



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO ELÉCTRICO

ANÁLISIS DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA PARA CUMPLIR CON LA DIRECTIVA EUROPEA 2012/27/UE

Autor: Rafael Arranz Martín
Director: Pedro Linares Llamas

Madrid

Mayo 2015

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN ACCESO ABIERTO (*RESTRINGIDO*) DE DOCUMENTACIÓN

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. **Rafael Arranz Martín**, como alumno de la UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS (COMILLAS), **DECLARA**

Que es el titular de los derechos de propiedad intelectual, objeto de la presente cesión, en relación con la obra **Análisis de Medidas de eficiencia energética en España para cumplir con la Directiva Europea 2012/27/UE** (Trabajo fin de Grado), que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual como titular único o cotitular de la obra.

En caso de ser cotitular, el autor (firmante) declara asimismo que cuenta con el consentimiento de los restantes titulares para hacer la presente cesión. En caso de previa cesión a terceros de derechos de explotación de la obra, el autor declara que tiene la oportuna autorización de dichos titulares de derechos a los fines de esta cesión o bien que retiene la facultad de ceder estos derechos en la forma prevista en la presente cesión y así lo acredita.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad y hacer posible su utilización de *forma libre y gratuita* (*con las limitaciones que más adelante se detallan*) por todos los usuarios del repositorio y del portal e-ciencia, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución, de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra (a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión.

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia, el repositorio institucional podrá:

(a) Transformarla para adaptarla a cualquier tecnología susceptible de incorporarla a internet; realizar adaptaciones para hacer posible la utilización de la obra en formatos electrónicos, así como incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.

(b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato. .

(c) Comunicarla y ponerla a disposición del público a través de un archivo abierto institucional, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.¹

(d) Distribuir copias electrónicas de la obra a los usuarios en un soporte digital.²

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra que cede con carácter no exclusivo a la Universidad por medio de su registro en el Repositorio Institucional tiene derecho a:

a) A que la Universidad identifique claramente su nombre como el autor o propietario de los derechos del documento.

b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.

c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada. A tal fin deberá ponerse en contacto con el vicerrector/a de investigación (curiarte@rec.upcomillas.es).

d) Autorizar expresamente a COMILLAS para, en su caso, realizar los trámites necesarios para la obtención del ISBN.

d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

¹ En el supuesto de que el autor opte por el acceso restringido, este apartado quedaría redactado en los siguientes términos:

(c) Comunicarla y ponerla a disposición del público a través de un archivo institucional, accesible de modo restringido, en los términos previstos en el Reglamento del Repositorio Institucional

² En el supuesto de que el autor opte por el acceso restringido, este apartado quedaría eliminado.

5°. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.

b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.

c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6°. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

a) Deberes del repositorio Institucional:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.

- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.

- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.

b) Derechos que se reserva el Repositorio institucional respecto de las obras en él registradas:

- retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 28 de Mayo de 2015.

ACEPTA

Fdo.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'F. Pérez', written over a dotted line.

Proyecto realizado por el alumno/a:

Rafael Arranz Martín


Fdo.: 

Fecha: 28/05/2015

Autorizada la entrega del proyecto cuya información no es de carácter
confidencial

EL DIRECTOR DEL PROYECTO


Pedro Linares Llamas

Fdo.: 

Fecha: 28/5/2015

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Fernando de Cuadra García

Fdo.: 

Fecha: 28/5/2015



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO ELÉCTRICO

ANÁLISIS DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA PARA CUMPLIR CON LA DIRECTIVA EUROPEA 2012/27/UE

Autor: Rafael Arranz Martín
Director: Pedro Linares Llamas

Madrid

Mayo 2015

ANÁLISIS DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA PARA CUMPLIR CON LA DIRECTIVA EUROPEA 2012/27/UE

Autor: Rafael Arranz Martín

Director: Pedro Linares Llamas

Entidad colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

RESUMEN

Introducción

“Energy efficiency is at the heart of the European Union's Europe 2020 Strategy for smart, sustainable and inclusive growth and of the transition to a resource efficient economy” (Comisión Europea, 2012, Consultation paper).

La eficiencia energética y la reducción de la demanda de energía es una base esencial de la política energética de un país. Esta reducción se ha convertido en un tema de gran importancia para la Unión Europea, presentando diferentes argumentos para respaldar la importancia de la eficiencia energética. Mejorar la eficiencia energética es una forma rentable de reducir la dependencia energética a la hora de importar combustibles del exterior, puesto que al aumentar la eficiencia energética se reduce el consumo de energía y por tanto es necesario generar menos energía. En la generación de energía es habitual la combustión de combustibles fósiles en centrales térmicas, emitiendo gases que contribuyen al aumento del efecto invernadero.

La nueva Directiva Europea 2012/27/UE propone unas medidas de ahorro, pero estas deben ser analizadas en el contexto político, económico y social de España. Este proyecto trata de buscar las medidas que produzcan un mayor ahorro energético con un coste reducido y en ocasiones hasta negativo para así poder cumplir con el objetivo de ahorro exigido por la Directiva Europea.

Ahora mismo España es un país que hace un consumo poco eficiente de energía en comparación con otros países más desarrollados, esto se debe al elevado consumo del sector edificios y transporte, provocando un gran gasto en importaciones y el aumento de las emisiones. Por eso cobra importancia el reto de conocer qué medidas propuestas por la nueva Directiva Europea serían las más eficientes y menos costosas. Es necesario para España dejar de estar entre los países menos eficientes de Europa para reducir su dependencia energética de las importaciones y reducir el gasto en energía

El objetivo principal por tanto es encontrar las medidas más coste-eficientes para la eficiencia energética en el año 2020.

Metodología

Para obtener los resultados se siguen los siguientes pasos:

- En primer lugar hay que identificar las medidas propuestas por España para cumplir con los objetivos de ahorro energético exigidos por la Directiva Europea 2012/27/UE.
- Realizar una labor de investigación para buscar el ahorro energético real que estas medidas u otras similares pueden tener al ser implantadas en España así como el coste asociado de llevarlas a cabo.
- Para presentar los resultados de cálculo obtenidos se elaboran curvas de coste marginal de energía reducida (curvas MACC), que nos ayudarán identificar visual y rápidamente que medidas son más coste-eficientes. Los resultados están divididos en cinco curvas MACC, sector edificios, industria, transporte, servicios públicos y agricultura respectivamente.

Conclusiones

Los resultados muestran que el ahorro que se pretende alcanzar con el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética (PNAEE), puede conseguirse en gran parte con costes negativos, el 92,5 % del ahorro se consigue con costes negativos. El coste medio de ahorrar los mas de cinco millones de MWh/año que se proponen en el PNAEE tendrían un coste medio de -32,09 €/MWh.

Cumplir con los objetivos de la Directiva Europea 2012/27/UE por tanto es posible, tal como se muestra en los resultados de este proyecto, además si se aplican las medidas propuestas tendría un coste económico negativo para el Estado, ahorrando anualmente 162.119.061,91 €.

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY POLICIES FOR SPAIN IN ORDER TO ACHIEVE THE EUROPEAN DIRECTIVE 2012/27/EU

Author: Rafael Arranz Martín

Supervisor: Pedro Linares Llamas

Collaborating entity: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

ABSTRACT

Introduction

“Energy efficiency is at the heart of the European Union's Europe 2020 Strategy for smart, sustainable and inclusive growth and of the transition to a resource efficient economy” (European Commission, 2012, Consultation paper).

Energy efficiency and reducing energy demand is an essential basis of the energy policy of a country. This reduction has become a topic of great relevance for the European Union, presenting different arguments to support the importance of energy efficiency. Improving energy efficiency is a cost effective way to reduce energy dependence on importing foreign oil, while increasing energy efficiency, energy consumption is reduced and therefore it is necessary to generate less energy. In power generation it is common to burn fossil fuels in power plants, emitting gases that contribute to the greenhouse effect.

The new European Directive 2012/27/EU proposes saving measures, but these should be analyzed in the political, economic and social background of Spain. This project aims to find measures that produce greater energy savings at low cost and sometimes even negative in order to meet the savings target required by the European Directive.

Right now Spain is a country that makes a poor efficient energy consumption when compared to more developed countries, this is due to the high consumption of buildings and transport sector, causing great expense on imports and increased emissions. That is why the challenge of knowing what measures proposed by the new European directive would be the most efficient and less costly gains importance. It is necessary for Spain to stop being among the least efficient countries in Europe to reduce its dependence on energy imports and reduce energy costs.

The main objective therefore is to find cost-efficient measures for energy efficiency over year 2020.

Methodology

To obtain the results the following steps are taken:

- First of all we must identify the measures proposed by Spain to fulfill the objectives of energy savings required by the European Directive 2012/27/EU.

- Carry out a research work to search for the actual energy savings that these measures or similar measures may have when implemented on Spain as well as the associated cost of carrying them out.
- To present the results of calculus obtained, marginal abatement cost curves of reduced power (MACC curves) are used, that will help us identify visually and quickly which measures are more cost-efficient. The results are divided into five MACC curves, industry buildings, industry, transportation, public services and agriculture respectively.

Conclusions

The results show that the savings intended to be achieved with the National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP), it can largely be achieved with negative costs, 92.5% of the savings are achieved with negative costs. The average cost of saving the more than five million MWh/year proposed in the NEEAP have an average cost of -32.09 €/MWh.

Meeting the objectives of European Directive 2012/27/EU is therefore possible, as shown in the results of this project, and whether the proposed measures are implemented would have a negative economic cost to the state, saving 162.119.062,91€ annually.

0 Índice

0	Índice	0
0.1	Índice de figuras	1
0.2	Índice de tablas	2
1	Introducción y Motivación	3
2	Eficiencia energética	5
2.1	Eficiencia energética en la Unión Europea	5
2.2	Eficiencia Energética en España	7
3	Directiva Europea	10
3.1	Introducción	10
3.2	Medidas	10
3.3	Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética español	11
4	Metodología	13
4.1	Informe ejecutivo de <i>Economics for Energy</i>	13
4.2	Ahorro energético	17
4.2.1	Cálculo del ahorro energético	17
4.2.2	Valor de penetración	19
4.3	Cálculo de los costes	19
4.4	Costes por unidad energética y curvas MACC	21
4.5	Metodología para el análisis de resultados	23
5	Análisis de Resultados	26
5.1	Sector Edificios	26
5.1.1	Comparativa ahorro PNAEE con ahorro calculado	26
5.1.2	Curva MACC Sector Edificios	32
5.1.3	Clasificación de las medidas por potencial y coste	35
5.2	Sector Industria	37
5.2.1	Comparativa ahorro PNAEE con ahorro calculado	37
5.2.2	Curva MACC Sector Industrial	40
5.2.3	Clasificación de las medidas por potencial y coste	42
5.3	Sector Transporte	44
5.3.1	Comparativa ahorro PNAEE con ahorro calculado	44
5.3.2	Curva MACC Sector Transporte	48
5.3.3	Clasificación de las medidas por potencial y coste	49
5.4	Sector Servicios Públicos	51
5.4.1	Comparativa ahorro PNAEE con ahorro calculado	51
5.4.2	Curva MACC Sector Servicios Públicos	53
5.4.3	Clasificación de las medidas por potencial y coste	53
5.5	Sector Agricultura	54
5.5.1	Comparativa ahorro PNAEE con ahorro calculado	54
5.5.2	Curva MACC Sector Agricultura	56
5.5.3	Clasificación de las medidas por potencial y coste	56
6	Conclusiones	57
6.1	Recomendaciones PNAEE	57
7	Anexos	62
7.1	Anexo I: Tipos y precios de productos energéticos	62
7.2	Anexo II: Datos esenciales para los cálculos	63
7.3	Anexo III: Fuente de datos	67

0.1 Índice de figuras

Figura 1: Consumo final de energía en la UE en el año 2011	5
Figura 2: Evolución de la IE, consumo de energía y PIB en la UE-27.....	6
Figura 3: Intensidad energética en la UE ktep/PIB(1000€)	7
Figura 4: Demanda de energía final sectorial en España.....	8
Figura 5: Evolución de la IE en diversos países.....	8
Figura 6: Distribución del objetivo de ahorro de energía final por sectores.....	12
Figura 7: Distribución anualizada del objetivo final de ahorro acumulado.....	16
Figura 8: Distribución anualizada del ahorro del aislamiento de viviendas	17
Figura 9: Cálculo del ahorro energético	18
Figura 10: Composición del CMLP.....	20
Figura 11: Cálculo de alto y ancho de un bloque de una curva MACC	22
Figura 12: Curva MACC tipo formada por 8 medidas de ahorro energético.....	23
Figura 13: Curva MACC Sector Edificios	32
Figura 15: Curva MACC Sector Transporte.....	48
Figura 16: Curva MACC Sector Servicios Públicos.....	53
Figura 17: Curva MACC Sector Agricultura.....	56
Figura 18: Curva MACC PNAEE	60

0.2 Índice de tablas

Tabla 1: Tabla tipo para la presentación de resultados	24
Tabla 2: Potencial de ahorro energético y coste de la reducción para el Sector Edificios	28
Tabla 3: Claves de identificación de las medidas de reducción sector edificios	34
Tabla 4: Clasificación medidas sector edificios	35
Tabla 5: Potencial de ahorro energético y coste de la reducción para el Sector Industria.....	38
Tabla 6: Claves de identificación de las medidas de reducción sector industrial	41
Tabla 7: Clasificación de las medidas por potencial.....	42
Tabla 8: Potencial de ahorro energético y coste de la reducción para el Sector Transporte	46
Tabla 9: Claves de identificación de las medidas de reducción sector transporte	49
Tabla 10: Clasificación de las medidas por potencial.....	50
Tabla 11: Potencial de ahorro energético y coste de la reducción para el Sector Servicios Públicos	52
Tabla 12: Claves de identificación de las medidas de reducción sector servicios públicos	53
Tabla 13: Potencial de ahorro energético y coste de la reducción para el Sector Agricultura	55
Tabla 14: Claves de identificación de las medidas de reducción sector agricultura.....	56
Tabla 15: Tabla equivalencia PNAEE-proyecto.....	58
Tabla 16: Claves de identificación de las medidas del PNAEE	61
Tabla 17: Precios de productos energéticos	62
Tabla 18: Datos esenciales para los cálculos.....	63
Tabla 19: Fuentes de datos.....	67

1 Introducción y Motivación

“Energy efficiency is at the heart of the European Union's Europe 2020 Strategy for smart, sustainable and inclusive growth and of the transition to a resource efficient economy” (Comisión Europea, 2012, Consultation paper).

La eficiencia energética y la reducción de la demanda de energía es una base esencial de la política energética de un país. Esta reducción se ha convertido en un tema de gran importancia para la Unión Europea, presentando diferentes argumentos para respaldar la importancia de la eficiencia energética. Mejorar la eficiencia energética es una forma rentable de reducir la dependencia energética a la hora de importar combustibles del exterior, puesto que al aumentar la eficiencia energética se reduce el consumo de energía y por tanto es necesario generar menos energía. En la generación de energía es habitual la combustión de combustibles fósiles en centrales térmicas, emitiendo gases que contribuyen al aumento del efecto invernadero. Por tanto, conseguir una reducción de la generación tendrá un impacto positivo sobre el medioambiente. Tal como dice la Comisión Europea el fin de la eficiencia energética es atajar los problemas de la oferta de energía y las emisiones.

La motivación de este proyecto está en conocer las posibilidades reales de ahorro en España. La nueva Directiva Europea 2012/27/UE propone unas medidas de ahorro, pero estas deben ser analizadas en el contexto político, económico y social de España. Por el momento no se está cumpliendo con los objetivos exigidos por la Comisión Europea de reducción del consumo energético. Este proyecto trata de buscar las medidas que produzcan un mayor ahorro energético con un coste reducido y en ocasiones hasta negativo para así poder cumplir con el objetivo de ahorro exigido por la Directiva Europea.

Hoy en día hay poca conciencia social sobre el ahorro energético: la mayoría de la población desconoce las ventajas de llevar a cabo un consumo eficiente y reducir la demanda energética. Hasta los últimos años, la eficiencia energética ha sido la gran olvidada en las políticas de sostenibilidad, pero realmente la eficiencia energética es considerada como uno de los instrumentos más rentables para asegurar el suministro energético y reducir las emisiones de gases y contaminantes. *“Energy efficiency is considered as one of the most cost-efficient ways for society to enhance security of energy supply and reduce emissions of greenhouse gases and other pollutants” (European Commission, 2012; in Harmsen et al., 2012).*

Ahora mismo España es un país que hace un consumo poco eficiente de energía en comparación con otros países más desarrollados, esto se debe al elevado consumo del sector edificios y transporte, provocando un gran gasto en importaciones y el aumento de las emisiones. Por eso cobra importancia el reto de conocer qué medidas propuestas por la nueva Directiva Europea serían

las mas eficientes y menos costosas. Es necesario para España dejar de estar entre los países menos eficientes de Europa para reducir su dependencia energética de las importaciones y reducir el gasto en energía

Este proyecto busca analizar como mejorar la eficiencia energética en España y el potencial de ahorro de los distintos sectores. Para ello se hará un estudio detallado del plan energético español propuesto a la Comisión Europea y se procederá a realizar una investigación de todas las medidas propuestas en este plan y a estudiarlas en detalle.

Para hallar estos resultados se usará un método basado en el coste marginal a largo plazo para los costes de cada medida propuesta. Para los ahorros energéticos se usará el valor de penetración de la medida a adoptar.

El objetivo principal por tanto es encontrar las medidas más coste-eficientes para la eficiencia energética en el año 2020.

2 Eficiencia energética

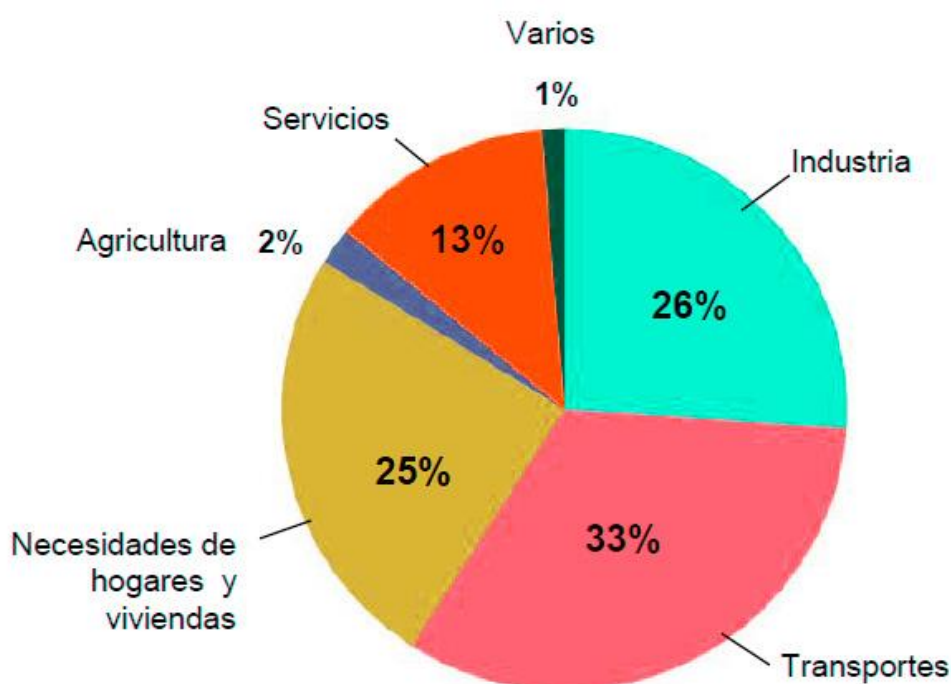
2.1 Eficiencia energética en la Unión Europea.

