia_2009.pdf).
- Ministerio de medioambiente y medio rural y marino (2010) anuario estadístico 2009, [http://www.marm.es/estadistica/pags/anuario/2009/AE\\_2009\\_11.pdf](http://www.marm.es/estadistica/pags/anuario/2009/AE_2009_11.pdf).
- Moran, D., MacLeod, M., Wall, E., Eory, V., McVittie, A., Barnes, A., Rees, R., Topp, C. F. E. & Moxey, A. (2011) Marginal Abatement cost Curves for UK Agricultural Greenhouse Gas Emissions, Journal of Agricultural Economics, Vol. 62-1, p. 93-118.
- Morris, J., Rowbotham, A., Angus, A., Mann, M. y Poll, I. (2009) Aviation in a sustainable world – A Framework for Estimating the Marginal Costs of Environmental Abatement for the Aviation Sector, Cranfield University.
- Moya, J-A., Pardo, N. y Mercier, A. (2010) Energy Efficiency and CO2 Emissions: Prospective Scenarios for the Cement Industry.
- Odyssee online indicators, <http://www.odyssee-indicators.org/>.
- OFICEMEN (2010) Anuario 2009, <http://www.oficemen.com/Uploads/docs/MEMORIA%202009%20-%20OFICEMEN.pdf>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, stats.oecd.org online database.
- Overgaag, M. y Harmsen, R. (2009) Sectoral Emission Reduction Potentials and Economic Costs for Climate Change (SERPEC-CC): Ecofys: Industry & refineries sector, Ecofys, JRC-IPTS.
- Poswiata, J. y Bogdan, W. (2009) Assessment of Greenhouse Gas Emissions Abatement Potential in Poland by 2030. McKinsey & Company, Warsaw, Poland.
- Red Eléctrica de España (2011) Sistema Eléctrico Español 2010.
- Richardson y McAllister (2009) Viability Study for Transitioning the Diesel Bus fleet of Central Arkansas Transit Authority to Compressed Natural Gas.
- 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.

- Shammakh, M. B., Caruso, H., Elkamel, A., Croiset, E. y Douglas, P. L. (2008) Analysis and Optimization of Carbon Dioxide Emission Trading Options in the Cement Industry, *American Journal of Environmental Sciences* 4(5), p. 482-490.
- Sociedad para el desarrollo energético de Andalucía (año no disponible) Plan de Ahorro y Eficiencia energética 2004-2006 en Andalucía, Subsector: Industria de la cerámica estructural, Consejería de innovación, ciencia y empresa.
- Solydi Informe técnico iluminación Led, <http://www.solydi.com/ficheros/catalogos/iluminacion/CatalogoBombillasLED.pdf>.
- Solzhenitsyn, S. y Schneiker, K. (2009) Pathways to an Energy and Carbon Efficient Russia, McKinsey & Company, Moscú, Rusia.
- Steelonthenet, [www.steelonthenet.com](http://www.steelonthenet.com).
- Strategic Energy Technologies Information System (SETIS), European Commission, <http://setis.ec.europa.eu/>.
- TREMOVE, A policy assessment model to study the effects of different transport and environment policies on the transport sector for all European countries, [www.tremove.org](http://www.tremove.org).
- Turner, G., Sjardin, M. y Capua, M. D. (2010) Carbon Markets – North America, Bloomberg New Energy Finance, Estados Unidos.
- UNESID (2011) Revista Anual, La Industria Siderúrgica Española en 2010. <http://www.unesid.org/documentos/revista/2010/esp/home.html>.
- Verwaayen, B. (2007) Climate Change: Everyone's Business, Climatic Change, London, UK. Doi: 10.1007/BF01094082.
- Vialibre, la revista del ferrocarril, Fundación de los ferrocarriles españoles, [www.vialibre.ffe.com](http://www.vialibre.ffe.com).
- Weiner (2009) Energy Use in Buildings and Industry: Technical Appendix, committee on climate change, Inglaterra.
- Wesselink, B. y Deng, Y. (2009) Sectoral Emission Reduction Potentials and Economic Costs for Climate Change (SER-PEC-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., Harmsen, R. y Eichhammer, W. (2010) Energy Savings 2020 - How to triple the impact of energy saving policies in Europe, Ecofys & Fraunhofer ISI.
- Worrel, E., Martin, Nathan y Price, Lynn (1999) Energy Efficiency and Carbon Dioxide Emissions Reduction Opportunities in the US Iron and Steel Sector.
- WWF (2010) Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO2 del parque residencial existente en España en 2020, (Con la colaboración de ETRES Consultores) Madrid, España.
- Zhang, H., Wu, S., Chao, J., Su, J., Sun, J. y Li, T. (2009) China's Green Revolution. McKinsey & Company, 140 Beijing, China.



Fundación Barrié



UniversidadeVigo

economics<sub>for</sub>  
energy

Doutor Cadaval, 2 - 3º E

36202 Vigo

Tel: +34 986 128 016

Fax: +34 986 125 404

Mail: [info@eforenergy.org](mailto:info@eforenergy.org)

[www.eforenergy.org](http://www.eforenergy.org)