La eficiencia energética consiste en garantizar que la máxima cantidad de energía destinada a una actividad llegue a dicha actividad perdiéndose la menor cantidad por el camino. La eficiencia energética se expresa como la relación entre la energía útil obtenida y la energía suministrada.

La eficiencia energética ha tenido una gran importancia en las políticas europeas desde comienzos del siglo XXI. Durante el siglo XX hubo una gran concienciación y una preocupación general por reducir el impacto ambiental del ser humano, lo cual ha desembocado en la eficiencia energética como medio más rentable y prolífico para reducir la contaminación y la emisión de gases.

El consumo de energía en la UE ha ido en aumento por todos los sectores desde el año 1980 hasta el 2008, siendo el sector industrial el sector con una mayor demanda, sin embargo a partir de este punto el consumo energético ha ido decreciendo. Esta disminución en el consumo tiene su principal origen en la crisis económica sufrida a nivel mundial, pero más allá de la crisis esta reducción del consumo se debe a las medidas de eficiencia energética llevadas a cabo en toda Europa.

Figura 1: Consumo final de energía en la UE en el año 2011



Fuente: Comisión Europea

Históricamente, el crecimiento económico iba asociado a un aumento en el consumo de energía, con su consiguiente aumento en la generación de energía y contaminación medioambiental. El reto al que se enfrentan los estados en la actualidad es seguir creciendo económicamente mientras el

consumo de energía crezca en menor grado que la economía, incluso llegando a reducir el consumo interanual.

En términos macroeconómicos, una forma de medir la eficiencia energética es usar la intensidad energética (IE). La intensidad energética relaciona el consumo de energía primaria con el volumen de actividad económica de un país. Se calcula como el cociente entre el consumo energético y el producto interior bruto.

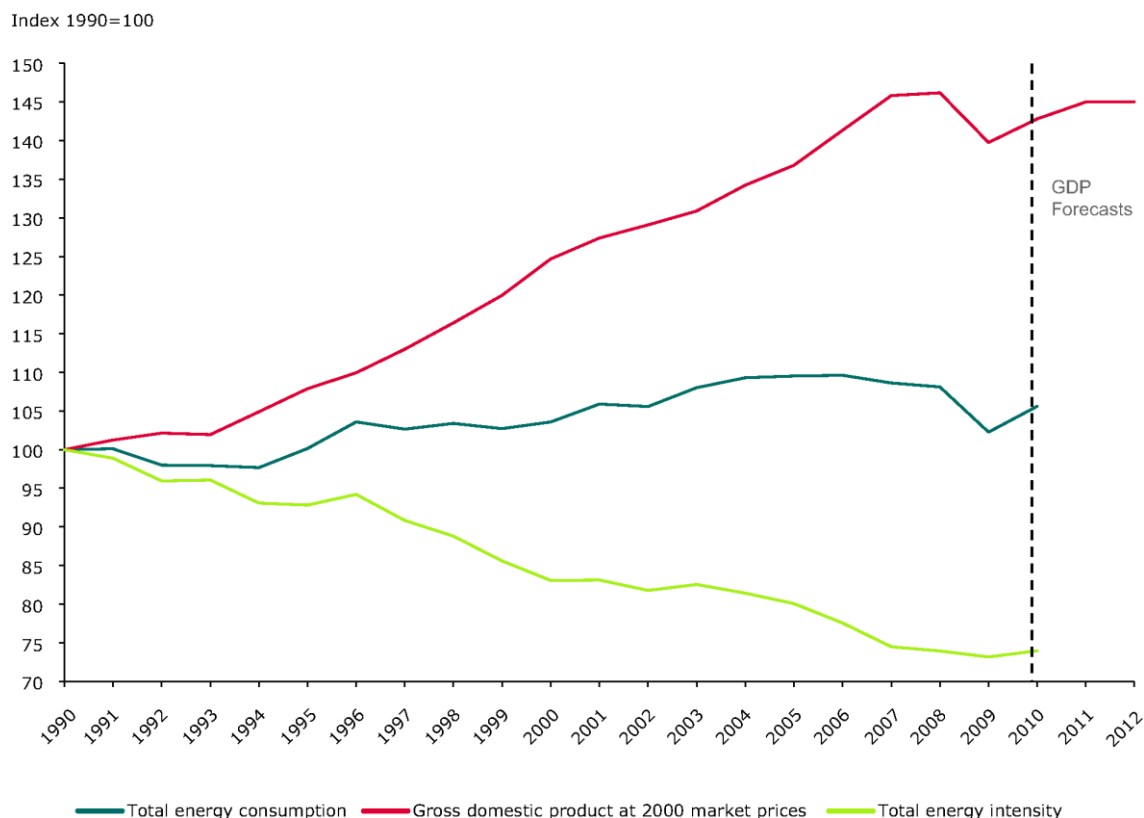
$$IE = \frac{\text{Consumo energético}}{PIB}$$

Ecuación 2.1.1 Intensidad Energética

La intensidad energética es por tanto el inverso de la eficiencia energética, por tanto cuanto menor sea la intensidad energética de un país, más eficiente será este.

La intensidad energética de un país será más baja si éste posee una actividad económica basada en actividades con alto valor añadido y bajo consumo energético como el sector servicios, una desarrollada estructura industrial que permita reducir el consumo de los procesos industriales que más energía requieren, tiene un clima poco extremado que reduce el consumo en calefacción y aire acondicionado y sigue unas políticas de reducción de consumo energético.

Figura 2: Evolución de la IE, consumo de energía y PIB en la UE-27

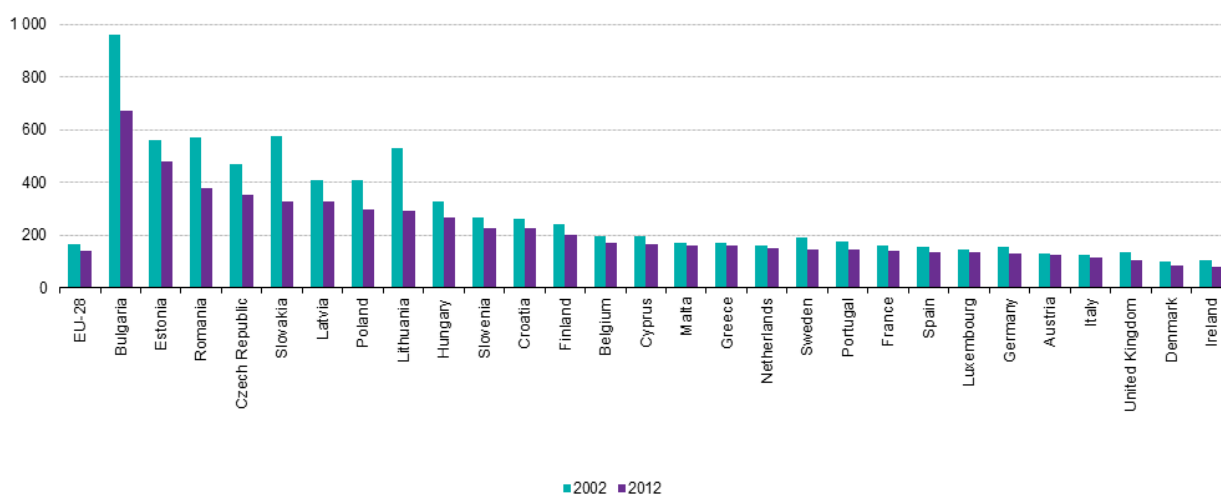


Fuente: European Environment Agency

El consumo total de energía primaria en la UE-27 creció a ritmo medio anual del 0,3% desde 1990 hasta 2010 mientras que el Producto Interior Bruto creció en un ratio anual del 1,8%. El resultado es que la intensidad energética total de la UE-27 bajó con un ratio medio del 1,5% durante ese mismo periodo.

Como muestra el gráfico 2.1.2, la intensidad energética de la UE ha ido disminuyendo en los últimos veinte años, esta reducción se debe a las mejoras en eficiencia energética (tanto en consumidores finales como en la generación de energía), al uso de energías renovables en el mix de generación y cambios estructurales en la economía.

Figura 3: Intensidad energética en la UE ktep/PIB(1000€)



Fuente: Eurostat

Sin embargo hay grandes diferencias en intensidad energética dentro de la UE. Estonia, Rumanía, Bulgaria y la República Checa son los países con la intensidad energética más elevada debido a la presencia de industrias de gran consumo energético como la industria del hierro y el acero. En cambio los países con una menor intensidad energética son los países que tienen una gran presencia del sector servicios y una reducida actividad industrial como Irlanda, Dinamarca, Reino Unido y Austria:

2.2 Eficiencia Energética en España.

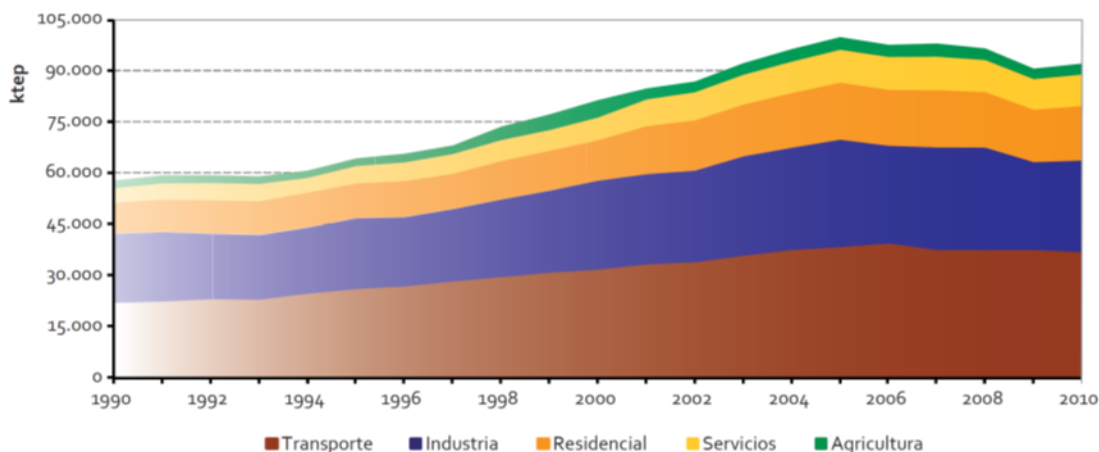
Si la eficiencia energética cada vez ha tenido un mayor peso en las políticas europeas a finales del siglo XX y principios del siglo XXI, en España no ha sido hasta el siglo XXI cuando la eficiencia energética empezó a tener un importante peso en las políticas del país.

Desde mediados del siglo XX y hasta bien entrado el siglo XXI España ha experimentado un crecimiento ininterrumpido de la demanda de energía. Este crecimiento se debe principalmente a:

- La mejora de la calidad de vida en los hogares que conlleva un aumento en el consumo residencial.

- El proceso de industrialización que comenzó a mediados del siglo XX para tratar de modernizar y equiparar la industria española respecto a las más avanzadas de Europa.
- La ampliación de la red de carreteras del estado potenció el aumento del transporte por carretera tanto de mercancías como de pasajeros. Este aumento derivó en un aumento del consumo del sector transporte y su consiguiente consumo de combustibles fósiles.

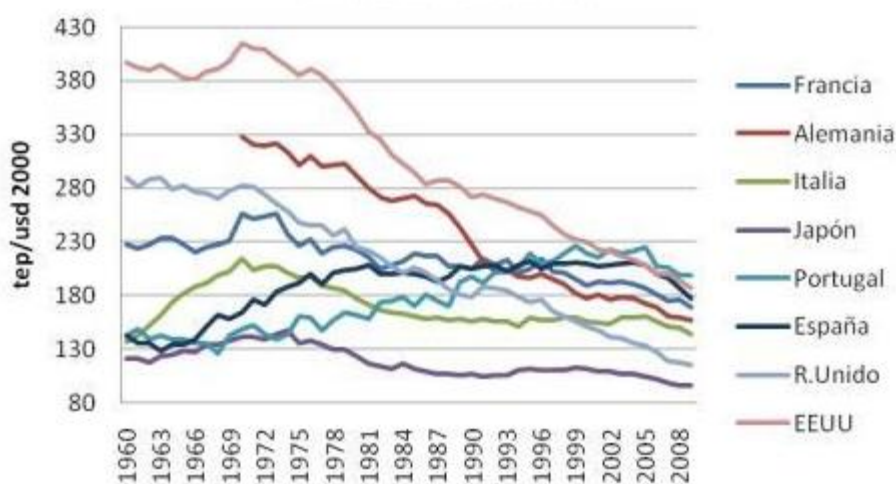
Figura 4: Demanda de energía final sectorial en España



Fuente: Ministerio Industria, Energía y Comercio

En cuanto a la intensidad energética en España, ha tenido un comportamiento nada deseable para el desarrollo económico de un país en los últimos años, hasta el año 2005 la intensidad energética ha aumentado sin parar, no siguiendo la tendencia habitual en el resto de los países, que siguen una progresión de reducción de su intensidad energética.

Figura 5: Evolución de la IE en diversos países



Fuente: Balances energéticos de la IEA

Aunque a partir de 2005 la intensidad energética en España haya comenzado a reducirse, todavía queda un largo camino por recorrer para conseguir alcanzar los niveles de intensidad energética que tienen los países más avanzados de la UE.

Y es que aumentar la eficiencia energética o reducir la intensidad energética es el camino que debe seguir España para reducir la dependencia de los combustibles fósiles del exterior, mejorar la seguridad del suministro energético a los consumidores y mejorar la competitividad respecto a otros países.

Un ejemplo de los resultados que tendría aumentar la eficiencia energética en España es el que se hace en el informe de *Economics for Energy* Análisis de la evolución de la intensidad energética en España: “En el año 2008 la IE española era un 19% superior a la de la UE-15, lo que hizo necesarias 28 toneladas equivalentes de petróleo (tep¹) más para producir un millón de euros que en la UE-15. Si la economía española tuviese unos ratios de IE similares a los europeos, los ahorros en la compra de energía ascenderían a cerca del 2% del PIB de 2008, además de evitarse la emisión de una gran cantidad de contaminantes”. (Linares y Labandeira, 2010).

¹ 1 tep=11.630 KWh

3 Directiva Europea

3.1 Introducción

La Directiva 2012/27/UE se aprueba el 4 de diciembre de 2012 en un contexto marcado por la creciente dependencia de toda la Unión Europea de las importaciones de energía, la crisis económica y la necesidad de paliar los efectos del cambio climático en nuestro planeta. La eficiencia energética se presenta como una potente herramienta para ayudar a superar estos retos a los que se enfrenta la Unión Europea, pues reducir el consumo de energías primarias disminuye la dependencia de las importaciones a la vez que reduce la contaminación en la producción de energía.

Esta Directiva propone unas medidas concretas que son comunes a todos los países de la Unión Europea con el fin de promover la eficiencia energética para alcanzar los objetivos propuestos para el año 2020, que consiste en reducir el consumo de energía en un 20% respecto a las proyecciones. En concreto para España, esta Directiva exige un ahorro acumulado de 15.979 ktep en 2020.

Por lo tanto, los 28 países miembros de la Unión Europea deben hacer un uso más eficiente de la energía a lo largo de toda la cadena energética, desde que esta es producida en centrales, en su transporte y en el uso final de los consumidores finales. Estas medidas afectarán tanto a consumidores individuales como a empresas, sin olvidar los organismos públicos que además de promover el uso eficiente de la energía deberán predicar con el ejemplo.

3.2 Medidas

Las nuevas medidas incluyen:

- La definición legal y la cuantificación de los objetivos de eficiencia energética de la UE. El consumo de energía de la UE al completo (incluyendo el recién incorporado Croacia) debe ser menor de 1.483 Mtep de energía primaria o menor que 1086 Mtep de energía final, siendo Mtep el consumo equivalente a un millón de toneladas de petróleo.
- La obligación de cada país miembro de establecer un plan nacional de eficiencia energética indicativo para enviar a la UE con los niveles absolutos de consumo de energía primaria y consumo de energía final en el año 2020.
- La obligación de los países miembros de lograr dichos ahorros de energía final durante los periodos establecidos (01 enero 2014 – 31 diciembre 2020) utilizando los planes de eficiencia energética y otras medidas políticas propuestas para fomentar el ahorro en los sectores edificios, industrial y transporte.

- Importantes ahorros energéticos para consumidores: Un acceso fácil y sin cargos a la información en tiempo real e histórica del consumo energético mediante contadores individuales más precisos, esto dará la posibilidad a los consumidores de llevar un seguimiento más preciso de su consumo energético y gestionarlo de una forma más eficiente.
- La obligación a las grandes empresas de llevar a cabo una auditoría energética al menos cada cuatro años, siendo la primera auditoría siempre antes del 5 de diciembre de 2015. Incentivar a las PYMEs para que se sometan a auditorías energéticas y así ayudarlas a identificar el potencial de reducción de consumo energético que tienen.
- El sector público tiene que ser el ejemplo para el resto de sectores, por ello deberá renovar el 3% de los edificios pertenecientes y ocupados por el gobierno central a partir del 1 de enero de 2014. Incluir consideraciones de eficiencia energética en las obras públicas, así como promover la compra de edificios, productos y servicios eficientes.
- Generación energética eficiente: Monitorizar los niveles de eficiencia de la capacidad de generación de energía. Asesoramiento nacional para conocer el potencial de la cogeneración y la calefacción urbana y medidas de desarrollo para que sean implantadas.

3.3 Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética español.

En cumplimiento con la Directiva 2012/27/UE España elabora el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética (en adelante PNAEE) en el cual se detallan las medidas encaminadas a mejorar la eficiencia energética que ya están llevándose a cabo en España o que está previsto implantar indicando los ahorros previstos o ya alcanzados.

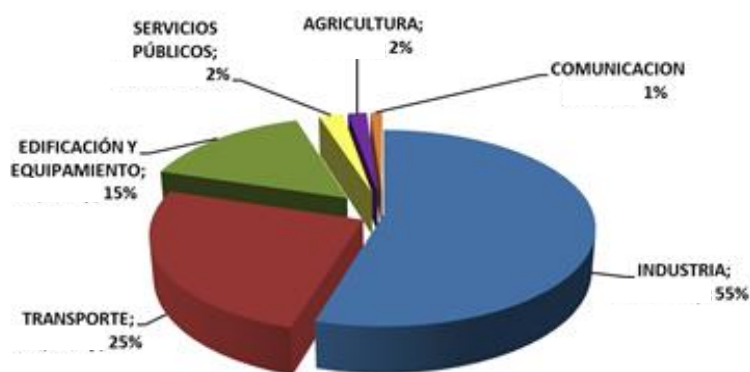
Las medidas propuestas en el PNAEE son las siguientes:

- Medidas horizontales de ejecución de la Directiva: Incluye sistemas de obligaciones (respaldado por la creación de un Fondo Nacional de Eficiencia Energética), auditorías energéticas, contadores e información sobre la facturación, servicios energéticos, programas de información de los consumidores y formación, sistemas de cualificación, acreditación y certificación...
- Eficiencia energética en los organismos públicos: realización de un inventario de los edificios de las administraciones centrales y de otros organismos públicos, obligaciones de eficiencia energética en las adquisiciones de bienes, servicios o edificios por los organismos públicos.
- Eficiencia energética en edificios: Incluye medidas legislativas, medidas de apoyo económico y otras que afectan a los servicios que tienen un mayor peso sobre el consumo energético, como pueden ser las instalaciones térmicas de calefacción, iluminación interior o la envolvente térmica de los edificios.

- Medidas de eficiencia del uso final de la energía en la industria: Comprende las industrias química, alimentación, bebidas y tabaco, minerales no metálicos, siderurgia y fundición, metalurgia y fundición no férrea, pasta, papel y cartón, textil y curtidos, transformados metálicos, equipos de transporte y madera, corcho y muebles. Las medidas propuestas son la implantación de sistemas de gestión de energía y mejora de la tecnología de equipos y procesos MTD.
- Medidas de eficiencia en el uso final de energía en el transporte: Medidas que favorezcan el cambio modal en la movilidad de personas y mercancías como pueden ser los planes de movilidad urbana sostenible, renovación de flotas e incorporación de avances tecnológicos, fomento del uso eficiente de los medios de transporte, medidas de apoyo económico como los planes PIVE y PIMA.
- Medidas del uso final de energía en servicios públicos: Medidas destinadas a reducir el consumo de las tecnologías de alumbrado exterior, acciones cuyo fin sea mejorar la eficiencia de las tecnologías utilizadas en la desalación, depuración y abastecimiento de agua.
- Medidas de eficiencia del uso final de la energía en agricultura y pesca: Mejora del ahorro y la eficiencia energética en la maquinaria, el regadío, explotaciones agrarias y la pesca.
- Promoción de la cogeneración de alta eficiencia y de los sistemas urbanos de calefacción y refrigeración.
- Eficiencia en la transformación, transporte, distribución y participación en la respuesta de la demanda.

El objetivo acumulado de ahorro del PNAEE es de 15.979 ktep para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de diciembre de 2020. Para alcanzar este objetivo y supuesta una distribución lineal, es necesario que el ahorro aumente 571 ktep/año.

Figura 6: Distribución del objetivo de ahorro de energía final por sectores



Fuente: PNAEE

4 Metodología.

La metodología a seguir en este proyecto consta de varias partes:

- En primer lugar hay que identificar las medidas propuestas por España para cumplir con los objetivos de ahorro energético exigidos por la Directiva Europea 2012/27/UE.
- Una vez conocidas las medidas propuestas en el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética, se procederá a realizar una labor de investigación para buscar el ahorro energético real que estas medidas u otras similares pueden tener al ser implantadas en España así como el coste asociado de llevarlas a cabo. Para conocer los costes y el ahorro de una medida se utilizarán informes elaborados por expertos en cada tema, en ocasiones habrá que hacer estimaciones y utilizar datos de otros países. En algunos casos en los que no existan datos concluyentes a nivel de un país entero, se extrapolarán casos concretos.
- Para presentar los resultados de cálculo obtenidos se elaboran curvas de coste marginal de energía reducida, que nos ayudarán identificar visual y rápidamente que medidas son más coste-eficientes.
- Análisis de resultados. Se realizará una comparación entre el ahorro objetivo de las medidas propuestas en el PNAEE y las correspondientes medidas analizadas en este proyecto, para evaluar de que forma se puede conseguir ese ahorro objetivo reduciendo el coste.
- Conclusiones: El último paso es sintetizar todos los resultados en unas medidas que cumplan los objetivos de eficiencia energética exigidos a España con el menor coste económico posible.

4.1 Informe ejecutivo de *Economics for Energy*.

En este proyecto se va a seguir una metodología similar a la que sigue el informe ejecutivo de 2011 de *Economics for Energy*. Además se utilizarán potenciales de ahorro calculados en este informe, por lo que se empezará viendo como funciona el modelo utilizado para los cálculos y entonces ver como aplicar esos ahorros potenciales a este proyecto.

En 2011 los directores de *Economics for Energy* Pedro Linares y Xabier Labandeira presentaron el informe: "Potencial económico de reducción de la demanda de energía en España". Este estudio hace un análisis del ahorro energético y el coste de este ahorro en distintos escenarios en España en el año 2030.

El informe parte de un modelo de *Bloomberg New Energy Finance* sobre el que realiza ciertas modificaciones, el objetivo de estas modificaciones es corregir las limitaciones que tienen este tipo de modelos basados en la opinión de expertos. Concretamente las limitaciones que trata de corregir son:

- **Fallos e ineficiencias del mercado:** En determinadas ocasiones los mercados no son perfectos, la falta de información, el comportamiento de los agentes que actúan en el mercado o las barreras institucionales son algunos de los causantes de las ineficiencias del mercado, provocando que los ahorros energéticos estimados para una tecnología puedan no ser precisos. No considerar estos fallos de mercado puede hacer que ciertas tecnologías presenten costes negativos. El informe de *Economics for Energy* utiliza unas tasas de descuento diferentes para cada sector para tener en cuenta los fallos del mercado.
- **Solapamientos e interdependencia:** Un MWh de energía sólo se puede ahorrar una vez, es decir si aplicamos una medida que reduce el consumo, el potencial de ahorro de la otra medida se ve reducido y por tanto si se aplicaran las dos medidas estaríamos teniendo en cuenta dos veces el mismo ahorro, esto es habitual en el sector edificios en el que por ejemplo hay numerosas medidas de aislamiento e instalaciones térmicas que producen solapamientos.
- **Efectos secundarios:** Ciertas medidas de reducción de la demanda pueden tener efectos indirectos en la economía, los precios que establece el mercado pueden verse afectados, trasladando este efecto al resto de la economía y como consecuencia afectando a las supuestos de los que parte el modelo.
- **Tecnologías:** Cuando se hacen los cálculos de ahorro energético se incluyen las tecnologías en uso actualmente. Pero puesto que los cálculos de ahorro del estudio de *Economics for Energy* están calculados para el año 2030, el estudio incluye medidas tecnológicas adicionales que mejoren la eficiencia energética hasta 2030.

Una vez conocido como funciona el modelo de *Economics for Energy*, habrá que identificar las tecnologías que se proponen en el estudio con aquellas medidas de aplicación directa que aparecen en el PNAEE.

En primer lugar se dividirán las tecnologías en los sectores edificios, transporte, industria, servicios públicos y agricultura y pesca. Esta división será útil para hacer una presentación más nítida de las curvas MACC.

Es habitual que haya varias tecnologías que afecten a una medida del PNAEE, por lo tanto la solución es elaborar unas tablas en las que se puedan comparar los ahorros objetivos del PNAEE con los ahorros conseguidos por cada tecnología para analizar qué tecnologías son las que consiguen ese ahorro con el menor coste posible.

El estudio analiza las medidas desde diferentes escenarios que afectarán al potencial de reducción de la demanda de cada tecnología. En primer lugar distingue entre tres tipos de escenarios:

- **Escenario tendencial:** Es el escenario más conservador, toma un escenario en el que el desarrollo de la economía española es el

“natural”, es el desarrollo más probable en el que no se producirán grandes cambios políticos ni tecnológicos.

- **Escenario tecnológico:** En este escenario se suponen unos avances adicionales en el aspecto tecnológico, implica un desarrollo de nuevas tecnologías consideradas como tecnologías de futuro, este desarrollo reduce los costes de las citadas tecnologías haciendo que la penetración en la sociedad de éstas sea mayor.
- **Escenario político:** Este escenario asume que habrá un cambio en las políticas energéticas del país, que influirán en el entorno energético-económico del país. Representa un mayor compromiso político para fomentar el uso de energías más eficientes.

Otra distinción adicional que se hace en el estudio es la distinción entre quién realice la inversión, distinguiendo entre agentes privados y agentes públicos.

- **Agentes privados:** Los agentes privados se basan en la rentabilidad esperada y sus preferencias personales a la hora de tomar las decisiones, si no es rentable no realizará el proyecto. Si el agente es privado, el estudio utilizará precios de combustible con impuestos además de distinguir entre los distintos tipos de interés que aplicar al coste de capital de cada sector.
- **Agente público:** Un agente público como puede ser el Estado puede aceptar llevar inversiones a cabo aunque a priori éstas no sean rentables desde una perspectiva financiera, pero si desde una perspectiva social. En el caso público no se tienen en cuenta los impuestos. Además el tipo de interés aplicado a todos los sectores será de un 9%.

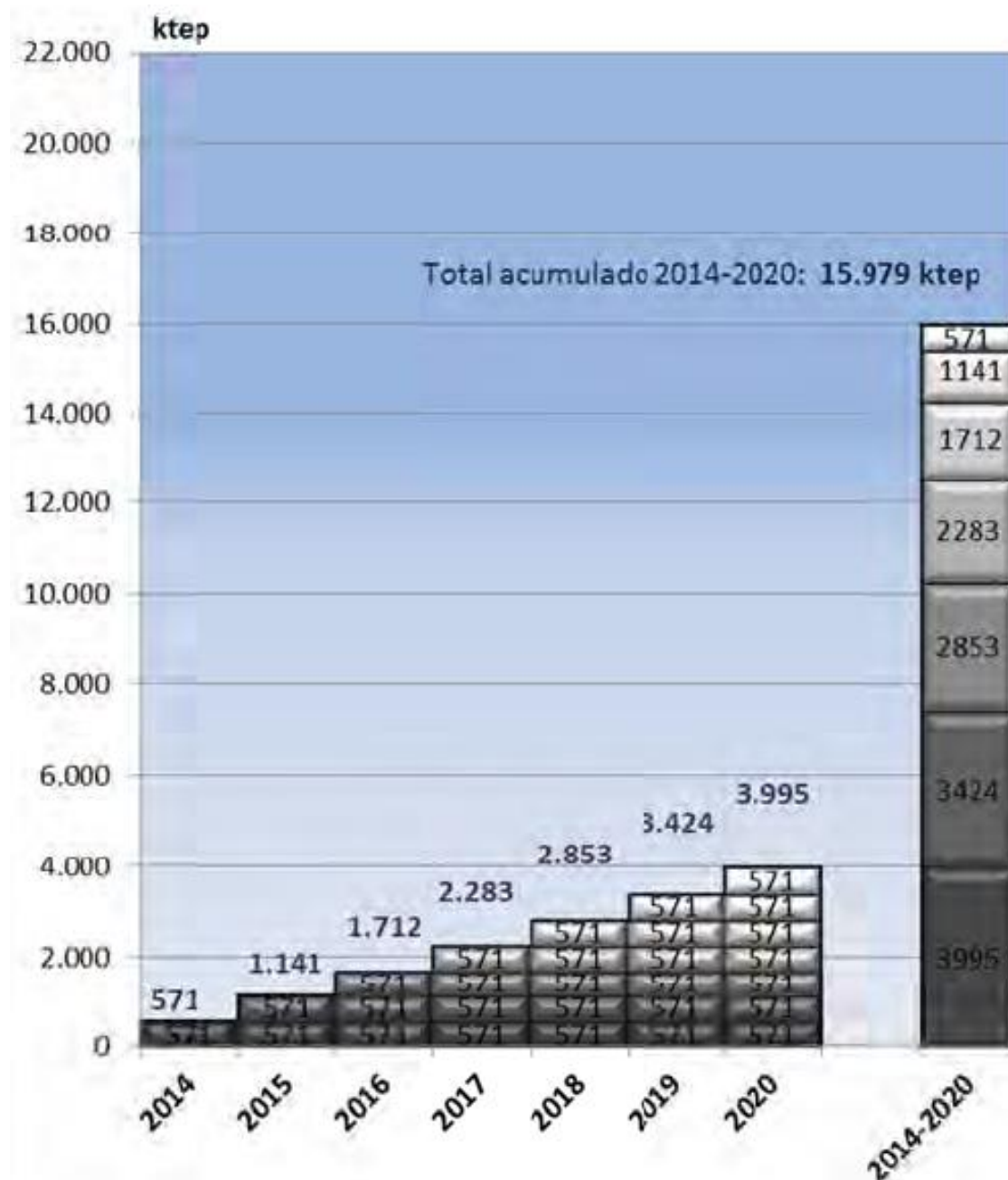
Para este proyecto se ha elegido el escenario tendencial, el motivo principal es que las medidas del estudio están calculadas para el año 2030, mientras que los ahorros que se calculan en este proyecto son para el periodo comprendido entre enero de 2014 y diciembre de 2020. Por ello resulta más apropiado coger un escenario más conservador en el que no haya cambios políticos ni tecnológicos.

Respecto a la distinción que se hace entre agentes privados y públicos, puesto que vamos a comparar los cálculos con ahorros obtenidos en el PNAEE por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, lo más apropiado será asumir que las medidas del estudio de *Economics for Energy* las lleva a cabo un agente público.

Por lo tanto del estudio de *Economics for Energy* se utilizará el ahorro calculado de las medidas que tengan un equivalente en el PNAEE, el ahorro y el coste lo se obtendrá del escenario tendencial desde la perspectiva de un agente público.

Pero para poder equiparar los ahorros del PNAEE y del estudio hay que realizar un ajuste en los ahorros, esto se debe a que el ahorro objetivo del PNAEE está anualizado:

Figura 7: Distribución anualizada del objetivo final de ahorro acumulado

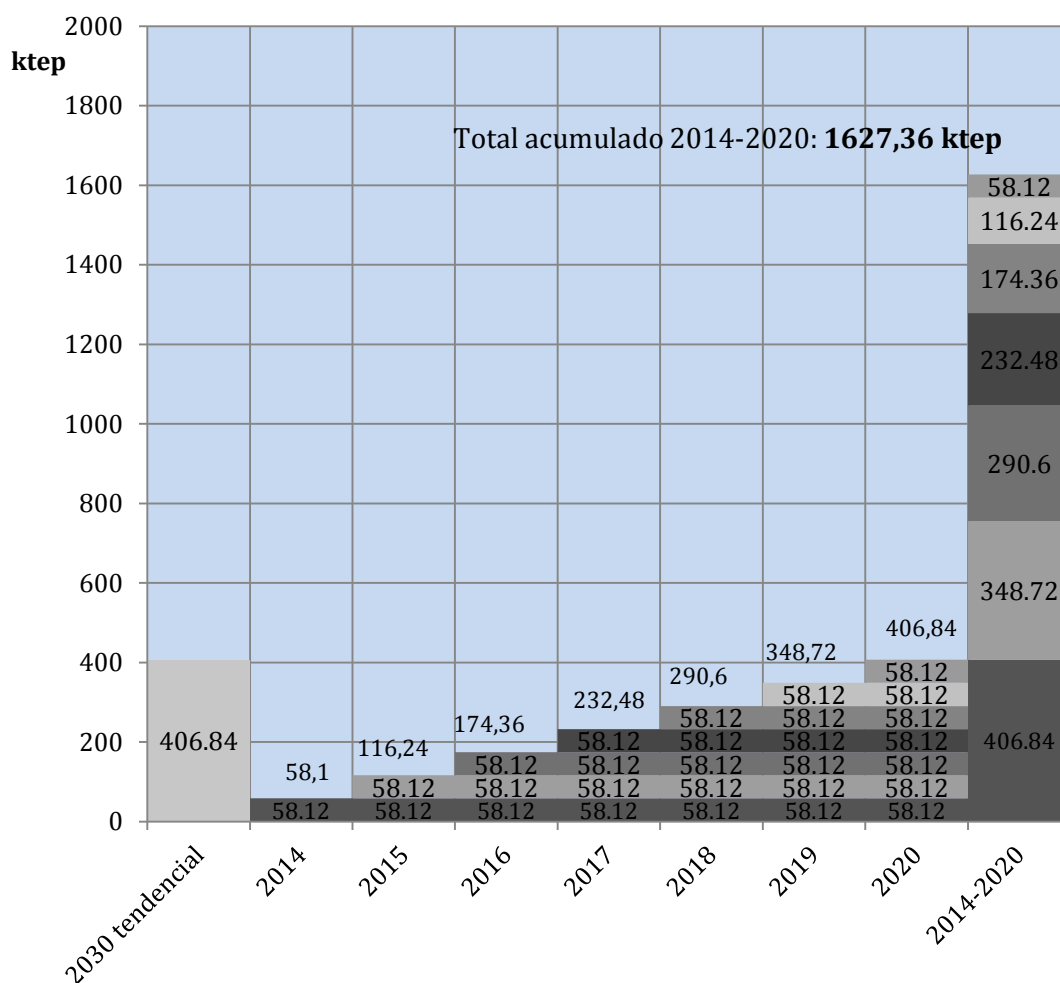


Fuente: MINETUR/IDEA

El PNAEE considera un aumento progresivo del ahorro conseguido por una medida de forma que al acabar el año 2020 cumpla con los totales exigidos por la Directiva Europea 27/2012/UE.

Por lo tanto la solución será utilizar los ahorros energéticos de cada medida en el año 2030 y dividirlo entre los 7 años que tendrá lugar el PNAEE, considerando que el ahorro anual de cada medida será también progresivo:

Figura 8: Distribución anualizada del ahorro del aislamiento de viviendas



Fuente: Elaboración propia

4.2 Ahorro energético.

4.2.1 Cálculo del ahorro energético.

En este proyecto se analiza el ahorro energético que producen medidas concretas propuestas en el PNAEE que tienen un ahorro objetivo propuesto para los sectores de edificios, transporte, industria, servicios públicos y agricultura. No se analizan medidas como pueden ser auditorías energéticas, instalación de contadores e información sobre la facturación, medidas legislativas o medidas de apoyo económico pues la estimación de su ahorro energético depende de numerosos factores muy difíciles de estimar.

Por lo tanto para calcular el ahorro energético, en primer lugar seleccionamos una medida propuesta en el PNAEE (con su propio ahorro objetivo) como puede ser la renovación del alumbrado público exterior existente.

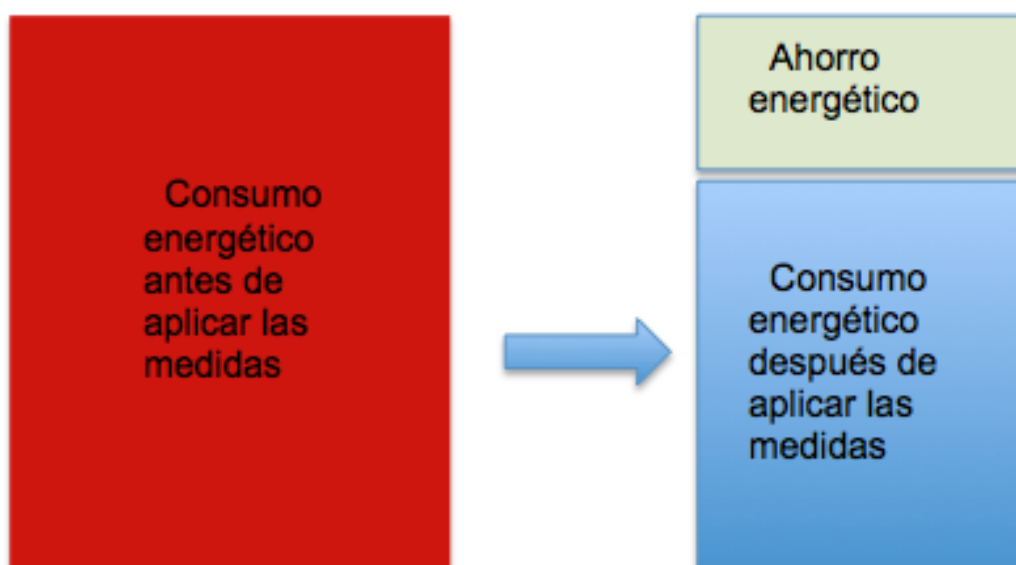
Para conocer el ahorro energético, se debe saber cuanto consume la tecnología a la que se aplicarán las medidas, para ello hay que hacer una labor de investigación para caracterizar cómo es ese consumo y que acciones se pueden llevar a cabo para reducirlo.

Las principales fuentes para conocer las tecnologías a las que se aplicarán las medidas son proyectos e informes realizados por estudios de ingeniería, otros proyectos realizados por estudiantes, estudios elaborados por expertos, informes elaborados por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo...

Una vez caracterizado el consumo energético de la tecnología y a partir de las posibilidades de ahorro que ofrece, hay que buscar acciones concretas a llevar a cabo para cumplir con el ahorro objetivo. En el caso de mejorar el alumbrado público, la acción concreta a llevar a cabo sería instalar lámparas más eficientes con una mejor calidad reflectante y direccional además de implantar sistemas de regulación del flujo lumínico.

A continuación hay que analizar el ahorro potencial para toda España que tienen las medidas escogidas, para ello se hace una búsqueda de estudios que hayan calculado el consumo energético que tiene una tecnología una vez se le han aplicado las medidas de mejora. Se analizan para llegar a una conclusión de cuál puede ser el ahorro final que estas medidas pueden tener.

Figura 9: Cálculo del ahorro energético



Fuente: Elaboración propia

Hay un gran número de medidas en las que únicamente hay información y estudios procedentes de una fuente, por eso la importancia reside en hacer un

análisis crítico de los ahorros que los estudios obtienen así como estudiar el proceso que han seguido hasta llegar a ese potencial de ahorro.

4.2.2 Valor de penetración.

El valor de penetración mide la cantidad de energía producida por una tecnología, es evidente que el valor de penetración que tienen las nuevas medidas de ahorro en una tecnología van cambiando con el tiempo. Una tecnología no consigue todo su potencial de ahorro instantáneamente, es por eso que los ahorros energéticos de las tecnologías irán incrementando según estas medidas vayan madurando.

Por este motivo, se ha supuesto para los cálculos de ahorro energético que las tecnologías habrán logrado todo su potencial de ahorro en el año 2020 (año en el que finaliza el PNAEE), es decir, el valor de penetración en el año 2020 será 1. Pero para el resto de años se ha tomado un crecimiento constante del valor de penetración equivalente a 1/7 (ya que las medidas se llevan a cabo durante 7 años).

Por lo tanto, al igual que se hizo con los ahorros del escenario tendencial en el año 2030 del informe de *Economics for Energy*, para comparar los ahorros anuales objetivo que propone el PNAEE, se utilizará el ahorro final obtenido mediante el proceso de investigación dividido entre 7.

Finalmente los ahorros energéticos se pueden calcular a partir de la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro energético (MWh)} \\ &= (\text{Intensidad energética}_{ref} - \text{Intensidad energética}_{nueva}) \\ &\cdot \text{valor penetración} \end{aligned}$$

Ecuación 4.2.2.1 Cálculo de ahorro energético

4.3 Cálculo de los costes.

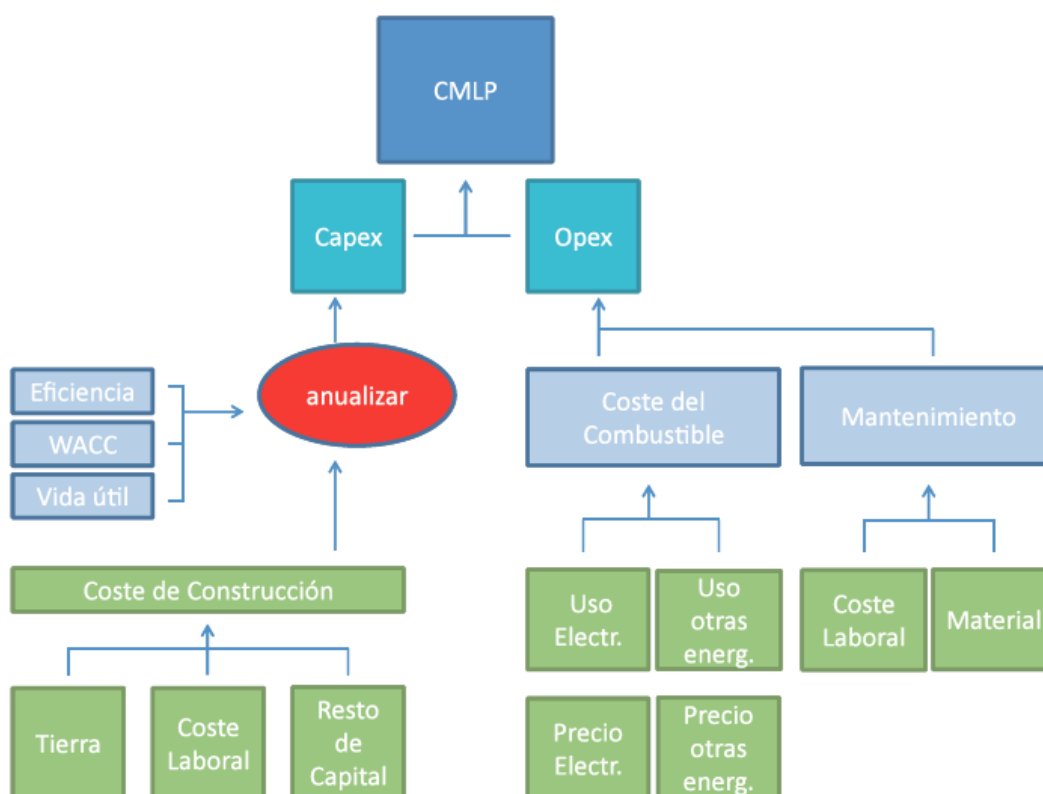
Para el cálculo de los costes que conlleva cada medida se utilizará el método seguido por *Economics for Energy* basado un modelo de cálculo de *Bloomberg New Energy Finance*, este método utiliza el coste marginal a largo plazo (CMLP).

El CMLP consiste en anualizar los costes incurridos para producir una unidad tipo de cada sector. Esto nos permite comparar los costes de producir la energía entre distintas tecnologías.

Para calcular el CMLP es necesario anualizar los costes de inversión y sumarle los gastos incurridos en operar esa tecnología. Los costes de inversión iniciales hay que distribuirlos entre todos los años de vida útil. Cada tecnología tiene un ciclo de vida distinto y afectará directamente al coste de inversión anualizado.

El CMLP, puesto que anualiza los costes entre todos los años futuros de vida útil de la tecnología, se verá afectado por cambios en el Coste Medio Ponderado de Capital (*Weighted Average Cost of Capital*). En este proyecto se asume que el coste de capital será un 9% constante durante todos los años de vida útil.

Figura 10: Composición del CMLP



Fuente: *Economics for Energy*

El CMLP está compuesto por los gastos de funcionamiento o operativos (Opex) y los gastos de capital (Capex). El CAPEX se compone a su vez por los gastos de inversión iniciales que incurre la nueva tecnología como pueden ser los costes de construcción, equipos para el funcionamiento durante la vida útil de la tecnología, etc. Como los costes de inversión se afrontan generalmente en el primer año de vida útil, es necesario anualizarlos mediante el WACC para distribuirlos durante toda la vida útil.

El OPEX incluye los gastos derivados del uso y funcionamiento de una tecnología. Dentro de los OPEX se puede distinguir entre los gastos de combustible y los gastos de mantenimiento, los gastos de combustible varían según la cantidad de electricidad utilizada y su precio, otras energías como pueden ser combustibles fósiles y sus cambios de precio de mercado. Mientras que los gastos de mantenimiento se refieren a gastos de personal y a los gastos de material.

El cálculo del CMLP se hace mediante la siguiente fórmula:

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

Ecuación 4.3.1 Cálculo del CMLP.

Donde C_{inv} representa los costes de inversión iniciales y OPEX son los gastos de funcionamiento antes mencionados, los costes de inversión se anualizan mediante los años de vida útil de la inversión y la tasa de descuento i que se considerará 9% para todos los sectores e inversiones.

Al igual que hacíamos con los cálculos de los ahorros energéticos, para el cálculo de los costes de inversión y mantenimiento es necesario realizar una labor de investigación en la que el objetivo es buscar el coste que tiene inicialmente llevar a cabo la medida de ahorro energético elegida en toda España.

Para poder evaluar críticamente los costes de inversión y mantenimiento encontrados en estudios de expertos u otros proyectos, es importante conocer el terreno en el que se está realizando la inversión, conocer cuánto suelen costar los materiales en inversiones similares a las que se van a utilizar para el ahorro energético, cuánto cuesta la mano de obra en ese sector etc.

Los costes de combustible dependen del consumo de energía y puesto que nuestras medidas de ahorro energético tienen un ahorro progresivo, los costes de mantenimiento cada año se verán reducidos debido al menor consumo de energía.

El precio de los productos energéticos influyen también en los costes de combustible, de forma que unos elevados precios de los productos energéticos, favorecen a tecnologías que tienen un coste de construcción elevado pero que tienen un gran ahorro energético durante su utilización.

Para los precios de los productos energéticos se han utilizado los precios del informe de *Economics for Energy*, estos precios están estimados basándose en diversas fuentes como la Agencia Internacional de Energía, *Bloomberg New Energy Finance*, OECD, estudios del gobierno de España y *Wesselink et al.* (2009). En este proyecto se utilizarán los precios que calcula *Economics for Energy* para el año 2030 sin impuestos. Estos precios se encuentran en el Anexo 1.

4.4 Costes por unidad energética y curvas MACC.

Una vez se han obtenido los ahorros energéticos y los costes de inversión y operativos para todas las medidas, hay que estudiar la efectividad que tienen respecto a sus costes, esto se hace a través de la curva de costes marginales de ahorro energético.

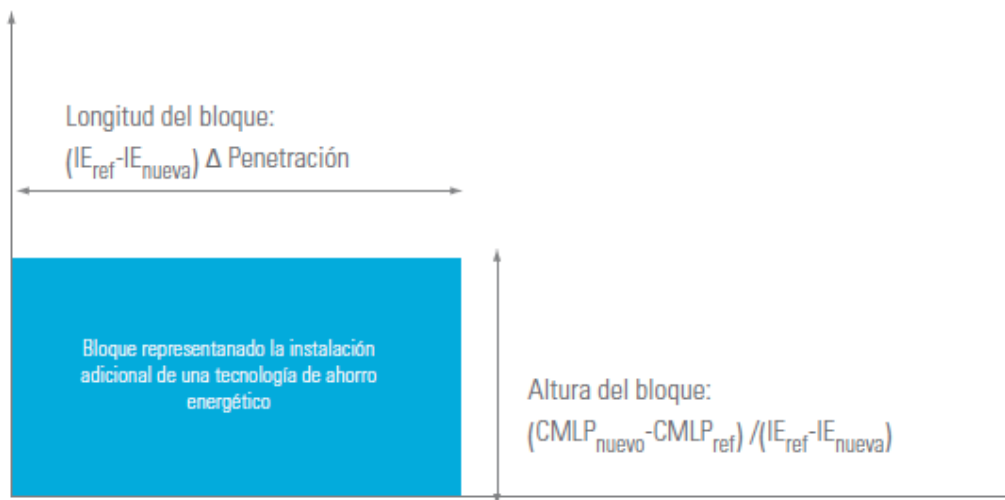
Para calcular estas curvas necesitamos calcular el coste marginal que tiene producir una unidad de energía, para lo cual se utiliza los costes marginales a largo plazo, los ahorros energéticos y la siguiente fórmula

$$\text{Coste} \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) = \frac{CMLP_{nueva} - CMLP_{ref}}{\text{Intensidad energética}_{ref} - \text{Intensidad energética}_{nueva}}$$

Ecuación 1: Cálculo del coste marginal de producir un MWh

Para presentar los resultados se utilizarán las curvas de coste marginal por cada MWh reducido (curvas MAC), el eje vertical de las curvas MAC representa el coste marginal por unidad energética ahorrada, mientras que el eje horizontal representa la cantidad de energía ahorrada. Cada medida propuesta estará representada por un bloque.

Figura 11: Cálculo de alto y ancho de un bloque de una curva MACC



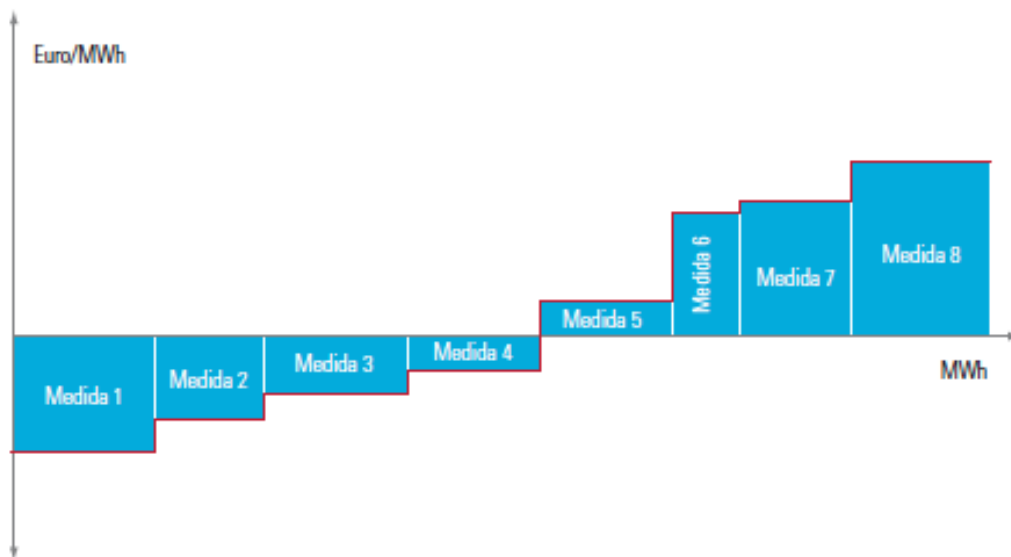
Fuente: *Economics for Energy*

Habrán medidas con un coste marginal positivo y otras con un coste marginal negativo: esto significa que estas medidas generan beneficios económicos en vez de generar gastos. Por lo tanto, estas medidas de coste marginal negativo deberían ser implantadas en la realidad si todos los mercados energéticos fueran perfectamente racionales, pero esto no se cumple. A menudo el ahorro o los potenciales de reducción obtenidos no son posibles de alcanzar, debido a errores de cálculo, datos utilizados erróneos y en ocasiones, simplemente el motivo de que no se cumpla es que los consumidores finales de energía toman decisiones basándose no sólo en razones económicas, a veces se basan en motivos psicológicos y sociales que les impiden tomar la decisión más rentable en términos económicos. También es posible que el agente involucrado no disponga de los datos referentes a los posibles ahorros energéticos y económicos que implantar una medida conllevaría. Esto hace que principalmente en el sector edificios, los costes de las tecnologías para ahorrar energía se subestiman.

Estas curvas se presentan como una metodología para comparar el coste-efectividad de distintas medidas para la reducción de la demanda energética. En las curvas MACC se organizan las medidas según su coste, de izquierda a

derecha comenzando por las que tienen un coste más bajo. Además estas curvas permiten calcular de manera sencilla el coste adicional que tendría producir una unidad de energía con cada tecnología así como el potencial de reducción existente para un precio dado. Esta curva además incluye el coste total asociado de conseguir un ahorro energético deseado, este coste es la integral o el área bajo la curva hasta el punto deseado.

Figura 12: Curva MACC tipo formada por 8 medidas de ahorro energético



Fuente: *Economics for Energy*

4.5 Metodología para el análisis de resultados.

Para hacer un análisis de los resultados que sea fácil de interpretar y de comprender, se presentan los resultados de cálculo obtenidos separados en varias curvas MACC, en concreto se elabora una curva por cada sector.

Antes de presentar la curva, se presentarán todos los resultados de costes y ahorros en una tabla, en la que aparecen los ahorros energéticos finales, los ahorros energéticos por año, el ahorro energético en el año 2020, el coste por unidad de energía, el porcentaje de ahorro respecto al consumo del sector y el ahorro calculado por el PNAEE.

La tabla 4.4.1 es un ejemplo de cómo se van a presentar los resultados para cada sector, en esta tabla se presenta el caso más simple en el que a cada medida del PNAEE le corresponde una medida propuesta, realmente habrá casos en los que se propondrá más de una medida.

Tabla 1: Tabla tipo para la presentación de resultados

Medida PNAEE	Ahorro previsto en ktep/año	Ahorro previsto en MWh/año	% Respecto Sector	Medida Propuesta	Ahorro calculado 2020 en ktep	Ahorro calculado 2020 en MWh	Ahorro calculado en ktep/año	Ahorro calculado en MWh/año	% Respecto Sector	Ahorro acumulado 2014-2020 en MWh	Coste en €/MWh
Medida 1											
Medida 2											
Medida 3											
Medida 4											
Total											Coste medio

Fuente: Elaboración propia

Así en el sector edificios, industrial, transporte, servicios públicos y agricultura, se dispone de una tabla con la información necesaria para crear una curva MACC en la que se presentan todas las medidas de ahorro propuestas para conseguir el objetivo de ahorro energético. Además se marcará el ahorro objetivo que prevé el PNAEE para poder compararlo gráficamente con los ahorros conseguidos con las medidas propuestas.

A partir de las tablas y las curvas MACC se procederá a diferenciar entre las medidas con precios muy negativos y alto potencial de ahorro, medidas con costes muy negativos pero bajo potencial, medidas baratas con alto potencial, medidas baratas con bajo potencial, medidas caras con alto potencial y medidas caras con bajo potencial.

5 Análisis de Resultados

En este apartado se recogen los resultados finales obtenidos para los 5 sectores analizados. En primer lugar encontramos una tabla en la que aparecen tanto las medidas del PNAEE como las medidas propuestas, esto permite comparar los potenciales de ahorro de unas y otras. Además, en las medidas propuestas también se recoge el coste asociado que tendría ahorrar un MWh con esa determinada tecnología.

A continuación encontramos la curva MACC en la que se presentan todas las medidas analizadas comparando el ahorro potencial anual con su respectivo coste marginal, así de una forma visual se podrá realizar un análisis de las medidas según el potencial de ahorro y su coste asociado. Para que estas curvas sean más claras cada medida tiene un número de identificación que consiste en la inicial del sector y el número de medida. Estas claves de identificación se pueden consultar en la tabla que aparece a continuación de la curva MACC.

5.1 Sector Edificios.

5.1.1 Comparativa ahorro PNAEE con ahorro calculado.

En el sector edificios, el PNAEE presenta un total de 10 medidas de ahorro energético cuyo objetivo es reducir el consumo en 973.082 MWh al año (87,07ktep/año).

- La medida con un mayor objetivo de ahorro energético es la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes y rehabilitación de edificios con alta calificación energética, el objetivo es 201.315 MWh/año. De las medidas calculadas en este proyecto, aplicar el uso de calentadores de gas de condensación en viviendas consigue un ahorro anual de 1.454.647 MWh, esta medida además tiene un coste negativo de -115,10 €/MWh.
- Otra medida con un gran peso en el PNAEE es la rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios existentes con un ahorro energético objetivo de 189.336 MWh/año. Este objetivo se puede alcanzar con la mejora del aislamiento de edificios comerciales, con un ahorro potencial anual de 677.381 MWh, el coste marginal del aislamiento comercial es 55,70 €/MWh.
- La mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior en los edificios existentes anticipa una reducción en el consumo energético de 128.976 MWh/año. Este objetivo es alcanzable y ampliamente superable con el uso de iluminación fluorescente en viviendas llegando a reducir el consumo anualmente 1.032.458 MWh con un coste marginal que es además notablemente negativo: -149,60 €/MWh.
- El ahorro objetivo de las medidas de eficiencia energética en instalaciones eléctricas propuesto en el PNAEE es 123.743 MWh/año. La Renovación de

las instalaciones eléctricas domésticas anteriores a 2002 permite ahorrar 273.514 MWh/año cumpliendo así con el objetivo del PNAEE pero a costa de un elevado coste marginal: 740,81 €/MWh.

- El PNAEE estima que la implantación de sistemas inteligentes en la edificación existente (domótica, inmótica, smart grids) puede llegar a reducir el consumo energético anual en 108.159 MWh/año, este ahorro es fácilmente alcanzable mediante sistemas de gestión de la climatización en el sector comercial, consiguiendo un ahorro potencial de 182.528 MWh/año, con un coste marginal de -68,50 €/MWh.
- Respecto a la mejora de la eficiencia energética en instalaciones de ascensores y otros sistemas de transporte el PNAEE prevé un ahorro de 85.596 MWh/año. La medida propuesta en este proyecto estima que el ahorro máximo conseguido mediante la implantación de iluminación LED y detectores de presencia en ascensores es 35.357 MWh, muy inferior al objetivo del PNAEE, aunque el coste marginal es considerablemente negativo: -195,42 €/MWh.
- La renovación de electrodomésticos presenta un menor peso respecto al ahorro objetivo total del sector propuesto en el PNAEE, en concreto estima un ahorro de 49.892 MWh/año. El uso de frigoríficos eficientes permitiría reducir el consumo 402.586 MWh/año, superando ampliamente el objetivo, además es el único electrodoméstico eficiente que tiene un coste marginal asociado negativo: -57,20 €/MWh.
- La mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de frío comercial existentes y la renovación de generadores de frío industrial y terciario tienen un ahorro objetivo conjunto de 58.498 MWh/año. El uso de sistemas de refrigeración más eficientes permite alcanzar un ahorro de 202.857 MWh/año con un coste marginal de -188,76 €/MWh.
- Por último, la medida con un menor ahorro estimado en el PNAEE es la mejora de la eficiencia energética en los centros de proceso de datos (CPD) existentes, esta medida tiene un objetivo de 27.563 MWh/año. La implantación del sistema fit4green en los CPD existentes en España conllevaría una reducción en el consumo de 675.657 MWh/año, infinitamente superior al estimado por el PNAEE además el coste marginal asociado es negativo: -166,46 €/MWh.

Tabla 2: Potencial de ahorro energético y coste de la reducción para el Sector Edificios

Medida PNAEE	Ahorro Previsto (ktep/año)	Ahorro previsto (MWh/año)	% Respecto Sector	Medida propuesta	Ahorro 2020 (ktep)	Ahorro 2020 (MWh)	Ahorro (ktep/año)	Ahorro (MWh/año)	% respecto sector	Ahorro 2014-2020 en MWh	Coste (€/MWh)
Rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios existentes.	16,28	189.336,40	0,06%	Aislamiento comercial	407,71	4.741.667,30	58,24	677.381,04	0,58%	18.966.669,20	55,70
				Doble acristalamiento comercial	33,06	384.487,80	4,72	54.926,83	0,05%	1.537.951,20	498,80
				Aislamiento de viviendas	406,81	4.731.200,30	58,12	675.885,76	0,58%	18.924.801,20	675,30
				Doble acristalamiento en viviendas	68,32	794.561,60	9,76	113.508,80	0,10%	3.178.246,40	1.664,20
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes(17,31 ktep) y Rehabilitación de edificios existentes con alta calificación energética (3,4 ktep)	20,71	201.315,30	0,07%	Calentador de gas de condensación en viviendas	875,54	10.182.530,20	125,08	1.454.647,17	1,24%	40.730.120,80	-115,10
				Calentador de agua gas condensación en viviendas	584,28	6.793.939,00	83,45	970.562,71	0,83%	27.175.756,00	-74,90
				Caldera de gas de baja temperatura en viviendas	547,38	6.364.931,00	78,18	909.275,86	0,78%	25.459.724,00	-70,00
				Caldera de gas de baja temperatura en sector comercial	128,16	1.490.256,00	18,31	212.893,71	0,18%	5.961.024,00	-54,10

Medida PNAEE	Ahorro Previsto (ktep/año)	Ahorro previsto (MWh/año)	% Respecto Sector	Medida propuesta	Ahorro 2020 (ktep)	Ahorro 2020 (MWh)	Ahorro (ktep/año)	Ahorro (MWh/año)	% respecto sector	Ahorro 2014-2020 en MWh	Coste (€/MWh)
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes(17,31 ktep) y Rehabilitación de edificios existentes con alta calificación energética (3,4 ktep)	20,71	201.315,30	0,07%	Calentador de gas de condensación en el sector comercial	208,12	2.420.435,60	29,73	345.776,51	0,30%	9.681.742,40	-38,70
				Calentador de agua solar en viviendas	1.563,47	18.183.156,10	223,35	2.597.593,73	2,22%	72.732.624,40	0,50
				Calentador de agua gas condensación en sector comercial	44,25	514.523,00	6,32	73.503,29	0,06%	2.058.092,00	12,50
				Bomba de calor eficiente en el sector comercial	407,71	4.740.849,00	58,23	677.264,14	0,58%	18.963.396,00	55,70
				Bomba de calor avanzada en viviendas	1.664,48	19.357.902,40	237,78	2.765.414,63	2,36%	77.431.609,60	88,00
				Bomba de calor en viviendas	739,18	8.595.117,00	105,58	1.227.873,86	1,05%	34.380.468,00	102,00
				Bomba de calor en el sector comercial	183,27	2.131.094,00	26,18	304.442,00	0,26%	8.524.376,00	187,10

Medida PNAEE	Ahorro Previsto (ktep/año)	Ahorro previsto (MWh/año)	% Respecto Sector	Medida propuesta	Ahorro 2020 (ktep)	Ahorro 2020 (MWh)	Ahorro (ktep/año)	Ahorro (MWh/año)	% respecto sector	Ahorro 2014-2020 en MWh	Coste (€/MWh)
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes(17,31 ktep) y Rehabilitación de edificios existentes con alta calificación energética (3,4 ktep)	20,71	201.315,30	0,07%	Calentador de agua solar en el sector comercial	144,81	1.684.140,30	20,69	240.591,47	0,21%	6.736.561,20	232,70
				Caldera de biomasa en viviendas	61,75	718.007,00	8,82	102.572,43	0,09%	2.872.028,00	510,90
				Bomba de calor geotérmica en viviendas	97,63	1.135.275,00	13,95	162.182,14	0,14%	4.541.100,00	786,70
				Bomba de calor geotérmica en el sector comercial	44,15	513.317,00	6,31	73.331,00	0,06%	2.053.268,00	930,40
				Calefacción urbana en viviendas	82,14	955.153,00	11,73	136.450,43	0,12%	3.820.612,00	1.160,40
				Calefacción urbana en sector comercial	40,54	471.379,00	5,79	67.339,86	0,06%	1.885.516,00	1.600,00
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior en los edificios existentes	11,09	128.976,70	0,04%	Iluminación fluorescente en viviendas	621,54	7.227.208,00	88,78	1.032.458,29	0,88%	28.908.832,00	-149,60
				Iluminación fluorescente en el sector comercial	864,39	10.051.084,00	123,46	1.435.869,14	1,23%	40.204.336,00	-141,10
				Iluminación LED en viviendas	153,82	1.788.609,00	21,97	255.515,57	0,22%	7.154.436,00	-148,30

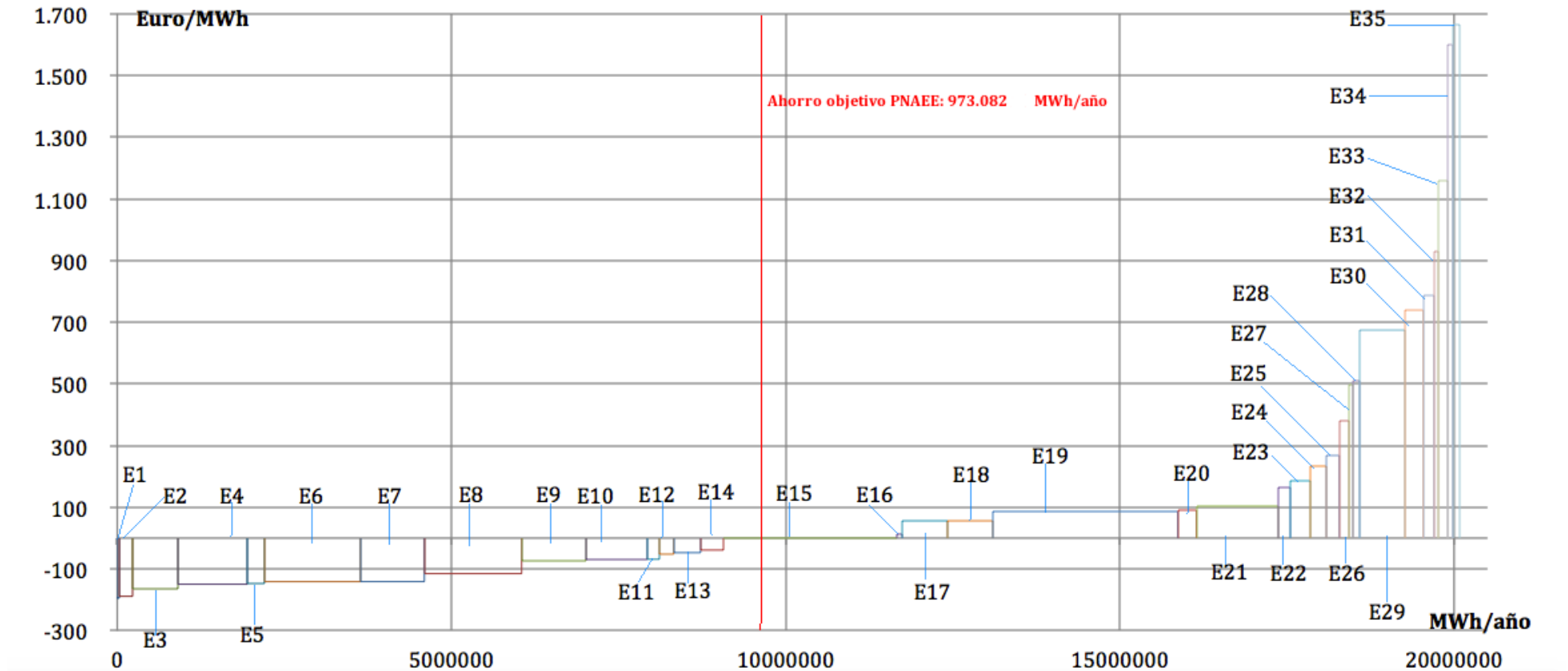
Medida PNAEE	Ahorro Previsto (ktep/año)	Ahorro previsto (MWh/año)	% Respecto Sector	Medida propuesta	Ahorro 2020 (ktep)	Ahorro 2020 (MWh)	Ahorro (ktep/año)	Ahorro (MWh/año)	% respecto sector	Ahorro 2014-2020 en MWh	Coste (€/MWh)
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior en los edificios existentes	11,09	128.976,70	0,04%	Iluminación LED en el sector comercial	576,17	6.699.616,00	82,29	957.088,00	0,82%	26.798.464,00	-141,00
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de frío comercial existentes	2,22	25.818,60	0,01%	Uso de sistemas de refrigeración más eficientes							
Renovación de generadores de frío industrial y terciario	2,81	32.680,30	0,01%		122,10	1.420.000,00	17,44	202.857,14	0,17%	5.680.000,00	-188,76
Mejora de la eficiencia energética en instalaciones de ascensores y otros sistemas de transporte	7,36	85.596,80	0,03%	Implantación iluminación LED y detector de presencia en ascensores	21,28	247.500,00	3,04	35.357,14	0,03%	990.000,00	-195,42

Medida PNAEE	Ahorro Previsto (ktep/año)	Ahorro previsto (MWh/año)	% Respecto Sector	Medida propuesta	Ahorro 2020 (ktep)	Ahorro 2020 (MWh)	Ahorro (ktep/año)	Ahorro (MWh/año)	% respecto sector	Ahorro 2014-2020 en MWh	Coste (€/MWh)
Implantación de sistemas inteligentes en la edificación existente (domótica, inmótica, smart grids).	9,3	108.159,00	0,04%	Sistemas de gestión de la climatización en el sector comercial	109,88	1.277.700,00	15,69	182.528,57	0,16%	5.110.800,00	-68,50
				Sistemas de gestión de la climatización en viviendas	168,63	1.960.801,00	24,09	280.114,43	0,24%	7.843.204,00	88,70
Mejora de la eficiencia energética de los Centros de Proceso de Datos existentes.	2,37	27.563,10	0,01%	Implantación del sistema fit4green en los CPD existentes en España	406,67	4.729.600,00	58,10	675.657,14	0,58%	18.918.400,00	-166,46
Medidas de eficiencia energética en instalaciones eléctricas	10,64	123.743,20	0,04%	Renovación de las instalaciones eléctricas domésticas anteriores a 2012	164,63	1.914.600,00	23,52	273.514,29	0,23%	7.658.400,00	740,81
Renovación de electrodomésticos	4,29	49.892,70	0,02%	Frigoríficos eficientes	242,36	2.818.108,00	34,62	402.586,86	0,34%	11.272.432,00	-47,20
				Lavavajillas eficientes	106,94	1.243.512,00	15,27	177.644,57	0,15%	4.974.048,00	163,50
				Lavadoras eficientes	112,29	1.305.687,00	16,04	186.526,71	0,16%	5.222.748,00	267,50
				Cocina de inducción de alta eficiencia	89,49	1.040.567,00	12,78	148.652,43	0,13%	4.162.268,00	382,50
Total	87,07	973.082,10	0,33%	35	11.686,28	140.628.513,60	1.727,41	20.089.787,66	6,77%	65.162.300,00	52,85

5.1.2 Curva MACC Sector Edificios

Figura 13: Curva MACC Sector Edificios

Curva MACC sector edificios



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Claves de identificación de las medidas de reducción sector edificios

Clave	Medida
E1	Implantación iluminación LED y detector de presencia en ascensores
E2	Uso de sistemas de refrigeración más eficientes
E3	Implantación del sistema fit4green en los CPD existentes en España
E4	Iluminación fluorescente en viviendas
E5	Iluminación LED en viviendas
E6	Iluminación fluorescente en el sector comercial
E7	Iluminación LED en el sector comercial
E8	Calentador de gas de condensación en viviendas
E9	Calentador de agua gas condensación en viviendas
E10	Caldera de gas de baja temperatura en viviendas
E11	Sistemas de gestión de la climatización en el sector comercial
E12	Caldera de gas de baja temperatura en sector comercial
E13	Frigoríficos eficientes
E14	Calentador de gas de condensación en el sector comercial
E15	Calentador de agua solar en viviendas
E16	Calentador de agua gas condensación en sector comercial
E17	Aislamiento comercial
E18	Bomba de calor eficiente en el sector comercial
E19	Bomba de calor avanzada en viviendas
E20	Sistemas de gestión de la climatización en viviendas
E21	Bomba de calor en viviendas
E22	Lavavajillas eficientes
E23	Bomba de calor en el sector comercial

Clave	Medida
E24	Calentador de agua solar en el sector comercial
E25	Lavadoras eficientes
E26	Cocina de inducción de alta eficiencia
E27	Doble acristalamiento comercial
E28	Caldera de biomasa en viviendas
E29	Aislamiento de viviendas
E30	Renovación de las instalaciones eléctricas domésticas anteriores a 2012
E31	Bomba de calor geotérmica en viviendas
E32	Bomba de calor geotérmica en el sector comercial
E33	Calefacción urbana en viviendas
E34	Calefacción urbana en sector comercial
E35	Doble acristalamiento en viviendas

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Clasificación de las medidas por potencial y coste.

En este apartado se hace un análisis de todas las medidas propuestas en este proyecto. Una clasificación simple pero que ofrece gran información es clasificar las medidas en seis categorías según tengan un alto o bajo potencial de ahorro energético y según el coste marginal sea negativo, bajo o elevado.

Se consideran caras, aquellas medidas que tienen un coste marginal superior a 100€/MWh. Se considera un alto potencial de ahorro a partir de 600.000MWh/año que es aproximadamente el ahorro medio por medida.

Tabla 4: Clasificación medidas sector edificios

Medidas coste negativo - alto potencial	Medidas coste negativo - bajo potencial
Implantación del sistema fit4green en los CPD existentes en España	Implantación iluminación LED y detector de presencia en ascensores
Iluminación fluorescente en viviendas	Uso de sistemas de refrigeración más eficientes

Iluminación fluorescente en el sector comercial	Iluminación LED en viviendas
Iluminación LED en el sector comercial	Sistemas de gestión de la climatización en el sector comercial
Calentador de gas de condensación en viviendas	Calentador de gas de baja temperatura en sector comercial
Calentador de agua gas condensación en viviendas	Frigoríficos eficientes
Calentador de gas de baja temperatura en viviendas	Calentador de gas de condensación en el sector comercial
Medidas baratas - alto potencial	Medidas baratas - bajo potencial
Calentador de agua solar en viviendas	Calentador de agua gas condensación en sector comercial
Bomba de calor eficiente en el sector comercial	Sistemas de gestión de la climatización en viviendas
Bomba de calor avanzada en viviendas	
Calentador de gas de condensación en viviendas	
Medidas caras - alto potencial	Medidas caras - bajo potencial
Bomba de calor en viviendas	Lavavajillas eficientes
Aislamiento de viviendas	Bomba de calor en el sector comercial
	Calentador de agua solar en el sector comercial
	Lavadoras eficientes
	Cocina de inducción de alta eficiencia
	Doble acristalamiento comercial

	Caldera de biomasa en viviendas
	Renovación de las instalaciones eléctricas domésticas anteriores a 2012
	Bomba de calor geotérmica en viviendas
	Bomba de calor geotérmica en el sector comercial
	Calefacción urbana en viviendas
	Calefacción urbana en sector comercial
	Doble acristalamiento en viviendas

Fuente: Elaboración propia

5.2 Sector Industria.

5.2.1 Comparativa ahorro PNAEE con ahorro calculado.

El sector industrial es el sector en que el PNAEE es más optimista, el ahorro estimado en este sector suma un total de 3.623.791 MWh/año (311,59 ktep/año), lo que supondría reducir el consumo de este sector un 1,5% anualmente. Las medidas del PNAEE son dos:

- Implantación de sistemas de gestión energética con una reducción de 246.788 MWh/año, para conseguir este ahorro se propone implantar sistemas de gestión energética apoyándose en la norma ISO 50001, el ahorro energético sería de 1.034.986 MWh/año, estos sistemas consiguen un importante ahorro energético con unos costes de inversión relativamente bajos, de ahí que el coste marginal llegue a ser negativo: -206,58 €/MWh.
- La mejora de la tecnología de equipos y procesos propuesta por el PNAEE estima un ahorro anual de 3.377.003 MWh/año, esta medida resulta muy generalista, en este proyecto se proponen un total de 25 medidas repartidas en siete industrias distintas, si bien el ahorro conseguido está muy lejos del estimado por el PNAEE. El ahorro total sería de 1.844.723 MWh/año (poco más de la mitad del objetivo) con un coste marginal de -29,19 €/MWh.

Tabla 5: Potencial de ahorro energético y coste de la reducción para el Sector Industria

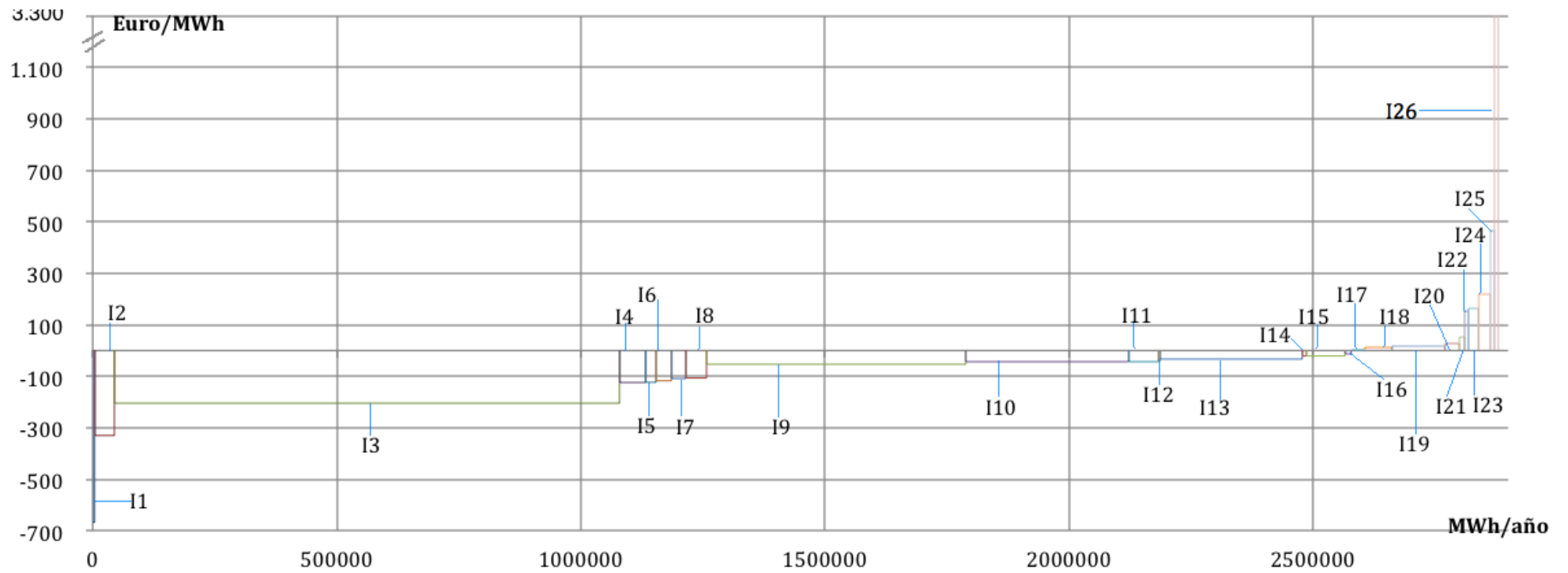
Medida PNAEE	Ahorro Previsto (ktep/año)	Ahorro previsto (MWh/año)	% Respecto sector	Industria	Medida propuesta	Ahorro 2020 (ktep)	Ahorro 2020 (MWh)	Ahorro (ktep/año)	Ahorro (MWh/año)	% Respecto sector	Ahorro 2014-2020 (MWh)	Coste (€/MWh)
Implantación de sistemas de gestión energética	21,22	246.788,60	0,10%	-	Implantar SGEN con la norma ISO 50001	622,95	7.244.908,50	88,99	1.034.986,92	0,43%	28.979.633,76	-206,58
Mejora de la tecnología de equipos y procesos (MTD).	290,37	3.377.003,10	1,40%	Cemento	Control de procesos y automatización	319,75	3.718.003,00	45,68	531.143,28	0,22%	14.872.011,84	-52,90
					Mantenimiento preventivo	200,79	2.334.763,00	28,68	333.537,57	0,14%	9.339.051,96	-45,10
					Precalcinadores	175,19	2.037.046,00	25,03	291.006,57	0,12%	8.148.183,96	-34,00
					Enfriado de rejilla	47,54	552.837,00	6,79	78.976,71	0,03%	2.211.348,00	-20,60
				Ladrillo	Upgrade de Hoffman a túnel mejorado	64,67	751.966,00	9,24	107.423,71	0,04%	3.007.863,99	16,10
					Mejora del flujo y presión- túnel	6,45	75.056,00	0,92	10.722,29	0,00%	300.223,98	53,90
					Recuperación de gases en el túnel	4,93	57.269,00	0,70	8.181,29	0,00%	229.075,98	153,20
					Secado continuo Hoffman	11,54	134.135,00	1,65	19.162,14	0,01%	536.539,98	162,50
					Aislamiento del horno-túnel	5,93	68.939,00	0,85	9.848,43	0,00%	275.755,98	464,70
				Petroquímica	Mejora de procesos	36,90	429.016,00	5,27	61.288,00	0,03%	1.716.064,00	-44,10
				Amoníaco	Recuperación de hidrógeno	32,15	373.894,00	4,59	53.413,43	0,02%	1.495.575,98	-123,80
					Gestión de la energía	18,33	213.120,00	2,62	30.445,71	0,01%	852.479,99	-117,30
					Síntesis de baja presión	18,43	214.339,00	2,63	30.619,86	0,01%	857.356,00	-109,90

Medida PNAEE	Ahorro Previsto (ktep/año)	Ahorro previsto (MWh/año)	% Respecto sector	Industria	Medida propuesta	Ahorro 2020 (ktep)	Ahorro 2020 (MWh)	Ahorro (ktep/año)	Ahorro (MWh/año)	% Respecto sector	Ahorro 2014-2020 (MWh)	Coste (€/MWh)
Mejora de la tecnología de equipos y procesos (MTD).	290,37	3.377.003,10	1,40%	Cerámica	Recuperación de calor	7,96	92.574,00	1,14	13.224,86	0,01%	370.296,00	-12,80
					Mejora del flujo de aire	16,16	187.894,00	2,31	26.842,00	0,01%	751.576,00	0,40
					Cambio de túnel a rodillos	34,35	399.468,00	4,91	57.066,86	0,02%	1.597.872,00	12,70
					Pre calentamiento con recuperación de gases	18,47	214.766,00	2,64	30.680,86	0,01%	859.064,00	29,80
					Aislamiento de hornos	14,66	170.473,00	2,09	24.353,29	0,01%	681.891,98	221,40
				Aluminio	Mejora de procesos	13,39	155.655,00	1,91	22.236,43	0,01%	622.619,98	-123,10
				Acero	Fundición near net shape strip BOF	2,42	28.192,00	0,35	4.027,43	0,00%	112.767,98	-666,80
					Fundición near net shape strip EAF	24,28	282.286,00	3,47	40.326,57	0,02%	1.129.143,99	-329,70
					Gestión de energía en EAF	25,04	291.191,00	3,58	41.598,71	0,02%	1.164.763,99	-106,30
					Gestión de energía BOF	2,18	25.373,00	0,31	3.624,71	0,00%	101.491,99	-42,80
					Recuperación de gases en los BOF	4,99	58.043,00	0,71	8.291,85	0,00%	232.171,80	-20,80
					Sustitución de BOF por EAF	4,02	46.767,00	0,57	6.681,00	0,00%	187.068,00	3.354,90
Total	311,59	3.623.791,70	1,50%	7	26	1.733,47	20.157.973,50	247,64	2.879.710,50	1,19%	80.631.894,00	-92,94

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Curva MACC Sector Industrial

Figura 14: Curva MACC Sector Industrial



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Claves de identificación de las medidas de reducción sector industrial

Clave	Medida	Industria
I1	Fundición near net shape strip BOF	Acero
I2	Fundición near net shape strip EAF	Acero
I3	Implantar SGEN con la norma ISO 50001	Todas
I4	Recuperación de hidrógeno	Amoniaco
I5	Mejora de procesos	Aluminio
I6	Gestión de la energía	Amoniaco
I7	Síntesis de baja presión	Amoniaco
I8	Gestión de energía en EAF	Acero
I9	Control de procesos y automatización	Cemento
I10	Mantenimiento preventivo	Cemento
I11	Mejora de procesos	Petroquímica
I12	Gestión de energía BOF	Acero
I13	Precalcinadores	Cemento
I14	Recuperación de gases en los BOF	Acero
I15	Enfriado de rejilla	Cemento
I16	Recuperación de calor	Cerámica
I17	Mejora del flujo de aire	Cerámica
I18	Cambio de túnel a rodillos	Cerámica
I19	Upgrade de Hoffman a túnel mejorado	Ladrillo
I20	Precalentamiento con recuperación de gases	Cerámica
I21	Mejora del flujo y presión- túnel	Ladrillo
I22	Recuperación de gases en el túnel	Ladrillo
I23	Secado continuo Hoffman	Ladrillo

Clave	Medida	Industria
I24	Aislamiento de hornos	Cerámica
I25	Aislamiento del horno-túnel	Ladrillo
I26	Sustitución de BOF por EAF	Acero

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Clasificación de las medidas por potencial y coste.

En este caso el ahorro medio por medidas es de 110.758 MWh/año (2.879.710/26). Por lo que un valor razonable para considerar medidas con un alto potencial de ahorro será 100.000 MWh/año. Se consideran medidas caras todas aquellas que tengan un coste marginal superior a 100€/MWh.

Tabla 7: Clasificación de las medidas por potencial.

Medidas coste negativo - alto potencial	Medidas coste negativo - bajo potencial
Implantar SGEN con la norma ISO 50001	Fundición near net shape strip BOF
Control de procesos y automatización	Fundición near net shape strip EAF
Mantenimiento preventivo	Recuperación de hidrógeno
Precalcinadores	Mejora de procesos (aluminio)
	Gestión de la energía (amoníaco)
	Síntesis de baja presión
	Gestión de energía en EAF
	Mejora de procesos (petroquímica)
	Gestión de energía BOF

	Recuperación de gases en los BOF
	Enfriado de rejilla
	Recuperación de calor
Medidas baratas - alto potencial	Medidas baratas - bajo potencial
Upgrade de Hoffman a túnel mejorado	Mejora del flujo de aire
	Cambio de túnel a rodillos
	Pre calentamiento con recuperación de gases
	Mejora del flujo y presión- túnel
Medidas caras - alto potencial	Medidas caras - bajo potencial
	Recuperación de gases en el túnel
	Secado continuo Hoffman
	Aislamiento de hornos
	Aislamiento del horno-túnel
	Sustitución de BOF por EAF

Fuente: Elaboración propia

5.3 Sector Transporte.

5.3.1 Comparativa ahorro PNAEE con ahorro calculado.

En el PNAEE el sector transporte representa algunas peculiaridades, en total analizamos 6 medidas de ahorro energético, pero sólo dos de ellas tienen un ahorro objetivo. Estas dos medidas suman una reducción del consumo energético de 430.658 MWh/año (37,03 ktep/año) esto es únicamente reducir el 0,11% anual el consumo.

- El PNAEE estima un ahorro energético de 343.433 MWh/año gracias a cursos de conducción eficiente para conductores de vehículos industriales, en este proyecto se calcula que el ahorro máximo para cursos de conducción eficiente para conductores de autobús y camiones es de 248.434 MWh/año, estando por tanto por debajo de los objetivos del PNAEE, como punto positivo, en cambio, el coste marginal es de -62,58 €/MWh.
- Los cursos de conducción eficiente para conductores de turismos (excluye nuevos conductores) prevén un ahorro de 87.225 MWh/año. En cuanto a los turismos, el ahorro potencial calculado es muy superior al previsto en el PNAEE, alcanzado una reducción en el consumo de 1.034.127 MWh/año lográndolo además con un coste marginal negativo: -29,93 €/MWh.
- Mayor participación del ferrocarril en el transporte de viajeros y mercancías, aunque no hay ningún objetivo de ahorro, los resultados muestran que el potencial de ahorro mediante el transporte de mercancías por ferrocarril más eficiente y el uso trenes de pasajeros eficientes es de 410.792 MWh/año, con un coste marginal medio de unos -80 €/MWh.
- La renovación de flotas de vehículos industriales (autobuses y camiones) tampoco tiene un ahorro objetivo, pero ciertas medidas como el uso de camiones de biodiesel, camiones diesel euro V, autobuses híbridos, autobuses eléctricos y el autobús euro V permitirían ahorrar más de 500.000 MWh/año con un coste marginal asociado ligeramente inferior a -100 €/MWh.
- Respecto a la renovación del parque automovilístico y comercial ligero, las medidas propuestas son coche diesel más eficiente, coche híbrido no enchufable, coche híbrido enchufable, coche eléctrico y coche de gasolina más eficiente. Aunque no se dispone de un ahorro objetivo para compararlo si se puede concluir que son medidas con un gran potencial de ahorro. El ahorro total sería de 1.383.250 MWh/año, siendo el coste marginal -84,10 €/MWh.
- La introducción de equipos que permitan la recuperación de energía en la frenada en modos ferroviarios ha sido estudiada mediante la inclusión de sistemas de frenado regenerativo tanto en el metro como en ferrocarriles metropolitanos. El ahorro conjunto es de 301.759

MWh/año si bien el uso de esta tecnología en ferrocarriles metropolitanos representa más del 75% de dicho ahorro. El coste marginal es muy similar en ambos casos, estando la media de los dos en torno a -95 €/MWh.

Tabla 8: Potencial de ahorro energético y coste de la reducción para el Sector Transporte

Medida PNAEE	Ahorro Previsto (ktep/año)	Ahorro previsto (MWh/año)	% Respecto Sector	Medida propuesta	Ahorro 2020 (ktep)	Ahorro 2020 (MWh)	Ahorro (ktep/año)	Ahorro (MWh/año)	% Respecto Sector	Ahorro 2014-2020 (MWh)	Coste (€/MWh)
Mayor participación del ferrocarril en el transporte de viajeros y mercancías				Transporte de mercancías por ferrocarril más eficiente	6,96	80.997,33	0,99	11.571,05	0,00%	323.989,33	-88,30
				Tren de pasajeros eficiente	240,29	2.794.548,78	34,33	399.221,25	0,10%	11.178.195,11	-80,80
Renovación de flotas de vehículos industriales: autobuses y camiones				Camión de biodiesel	27,74	322.651,44	3,96	46.093,06	0,01%	1.290.605,78	-274,10
				Camión diesel Euro V	269,57	3.135.132,11	38,51	447.876,02	0,12%	12.540.528,44	-87,10
				Autobús híbrido	2,61	30.355,89	0,37	4.336,56	0,00%	121.423,56	-72,20
				Autobús EURO V	6,57	76.356,56	0,94	10.908,08	0,00%	305.426,22	-49,70
				Autobús eléctrico	2,09	24.286,33	0,30	3.469,48	0,00%	97.145,33	-49,30
Renovación del parque automovilístico y comercial ligero				Coche diesel más eficiente	177,86	2.068.509,11	25,41	295.501,30	0,08%	8.274.036,44	-107,00
				Coche híbrido no enchufable	375,54	4.367.522,44	53,65	623.931,78	0,16%	17.470.089,78	-88,30
				Coche híbrido enchufable	154,89	1.801.421,44	22,13	257.345,92	0,07%	7.205.685,78	-69,60
				Coche eléctrico	80,41	935.132,67	11,49	133.590,38	0,03%	3.740.530,67	-64,30
				Coche de gasolina más eficiente	43,87	510.170,44	6,27	72.881,49	0,02%	2.040.681,78	-42,70
Introducción de equipos que permitan la recuperación de energía en la frenada en modos ferroviarios				Implantación frenada regenerativa en metro	42,73	496.939,29	6,10	70.991,33	0,02%	1.987.757,18	-94,25
				Implantación frenada regenerativa en ferrocarriles metropolitanos	138,90	1.615.374,67	19,84	230.767,81	0,06%	6.461.498,67	-97,67
Cursos de conducción eficiente para conductores de vehículos industriales	29,53	343.433,90	0,09%	Cursos de conducción eficiente para todos los conductores de vehículos comerciales (autobuses y camiones)	149,53	1.739.039,72	21,36	248.434,25	0,06%	6.956.158,86	-62,58

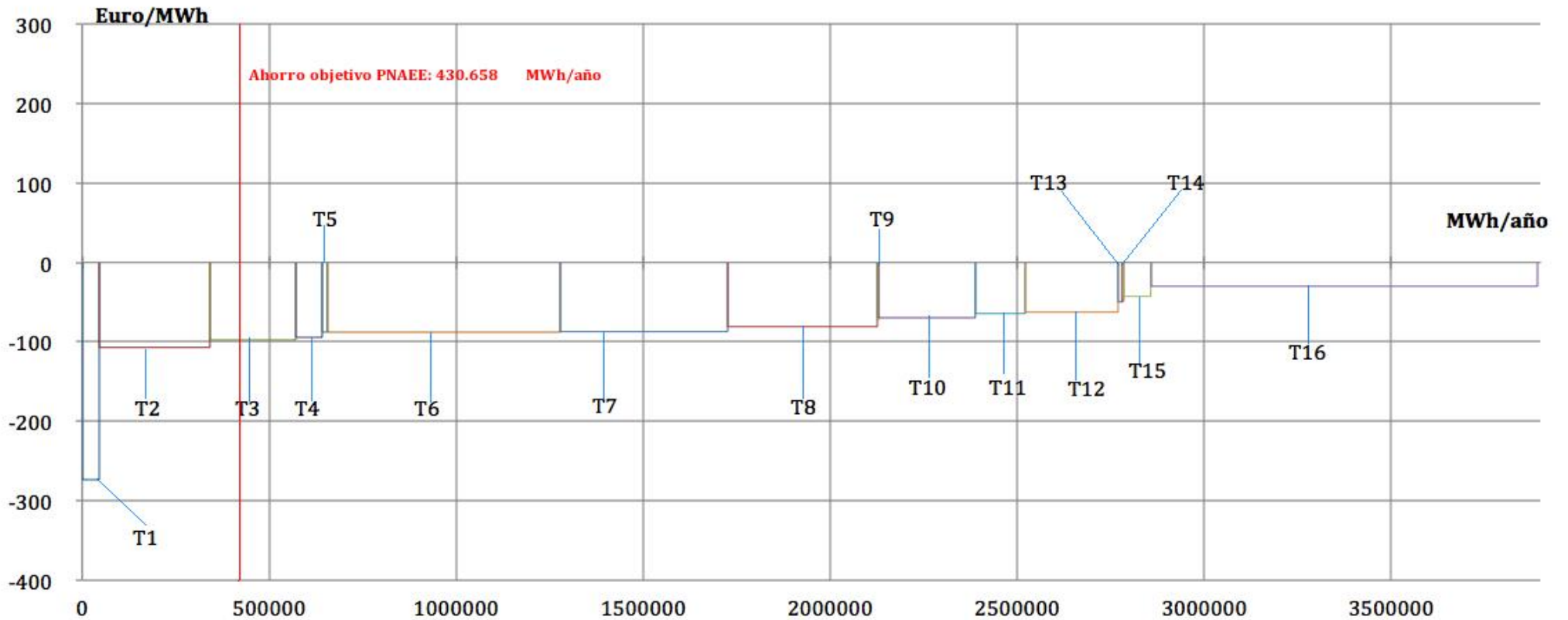
Medida PNAEE	Ahorro Previsto (ktep/año)	Ahorro previsto (MWh/año)	% Respecto Sector	Medida propuesta	Ahorro 2020 (ktep)	Ahorro 2020 (MWh)	Ahorro (ktep/año)	Ahorro (MWh/año)	% Respecto Sector	Ahorro 2014-2020 (MWh)	Coste (€/MWh)	
Cursos de conducción eficiente para conductores de turismos (no nuevos conductores)	7,5	87.225,00	0,02%	Cursos de conducción eficiente para todos los conductores de turismos privados	622,43	7.238.889,98	88,92	1.034.127,14	0,27%	28.955.559,90	-29,93	
Total	37,03	430.658,90	0,11%		16	2.341,99	27.237.328,21	334,57	3.891.046,89	1,01%	108.949.312,83	-71,45

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Curva MACC Sector Transporte

Figura 15: Curva MACC Sector Transporte

Curva MACC sector transporte



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Claves de identificación de las medidas de reducción sector transporte

Clave	Medida
T1	Camión de biodiesel
T2	Coche diesel más eficiente
T3	Implantación frenada regenerativa en ferrocarriles metropolitanos
T4	Implantación frenada regenerativa en metro
T5	Transporte de mercancías por ferrocarril más eficiente
T6	Coche híbrido no enchufable
T7	Camión diesel Euro V
T8	Tren de pasajeros eficiente
T9	Autobús híbrido
T10	Coche híbrido enchufable
T11	Coche eléctrico
T12	Cursos de conducción eficiente para conductores de vehículos comerciales
T13	Autobús EURO V
T14	Autobús eléctrico
T15	Coche de gasolina más eficiente
T16	Cursos de conducción eficiente para todos los conductores de turismos privados

Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Clasificación de las medidas por potencial y coste.

En este sector todas las medidas propuestas tienen un coste marginal negativo y salvo el camión de biodiesel el resto de medidas se mueven en un intervalo relativamente pequeño de coste. Por lo tanto sólo se distinguirá entre medidas con alto potencial y medidas con bajo potencial. La media de ahorro energético por medida es 243.190 MWh/año (3.891.046,89/16), por lo que todas aquellas medidas con un ahorro energético superior a este número, serán consideradas de alto potencial.

Tabla 10: Clasificación de las medidas por potencial.

Medidas coste negativo - alto potencial	Medidas coste negativo - bajo potencial
Coche diesel más eficiente	Camión de biodiesel
Coche híbrido no enchufable	Implantación frenada regenerativa en ferrocarriles metropolitanos
Camión diesel Euro V	Implantación frenada regenerativa en metro
Tren de pasajeros eficiente	Transporte de mercancías por ferrocarril más eficiente
Coche híbrido enchufable	Autobús híbrido
Cursos de conducción eficiente para conductores de vehículos comerciales	Coche eléctrico
Cursos de conducción eficiente para todos los conductores de turismos privados	Autobús EURO V
	Autobús eléctrico
	Coche de gasolina más eficiente

Fuente: Elaboración propia

5.4 Sector Servicios Públicos.

5.4.1 Comparativa ahorro PNAEE con ahorro calculado.

En este sector el objetivo de ahorro del PNAEE es de 144.677 MWh/año (12,31 ktep/año), que puede parecer bajo, pero representa un ahorro del 1,5% respecto al consumo total de este sector. Para conseguir este ahorro, las medidas del PNAEE son dos:

- El mayor peso del objetivo de ahorro reside en la renovación de las instalaciones de alumbrado público exterior existentes, el ahorro previsto para esta renovación es 110.019 MWh/año. Estudios y casos de éxito muestran que el uso de lámparas más eficientes, mejora de la calidad reflectante y direccional de la luminaria y la implantación de sistemas de regulación del flujo lumínico podría significar una reducción en el consumo de 498.364 MWh/año, casi cinco veces más que el ahorro previsto. En cuanto al coste, hay diferencias notables en el coste de inversión inicial que tienen las lámparas eficientes, dejando un coste marginal entre -42,49 y 166,82 €/MWh.
- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones actuales de potabilización, abastecimiento, depuración de aguas residuales y desalación con un ahorro objetivo 33.145 MWh/año. Dicho objetivo del PNAEE puede ser alcanzado mediante la optimización energética de las depuradoras existentes consiguiendo ahorrar hasta 55.625 MWh/año, además de conseguirlo con un coste marginal negativo de -158,78 €/MWh.

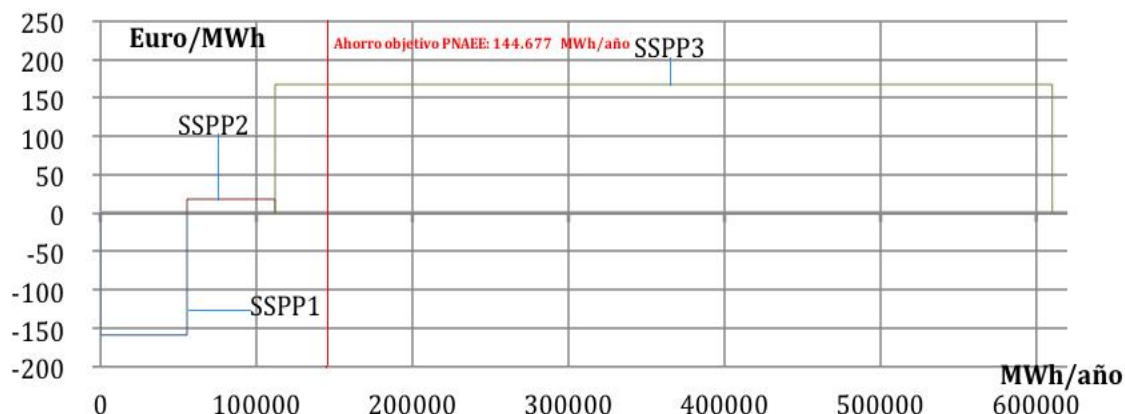
Tabla 11: Potencial de ahorro energético y coste de la reducción para el Sector Servicios Públicos

Medida PNAEE	Ahorro Previsto (ktep/año)	Ahorro previsto (MWh/año)	% Respecto Sector	Medida propuesta	Ahorro 2020 (ktep)	Ahorro 2020 (MWh)	Ahorro (ktep/año)	Ahorro (MWh/año)	% Respecto sector	Ahorro 2014-2020 (MWh)	Coste (€/MWh)
Renovación de las instalaciones de alumbrado público exterior existentes	9,46	110.019,80	1,14%	Lámparas más eficientes, mejora de la calidad reflectante y direccional de la luminaria y la implantación de sistemas de regulación del flujo lumínico	300,02	3.488.550,00	42,86	498.364,29	5,16%	13.954.199,98	-42,49 : 166,82
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones actuales de potabilización, abastecimiento, depuración de aguas residuales y desalación	2,85	33.145,50	0,34%	Optimización energética de las depuradoras existentes	33,48	389.375,00	4,78	55.625,00	0,58%	1.557.500,00	-158,78
				Optimización de la tecnología actual en instalaciones de desalación modernas de ósmosis inversa	33,84	393.600,00	4,83	56.228,57	0,58%	1.574.399,99	17,91
Total	12,31	144.677,20	1,50%	3	367,34	4.271.525,00	52,48	610.217,86	6,32%	17.086.100,00	-24,58 : 124,11

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Curva MACC Sector Servicios Públicos

Figura 16: Curva MACC Sector Servicios Públicos



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Claves de identificación de las medidas de reducción sector servicios públicos

Clave	Medida
SSPP1	Optimización energética de las depuradoras existentes
SSPP2	Optimización de la tecnología actual en instalaciones de desalación modernas de ósmosis inversa
SSPP3	Lámparas más eficientes, mejora de la calidad reflectante y direccional de la luminaria y la implantación de sistemas de regulación del flujo lumínico

Fuente: Elaboración propia

5.4.3 Clasificación de las medidas por potencial y coste.

El ahorro energético medio por medida es de 203.405 MWh/año (610.217/3).

De las medidas propuestas, la que tiene un mayor potencial es el uso de lámparas más eficientes, mejora de la calidad reflectante y direccional de la luminaria y la implantación de sistemas de regulación del flujo lumínico. Si bien no se puede hacer una clasificación por coste ya que se mueve en un amplio rango, por lo que podría resultar una medida de coste negativo o con un coste marginal alto.

Tanto la optimización de la tecnología actual en instalaciones de desalación modernas de ósmosis inversa como la optimización energética de las depuradoras existentes tienen un bajo potencial de ahorro al estar muy por debajo de la media. Sin embargo, mientras que la optimización energética de las depuradoras existentes tiene un coste marginal negativo, la optimización de instalaciones de ósmosis inversa tiene un coste marginal positivo aunque es notablemente barato.

5.5 Sector Agricultura.

5.5.1 Comparativa ahorro PNAEE con ahorro calculado.

El sector agricultura es el que menos peso tiene en el ahorro objetivo del PNAEE, concretamente se prevé ahorrar 112.113 MWh/año (9,54 ktep/año) mediante dos medidas:

- La mejora del ahorro y la eficiencia energética en las explotaciones agrarias es la que tiene una mayor importancia en la reducción del consumo, estima una reducción de 83.038 MWh/año. Los resultados muestran que mediante la sustitución de riego por aspersión por riego por goteo en las explotaciones agrarias se puede conseguir superar el objetivo del PNAEE, alcanzando un ahorro de 224.292 MWh/año con un coste de 61,08 €/MWh.
- Mejora del ahorro y la eficiencia energética en maquinaria agrícola: con esta medida, el PNAEE estima un ahorro de 27.912 MWh/año, en este proyecto se analizan los cursos de conducción eficiente para conductores de tractor, dando como resultado un ahorro energético de 230.523 MWh/año, cubriendo fácilmente el objetivo del PNAEE. Además el coste marginal de estos cursos es negativo, el coste asociado es de -44,08 €/MWh ahorrado.

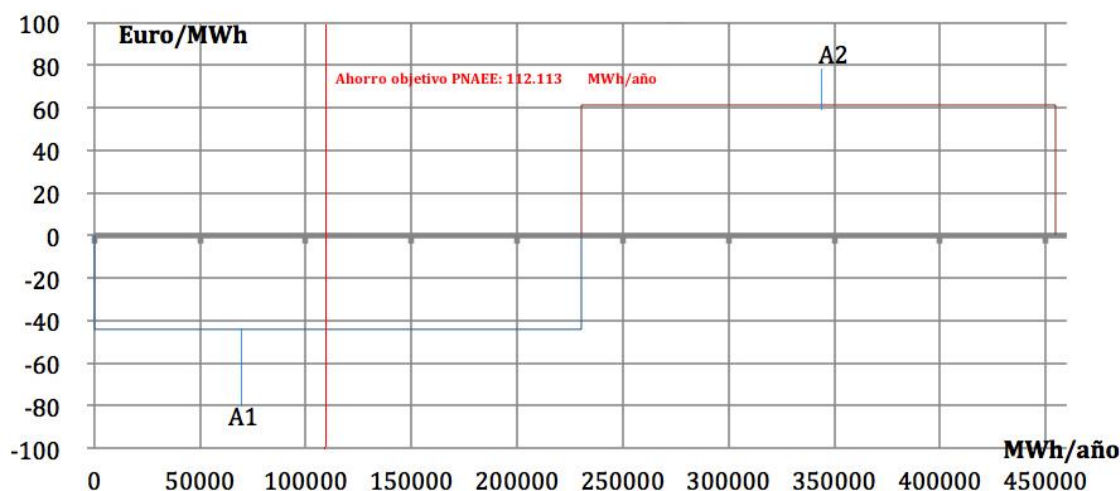
Tabla 13: Potencial de ahorro energético y coste de la reducción para el Sector Agricultura

Medida PNAEE	Ahorro Previsto (ktep/año)	Ahorro previsto (MWh/año)	% Respecto Sector	Medida propuesta	Ahorro 2020 (ktep)	Ahorro 2020 (MWh)	Ahorro (ktep/año)	Ahorro (MWh/año)	% Respecto Sector	Ahorro 2014-2020 (MWh)	Coste (€/MWh)
Mejora del ahorro y la eficiencia energética en las explotaciones agrarias	7,14	83.038,20	0,25%	Sustitución de riego por aspersión por riego por goteo	135,00	1.570.050,00	19,29	224.292,86	0,66%	6.280.200,00	61,08
Mejora del ahorro y la eficiencia energética en maquinaria agrícola	2,4	27.912,00	0,08%	Cursos de conducción eficiente para conductores de tractor	138,75	1.613.662,50	19,82	230.523,21	0,68%	6.454.650,00	-44,08
Total	9,54	112.113,20	0,33%	2	273,75	3.183.712,50	39,11	454.816,07	1,35%	12.734.850,00	7,78

Fuente: Elaboración propia

5.5.2 Curva MACC Sector Agricultura

Figura 17: Curva MACC Sector Agricultura



Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Claves de identificación de las medidas de reducción sector agricultura

Clave	Medida
A1	Sustitución de riego por aspersión por riego por goteo
A2	Cursos de conducción eficiente para conductores de tractor

Fuente: Elaboración propia

5.5.3 Clasificación de las medidas por potencial y coste.

Tal como muestra la curva MACC, el potencial de las dos medidas es muy similar, pero la gran diferencia está en el coste marginal, mientras que los cursos de conducción tienen un coste negativo, la sustitución del riego por aspersión conllevaría un gasto de 61 € por MWh ahorrado, que pese a no ser un coste muy elevado siempre es preferible aplicar medidas de coste marginal negativo.

6 Conclusiones

6.1 Recomendaciones PNAEE.

El ahorro total de las medidas analizadas propuestas por el PNAEE suma 5.281.648 MWh/año (454,14 ktep/año). Para alcanzar este objetivo con el menor coste posible, se utilizará siempre medidas calculadas en este proyecto para cumplir con los ahorros de las medidas propuestas en el PNAEE. Se comenzará utilizando las medidas con el coste marginal negativo si es posible, y sino el más barato.

- Sector edificios: El ahorro previsto por todas las medidas del PNAEE es alcanzable aplicando una medida calculada en este proyecto, salvo el ahorro energético en instalaciones de ascensores y otros sistemas de transporte, para el cual se asumirá que se puede llegar al objetivo de ahorro energético pero con el coste de la medida calculada en este proyecto.
- Sector industrial: El objetivo de la mejora de tecnología y procesos está lejos de ser alcanzado aún aplicando todas las medidas calculadas en este proyecto, la posible causa es que el PNAEE ha sido demasiado optimista en este sector y no ha tenido en cuenta los enormes esfuerzos que se venían haciendo hasta la fecha para reducir el consumo en la industria, por lo que su margen de mejora es pequeño. Aún así se asumirá que nuestras medidas pueden alcanzar el objetivo del PNAEE y se usarán el coste medio ponderado de todas las medidas para alcanzar dicho objetivo.
- Sector transporte: Únicamente se tendrán en cuenta las medidas que tienen un objetivo de ahorro en el PNAEE.
- Sector servicios públicos: Los ahorros objetivos son fácilmente alcanzables, pero es importante definir el coste de la renovación del alumbrado público, pese a que la renovación de la iluminación interior en viviendas y comercios tienen un coste negativo, respecto al alumbrado público se adopta una postura más conservadora y se utiliza el coste más elevado de los dos posibles (-42,49 y 166,82 €/MWh).
- Sector agricultura: A cada medida propuesta en el PNAEE le corresponde una medida calculada que consigue el objetivo de ahorro.

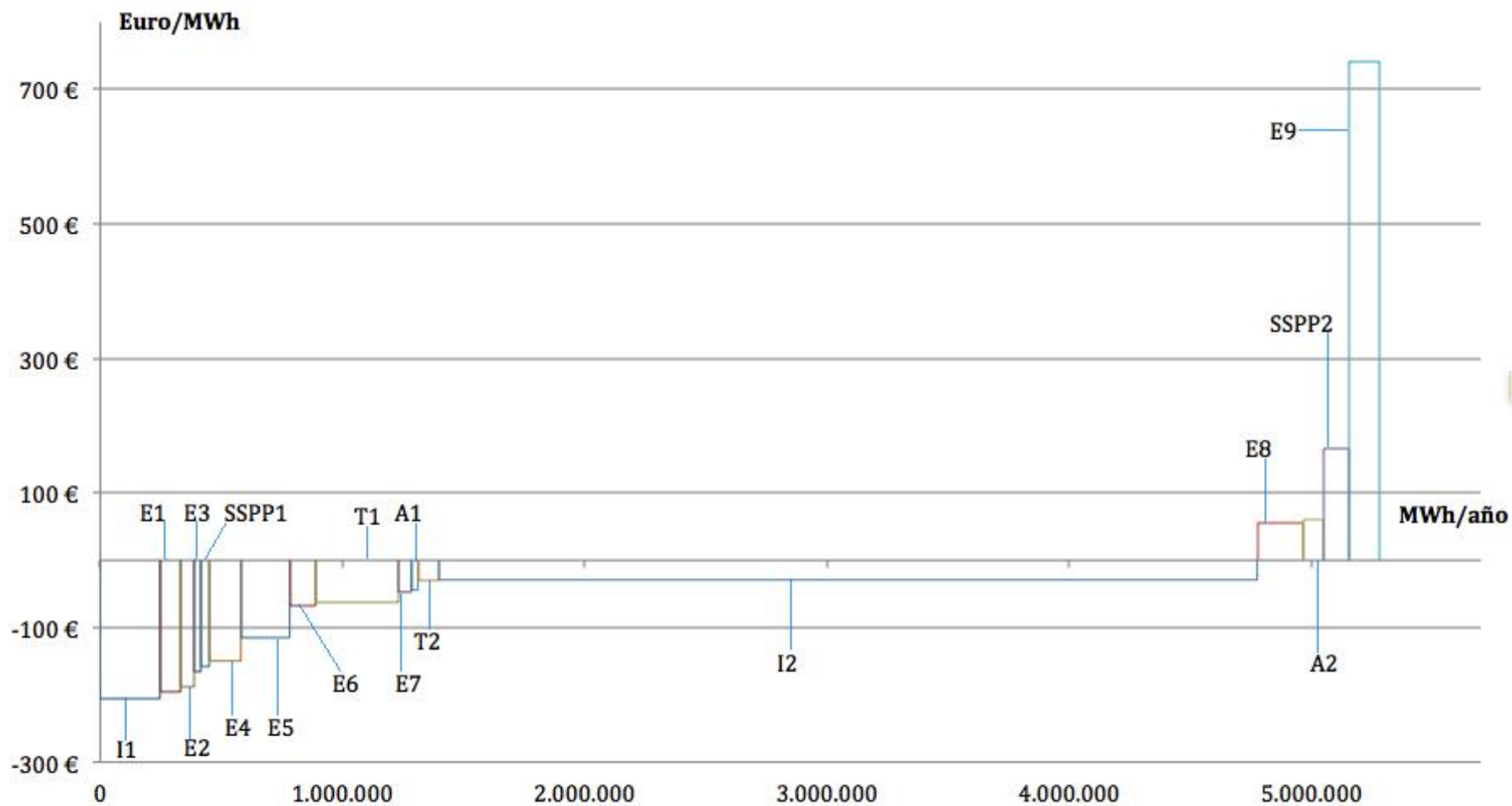
Tabla 15: Tabla equivalencia PNAEE-proyecto

Medida	Ahorro previsto (MWh/año)	Medidas a aplicar	Coste (€/MWh)
Rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios existentes.	189.336,40	Aislamiento comercial	55,70
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes y rehabilitación de edificios existentes con alta calificación energética	201.315,30	Calentador de gas de condensación en viviendas	-115,10
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior en los edificios existentes	128.976,70	Iluminación fluorescente en viviendas	-149,60
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de frío comercial existentes	25.818,60	Uso de sistemas de refrigeración más eficientes	-188,76
Renovación de generadores de frío industrial y terciario	32.680,30		
Mejora de la eficiencia energética en las instalaciones de ascensores y otros sistemas de transporte existentes	85.596,80	Implantación iluminación LED y detector de presencia en ascensores	-195,42
Implantación de sistemas inteligentes en la edificación existente (domótica, inmótica, smart grids).	108.159,00	Sistemas de gestión de la climatización en el sector comercial	-68,50
Mejora de la eficiencia energética de los Centros de Proceso de Datos existentes.	27.563,10	Implantación del sistema fit4green en los CPD existentes en España	-166,46
Medidas de eficiencia energética en instalaciones eléctricas	123.743,20	Renovación de las instalaciones eléctricas domésticas anteriores a 2002	740,81
Renovación de electrodomésticos	49.892,70	Frigoríficos eficientes	-47,20
Implantación de sistemas de gestión energética	246.788,60	Implantar SGEN con la norma ISO 50001	-206,58

Medida	Ahorro previsto (MWh/año)	Medidas a aplicar	Coste (€/MWh)
Mejora de la tecnología de equipos y procesos (MTD).	3.377.003,10	Todas las medidas calculadas	-29,19
Cursos de conducción eficiente para conductores de vehículos industriales	343.433,90	Cursos de conducción eficiente para todos los conductores de vehículos comerciales (autobuses y camiones)	-62,58
Cursos de conducción eficiente para conductores de turismos (no nuevos conductores)	87.225,00	Cursos de conducción eficiente para todos los conductores de turismos privados	-29,93
Renovación de las instalaciones de alumbrado público exterior existentes	110.019,80	Lámparas más eficientes, mejora de la calidad reflectante y direccional de la luminaria y la implantación de sistemas de regulación del flujo lumínico	166,82
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones actuales de potabilización, abastecimiento, depuración de aguas residuales y desalación	33.145,50	Optimización energética de las depuradoras existentes	-158,78
Mejora del ahorro y la eficiencia energética en las explotaciones agrarias	83.038,20	Sustitución de riego por aspersión por riego por goteo	61,08
Mejora del ahorro y la eficiencia energética en maquinaria agrícola	27.912,00	Cursos de conducción eficiente para conductores de tractor	-44,08
Total	5.281.648,20		-26,33

Fuente: Elaboración propia

Figura 18: Curva MACC PNAEE



Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Claves de identificación de las medidas del PNAEE

Clave	Medida
I1	Implantación de sistemas de gestión energética
E1	Mejora de la eficiencia energética en las instalaciones de ascensores y otros sistemas de transporte existentes
E2	Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de frío comercial existentes y Renovación de generadores de frío industrial y terciario
E3	Mejora de la eficiencia energética de los Centros de Proceso de Datos existentes.
SSPP1	Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones actuales de potabilización, abastecimiento, depuración de aguas residuales y desalación
E4	Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior en los edificios existentes
E5	Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes(17,31ktep) y Rehabilitación de edificios existentes con alta calificación energética (3,4 ktep)
E6	Implantación de sistemas inteligentes en la edificación existente (domótica, inmótica, smart grids).
T1	Cursos de conducción eficiente para conductores de vehículos industriales
E7	Renovación de electrodomésticos
A1	Mejora del ahorro y la eficiencia energética en maquinaria agrícola
T2	Cursos de conducción eficiente para conductores de turismos (no nuevos conductores)
I2	Mejora de la tecnología de equipos y procesos (MTD).
E8	Rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios existentes.
A2	Mejora del ahorro y la eficiencia energética en las explotaciones agrarias
SSPP2	Renovación de las instalaciones de alumbrado público exterior existentes
E9	Medidas de eficiencia energética en instalaciones eléctricas

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el ahorro que se pretende alcanzar con el PNAEE, puede conseguirse en gran parte con costes negativos, el 90 % del ahorro se consigue con costes negativos. El coste medio de ahorrar los mas de cinco millones de MWh/año que se proponen en el PNAEE sería de -26,33 €/MWh.

Cumplir con los objetivos de la Directiva Europea 2012/27/UE por tanto es posible, tal como se muestra en los resultados de este proyecto, además si se aplican las medidas propuestas tendría un coste económico negativo para el Estado, ahorrando anualmente 130.090.817,57 €.

7 Anexos

7.1 Anexo I: Tipos y precios de productos energéticos.

Tabla 17: Precios de productos energéticos

Producto energético	Precio sin impuestos en €/MWh
Gas natural (industrial)	59,268
Gas natural (hogares)	99,710
Gas natural (vehículos)	79,489
Carbón	16,498
Fuelóleo	43,859
Coque de petróleo	38,500
Petróleo	70,600
Electricidad (industrial)	207,730
Electricidad (hogares)	244,811
Uranio	8,404
Gasóleo	83,706
GLP (calefacción)	134,835
Etanol	100,906
Biodiesel	75,200
Gasolina	93,197
Diesel	87,093
Biomasa	78,469
Calefacción urbana	27,00
Biogás	52,872

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), Economics for Energy. Elaboración propia.

7.2 Anexo II: Datos esenciales para los cálculos.

Tabla 18: Datos esenciales para los cálculos

Sector	Descripción	CMLP (€)	CAPEX anualizado (€)	Vida útil	Mantenimiento (€)	Costes combustible (€)
E residencial	Caldera de biomasa	621.137.050,37	289.060.349,55	20	263.870.000,00	68.206.700,82
E residencial	Calefacción urbana	1.016.052.544,60	982.804.924,60	20	-	33.247.620,00
E residencial	Caldera de gas convencional	-	-	20	-	-
E residencial	Caldera de gas condensación	1.879.309.252,04	520.309.913,76	20	474.966.450,00	884.032.888,28
E residencial	Bomba de calor	3.212.064.658,40	1.850.604.993,90	20	844.671.287,70	516.786.115,05
E residencial	Bomba de calor avanzada	3.746.973.889,36	3.324.928.144,10	20	-	422.042.051,08
E residencial	Bomba de calor geotérmica	1.357.889.796,72	1.300.771.177,17	20	-	57.118.619,55
E residencial	Caldera de gas de baja temperatura	1.588.788.106,79	689.243.869,73	5	268.092.174,00	631.452.063,06
E residencial	Doble acristalamiento	10.531.769.031,59	5.104.296.962,88	10	-	5.427.472.068,71
E residencial	Aislamiento de viviendas	5.003.298.969,05	3.872.714.941,52	10	-	1.130.584.027,54
E residencial	Sistemas gestión climatización	7.674.598.368,90	1.046.656.424,93	5	-	6.650.559.393,98
E residencial	Iluminación fluorescente	1.038.600.864,34	47.240.314,86	5	-	991.360.549,48
E residencial	Iluminación incandescente	975.825.220,06	22.598.603,32	1	-	953.226.616,73
E residencial	Iluminación LED	47.455.192,26	9.325.931,02	25	-	38.129.261,24
E residencial	Calentador agua solar	2.099.284.042,28	1.394.467.694,33	15	597.383.450,95	-
E residencial	Calentador de agua gas condensación	1.582.005.951,96	224.845.744,70	20	205.253.376,90	1.151.901.176,00
E residencial	Calentador de agua gas convencional	-	-	20	-	-
E comercial	Calefacción urbana	649.919.096,64	630.540.257,58	15	-	19.378.839,06
E comercial	Caldera de gas condensación	505.080.213,94	147.402.215,91	20	134.482.989,97	223.195.008,06
E comercial	Bomba de calor	906.542.955,35	524.239.333,85	20	239.225.392,58	143.078.228,92
E comercial	Bomba de calor eficiente	1.058.658.785,75	941.811.565,19	20	-	116.847.220,56
E comercial	Caldera de gas de baja temperatura	477.888.317,41	83.175.206,63	20	75.956.845,51	318.756.265,27
E comercial	Bomba de calor geotérmica	384.270.074,54	368.459.402,67	20	-	15.810.671,87
E comercial	Calentador de agua solar	618.329.970,39	440.782.894,64	15	177.547.075,76	-
E comercial	Calentador de agua gas condensación	429.129.225,57	66.265.961,35	20	60.553.378,48	302.309.885,75
E comercial	Calentador de agua gas convencional	-	-	20	-	-
E comercial	Aislamiento comercial	2.151.754.787,42	992.176.629,26	10	-	1.159.578.158,16

Sector	Descripción	CMLP (€)	CAPEX anualizado (€)	Vida útil	Mantenimiento (€)	Costes combustible (€)
E comercial	Doble acristalamiento	5.267.184.213,40	984.255.179,03	10	-	4.283.340.340,34
E comercial	Sistemas gestión climatización	4.903.224.133,27	186.915.711,67	10	-	4.716.308.421,60
E comercial	Iluminación fluorescente	4.450.025.889,42	22.545.660,40	5	-	4.427.480.229,02
E comercial	Iluminación incandescente	-	-	1	-	-
E comercial	Iluminación LED	284.105.787,70	7.312.106,06	25	-	276.793.681,63
Edificios	Sistemas de refrigeración tradicionales	1.772.378.554,00	189.986.829,88	15	107.508.718,38	1.474.883.000,00
Edificios	Sistemas de refrigeración eficientes	1.235.944.099,23	297.644.571,19	15	53.754.312,91	1.179.906.400,00
Edificios	Implantación iluminación LED y detector de presencia en ascensores	-39.363.062,75	12.050.112,25	20	-	-51.413.175,00
Edificios	Implantación del sistema fit4green en los CPD existentes en España	-787.270.387,17	195.209.420,83	7	-	-982.479.808,00
E residencial	Renovación de las instalaciones eléctricas domésticas anteriores a 2012	1.418.353.330,40	1.885.726.336,40	30	-	-467.373.006,00
Ind. Amoniaco	Recuperación de hidrógeno	891.263.310,17	113.587,55	20	461.738,00	890.687.984,62
Ind. Amoniaco	Tecnología base amoniaco	954.745.359,10	17.178.962,29	20	-	937.566.396,81
Ind. Amoniaco	Síntesis baja presión	891.490.023,53	340.300,91	20	461.738,00	890.687.984,62
Ind. Amoniaco	Gestión de la energía	534.768.345,70	78.126,13	20	277.043,00	534.413.176,57
Ind. Ladrillos	Recuperación gases-Túnel	152.807.724,96	14.353.284,00	20	2.959.440,00	135.489.082,08
Ind. Ladrillos	Aislamiento del horno-Túnel	186.184.289,28	51.873.064,32	20	-	134.311.224,96
Ind. Ladrillos	Mejora del flujo y presión-Túnel	146.024.688,48	6.978.359,52	20	4.735.104,00	134.311.224,96
Ind. Ladrillos	Upgrade de Hoffman a túnel mejorado	232.887.211,92	171.466.994,16	20	-	62.219.266,56
Ind. Ladrillos	Secado continuo Hoffman	120.514.315,68	77.806.637,04	20	16.276.920,00	26.427.799,20
Ind. Cemento	Precalcinadores	1.222.418.765,70	2.551.850,62	20	-	1.219.839.475,82
Ind. Cemento	Enfriado de rejilla	1.074.102.289,73	16.908.068,46	20	-	1.057.194.221,27

Sector	Descripción	CMLP (€)	CAPEX anualizado (€)	Vida útil	Mantenimiento (€)	Costes combustible (€)
Ind. Cemento	Control de procesos y automatización	1.480.226.715,90	685.698,30	20	-	1.479.541.017,60
Ind. Cemento	Mantenimiento preventivo	1.267.227.067,48	795.738,37	20	-	1.266.431.329,12
Ind. Aluminio	Mejora de procesos en fabricación de aluminio	-19.153.835,06	0,00	20	-	-19.153.835,06
Ind. Petroquímica	Mejora de procesos en petroquímica	-18.900.000,00	23.310.000,00	20	-	-42.245.000,00
Ind. Acero	Tecnología base EAF	2.434.770.680,41	303.138.793,47	20	-	2.131.631.886,94
Ind. Acero	Gestión de energía EAF	1.530.338.667,94	8.591.163,92	20	-	1.521.747.504,02
Ind. Acero	Fundición Near net shape strip EAF	1.349.431.867,63	124.066.740,49	20	-239.098.090,00	1.464.463.217,14
Ind. Acero	Tecnología base BOF	310.961.693,03	27.954.864,93	20	-	283.006.828,10
Ind. Acero	Gestión de energía BOF	223.001.411,70	989.339,85	20	-	222.012.071,85
Ind. Acero	Fundición Near net shape strip BOF	244.985.655,75	37.058.896,51	20	-71.418.910,00	279.345.669,24
Ind. Acero	Recuperación de gases BOF	278.789.353,52	5.352.659,36	20	-	273.432.935,27
Ind. Acero	Sustitución de BOF por EAF	450.596.938,75	104.756.505,41	20	-71.418.910,00	417.259.343,34
Ind. Cerámica	Aislamiento de hornos	564.657.000,00	97.280.400,00	20	-	467.387.700,00
Ind. Cerámica	Mejora del flujo del aire	489.343.500,00	13.086.900,00	20	8.880.000,00	467.387.700,00
Ind. Cerámica	Pre calentamiento con recuperación de gases	499.855.200,00	26.917.500,00	20	5.550.000,00	467.387.700,00
Ind. Cerámica	Recuperación de calor	483.271.800,00	19.458.300,00	20	-	574.813.500,00
Ind. Cerámica	Cambio de túnel a rodillos	107.437.500,00	62.004.600,00	20	12.870.000,00	32.562.900,00
Industria	Implantar SGEEn con la norma ISO 50001	-5.936.713.433,19	33.059.776,21	10	-	5.969.773.209,40
Transporte	Coche diesel convencional	-	-	15	-	-
Transporte	Coche diesel más eficiente	13.068.501.072,22	1.762.502.592,68	15	10.884.290.553,09	10.884.290.553,09
Transporte	Coche gasolina convencional	-	-	15	-	-
Transporte	Coche de gasolina más eficiente	9.222.115.463,63	1.033.700.984,29	15	7.935.918.168,86	7.935.918.168,86
Transporte	Coche eléctrico más eficiente	588.955.074,30	192.973.674,96	15	349.010.414,40	349.010.414,40
Transporte	Coche híbrido no enchufable más eficiente	2.174.044.039,64	679.843.203,03	15	1.330.602.204,86	1.330.602.204,86
Transporte	Coche híbrido enchufable	1.506.561.622,13	355.263.517,65	15	1.065.451.237,27	1.065.451.237,27
Transporte	Camión diesel actual	-	-	15	-	-
Transporte	Camión diesel Euro V	15.428.496.145,34	693.547.636,25	15	14.458.704.959,06	14.458.704.959,06
Transporte	Camión de biodiesel	3.673.451.463,15	173.386.909,06	15	3.431.003.666,58	3.431.003.666,58

Sector	Descripción	CMLP (€)	CAPEX anualizado (€)	Vida útil	Mantenimiento (€)	Costes combustible (€)
Transporte	Autobús Euro V	646.470.532,53	108.415.875,30	15	495.543.559,95	495.543.559,95
Transporte	Autobús eléctrico	28.228.933,75	6.023.104,18	15	19.704.354,75	19.704.354,75
Transporte	Autobús híbrido	21.521.068,31	6.023.104,18	15	13.136.236,50	13.136.236,50
Transporte	Tren de pasajeros actual	-	-	15	-	-
Transporte	Tren de pasajeros eficiente	1.081.216.399,49	365.210.872,72	15	568.639.736,03	568.639.736,03
Transporte	Tte. de mercancías por ferrocarril actual	-	-	15	-	-
Transporte	Tte. de mercancías por ferrocarril más eficiente	406.246.947,61	58.803.060,12	15	324.049.121,63	324.049.121,63
Transporte	Implantación frenada regenerativa en metro	-46.834.661,08	2.859.268,29	20	-	-49.693.929,38
Transporte	Implantación frenada regenerativa en ferrocarriles metropolitanos	-157.767.290,53	3.770.176,33	20	-	-161.537.466,86
Transporte	Cursos de conducción eficiente para todos los conductores de vehículos comerciales	-108.827.603,16	42.630.582,74	5	-	-151.458.185,90
Transporte	Cursos de conducción eficiente para todos los conductores de turismos privados	-216.687.490,18	420.686.076,77	5	-	-637.373.566,96
Serv. Públicos	Alumbrado público tradicional	1.200.000.000,00	-	1	600.000.000,00	600.000.000,00
Serv. Públicos	Renovación alumbrado público (1)	1.051.766.180,25	327.048.483,75	15	334.507.278,00	390.210.418,50
Serv. Públicos	Renovación alumbrado público (2)	1.781.943.912,87	1.057.226.216,37	15	334.507.278,00	390.210.418,50
Serv. Públicos	Optimización energética de las depuradoras existentes	-89.026.183,21	27.448.027,79	15	-	-116.474.211,00
Serv. Públicos	Optimización tecnología en desalación	215.170.915,67	296.933.443,67	15	-	-81.762.528,00
Agricultura	Riego por aspersión	543.577.477,50	-	15	-	543.577.477,50
Agricultura	Riego por goteo	639.479.309,78	422.048.318,78	15	-	217.430.991,00
Agricultura	Cursos de conducción eficiente para conductores de tractor	-265.791.147,75	69.414.963,38	5	-	-335.206.111,13

Fuente: Elaboración propia

7.3 Anexo III: Fuente de datos.

A continuación se presenta la tabla con las fuentes consultadas para obtener los datos de las medidas de este proyecto.

Tabla 19: Fuentes de datos

	Edificios	Industria	Transporte	Servicios públicos	Agricultura
Consumo energético	<i>Economics for energy</i> , CECU, Cordis Europa, UNESA, CEDIC, AEFYT.	<i>Economics for energy</i> , ONUDI.	<i>Economics for energy</i> , Investigación -FFe, Revista Anales, IEEJ Trans (2012), ADIF, DGT, IDEA, CONAMA.	IDAE, iagua.	Junta Andalucía, Ministerio Agricultura, Alimentación y Medioambiente.
Costes capital (CAPEX)	<i>Economics for energy</i> , Fit4Green, tumanitas, <i>Office of Environment and Heritage (AUS)</i> .	<i>Economics for energy</i> , GaMEP.	<i>Economics for energy</i> , <i>Climate Tech Wiki</i> , RACC.	IDAE, TecnoAQUA, Sterling Fluid, ETS Ingenieros Minas de Oviedo.	CONAMA, Agrartis.
Mantenimiento y vida útil	<i>Economics for energy</i> , <i>Office of Environment and Heritage (AUS)</i> , John Wayne Air.	<i>Economics for energy</i> , <i>Clean Energy Ministerial</i> .	<i>Economics for energy</i> , Ferropedia. IDAE, CONAMA.	<i>Sterling Fluid</i> , <i>Economics for energy</i> , <i>LEDsee</i> .	CSIC, CONAMA

Fuente: Elaboración propia

Bibliografía

- ABB, 2011. *Guía Técnica nº 8 Frenado Eléctrico*
- ADIF, 2009-2014 *Plan Director de Ahorro y Eficiencia Energética.*
- Asociación Empresas Eficiencia Energética, *Consumos, Medidas y Potenciales Ahorros en Edificios.*
- Bloomberg New Energy Finance. <http://about.bnef.com/>
- Cediel Galán A., IDAE, *Movilidad Sostenible en el Entorno Urbano.*
- Climate Tech Wiki, 2006. *Regenerative Braking in Trains.*
- Dirección General de Tráfico. Estadísticas e indicadores.
- Economics for Energy 2011. *Informe 2011 Potencial Económico de Reducción de la Demanda de Energía en España*
- Economics for Energy 2010. *Informe 2010 Análisis de la evolución de la intensidad energética en España-*
- Enforce Energy Auditors Networks, 2010. *Guía Práctica sobre Ahorro y Eficiencia Energética en Edificios.*
- European Commission, 2011. *Energy efficiency plan 2011.*
- European Union, 2012. *Directive 2012/27/UE*
- Eurostat database, www.eurostat.eu.org.
- FAIN Ascensores, *Sistemas para reducir costes en ascensores.*
- García Álvarez A; Martín Cañizares M, 2012. *Cuantificación del consumo de energía eléctrica del ferrocarril español.*
- Gas Natural Fenosa, 2013. *Octavo Estudio de Eficiencia Energética en el Hogar, los estudios de ahorro y eficiencia de los Ministerios.*
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2005. *Manual de Conducción Eficiente para Conductores de Vehículos Industriales.*
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2006. *Guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por carretera.*
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2010. *Informe anual de consumos energéticos 2009.*
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2010. *Guía práctica de la energía: consumo eficiente y responsable.*

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2011. *Conducción eficiente de vehículos industriales.*

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2011. *Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 (2º Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética en España)*

International Energy Agency (IEA), 2007. *World Energy Outlook, 2006.*

López López A; Rodríguez Pecharroman R; Cucala García A.P; Revista Anales 2013. *Aprovechamiento de la energía procedente del frenado regenerativo en ferrocarriles metropolitanos.*

López López A; Rodríguez Pecharroman R; Fernández-Cardador A; Cucala García A.P; 2013. *Assessment of energy-saving techniques in direct-current-electrified mass transit systems.*

Mendiluce Villanueva, María, 2009. *La intensidad energética en España. Claves para entender su evolución.*

Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2014. *Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020.*

Office of Environment and Heritage Australia. *Using an Energy Efficiency loan to finance an efficient refrigeration system.*

Sebastián, J.A., 2011. *Análisis de políticas de eficiencia energética.*

Sicre C; Cucala A.P; Fernández-Cardador A. 2013. *Real time regulation of efficient driving of high speed trains based on a genetic algorithm and a fuzzy model of manual driving.*

Sicre C; Cucala A.P; Fernández-Cardador A; Lukaszewicz P. 2012. *Modeling and Optimizing Energy-Efficient Manual Driving on High-Speed Lines*

UNESA, 2014. *Avance estadístico 2014.*

Yáñez C., MAPFRE, 2014. *El ascensor, un elemento cada vez más imprescindible.*

Yearwood J., Harmsen R., Toledo G., 2013. *Policy analysis for energy efficiency in the environment in Spain.*