

# Trabajo Fin de Grado

## Ingeniería de la Energía



## Evaluación de medidas de eficiencia energética en el sector residencial

Autor: Fernando Rabadán Macías

Tutores: Manuel Burgos Payán

Juan Manuel Roldán Fernández

**Dpto. Ingeniería Eléctrica**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2021





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de la Energía

# **Evaluación de medidas de eficiencia energética en el sector residencial**

Autor:

Fernando Rabadán Macías

Tutores:

Manuel Burgos Payán

Juan Manuel Roldán Fernández

Dpto. Ingeniería Eléctrica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Grado: Evaluación de medidas de eficiencia energética en el sector residencial

Autor: Fernando Rabadán Macías

Tutor: Manuel Burgos Payán

Juan Manuel Roldán Fernández

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal

*A mis padres por su incondicional  
apoyo.*

*A toda persona que en algún momento de su vida me ha aportado algo nuevo.*





# Agradecimientos

---

En primer lugar, quería agradecer a todas las personas que han estado conmigo durante la carrera en estos magníficos 5 años en los que ha habido momentos muy duro y, en algunas ocasiones, he tenido ganas de dejarlo todo pero que finalmente gracias a mi fuerza de voluntad y a algunas personas en mi vida me han hecho darme cuenta de lo que realmente quería en mi vida.

Agradecer a Manuel Burgos Payán por su comprensión y dedicación cuando lo he requerido para la realización del Trabajo Fin de Grado. Sé que ha sido un año difícil para todos debido a la pandemia, pero siempre antes o después ha estado disponible para resolverme las dudas.

También agradecer a todos los buenos amigos que me llevo de la carrera con los que he pasado momentos muy buenos y con los que sé que puedo contar par toda la vida. MIL GRACIAS por todo.

A todos mis amigos del pueblo, que saben que he pasado momentos difíciles durante estos años y siempre han estado ahí para apoyarme y sacarme una sonrisa.

Agradecer a mi familia, mis primos, mis titas que, aunque hayamos pasados momentos difíciles somos una familia unida y que siempre encontramos una razón para salir a flote.

Y, por último, y como no, AGRADECER por todo en la vida a mis padres, que me han apoyado y han estado ahí siempre. Sin ellos, no hubiera llegado a donde he llegado. MIL GRACIAS

*Fernando Rabadán Macías*

*Mayo 2021*



# Resumen

---

La finalidad de este trabajo es evaluar las medidas de Eficiencia Energética en el Sector Residencial en función de estimar cómo el consumo energético de las viviendas influye en el mercado eléctrico español, bajo un criterio de la mejora de la eficiencia energética en las viviendas y reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas, sustituyendo, por ejemplo, equipos frigoríficos y lavadoras con un etiquetado energético superior al actual.

Se ha comenzado con una breve descripción de la infraestructura de generación y transporte de energía eléctrica en nuestro país, sus fuentes energéticas principales, características tecnológicas, líneas de transmisión, ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías empleadas en la nación, así como algunos comentarios que evidencian la construcción de un camino hacia un crecimiento con menos consumo basado en el incremento de la eficiencia energética.

El estudio se ha centrado especialmente en el sector residencial, mostrando algunos indicadores de consumo por regiones y realizando un análisis de las diferencias en el mismo que se producen, así como de las diferentes estrategias aplicadas en las residencias españolas en el empleo de equipos de calefacción, refrigeración y otros electrodomésticos (lavadoras). Se ha observado que al analizar a fondo estos detalles, es posible percibir diferentes definiciones para aquello que se considera como buenas prácticas, con el fin de identificar proyectos o actividades que sean replicables o innovadores en función de mejorar la eficiencia energética, y que sean económicamente viables y sostenibles.

También se ha realizado el análisis desde el punto de vista económico: la fundamentación lógica hacia un crecimiento con bajas emisiones de carbono, que sean económicamente viables y que promuevan la diversificación en la oferta de la matriz energética, la reducción de la contaminación y la minimización de la huella de carbono. Para ello, se han revisado algunas de las propuestas contenidas en el documento PNIEC, su visión y compaginación con las propuestas de la Unión Europea en el ámbito energético y la disminución del efecto invernadero de cara a un escenario hacia el año 2050.



# Abstract

---

The purpose of this work is to evaluate the Energy Efficiency measures in the Residential Sector in order to visualize and estimate how they influence the Spanish electricity market, under the criterion of a generalized agreement as part of the State's policies, signed and understood as a process oriented towards production but with a cleaner and more sustainable approach, since changes are proposed in models of refrigeration equipment and washing machines that generate less energy consumption at the residential level.

We will begin by providing summary information on the electricity generation infrastructure in our country, its main sources, characteristics, transmission lines, advantages and disadvantages of the different technologies used in the nation, as well as some comments that show the construction of a path towards growth with less consumption based on increasing energy efficiency.

We will focus especially on the residential sector, we will show some consumption indicators by region, we will make some appreciative comments about the differences in consumption, as well as the different strategies applied in Spanish residences in the use of heating, cooling equipment and other electrical appliances (washing machines). We will see that when reviewing these details, it is possible to perceive different definitions for what is considered as good practices, in order to identify projects or activities that are replicable or innovative in order to improve energy efficiency, and that are economically viable and sustainable.

We will also approach the issue from an economic point of view, the logical foundation towards growth with low carbon emissions, that are economically viable and that promote diversification in the supply of the energy matrix, the reduction of pollution and the minimization of the footprint. carbon. We will comment on some of the proposals contained in the draft document of the PNIEC, its vision and compatibility with the proposals of the European Union in the energy field and the reduction of the greenhouse effect with a view to a scenario towards the year 2050.



<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xv</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xvii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xix</b>
<b>Glosario</b>	<b>xxi</b>
<b>1 Introducción al sistema eléctrico</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Generación</i>	2
1.2 <i>Transporte</i>	5
1.3 <i>Distribución</i>	6
1.4 <i>Comercialización</i>	7
<b>2 Mercado eléctrico</b>	<b>11</b>
2.1 <i>Funcionamiento del mercado eléctrico</i>	11
2.2 <i>Mercado eléctrico y medio ambiente</i>	14
<b>3 Consumo energético residencial</b>	<b>19</b>
3.1 <i>Consumo energético del sector residencial en España</i>	19
3.2 <i>Consumo energético residencial según la zona climática</i>	24
3.3 <i>Consumo energético residencial según tipo de vivienda</i>	30
3.4 <i>Consumo energético residencial según la zona climática y el tipo de vivienda</i>	34
<b>4 Escenarios de mejora</b>	<b>39</b>
4.1 <i>Reglamento del etiquetado energético</i>	39
4.2 <i>Bomba de calor</i>	40
4.3 <i>Precio de la energía eléctrica y del gas natural</i>	42
4.4 <i>Aspectos a considerar antes de los escenarios de mejora</i>	45
4.4.1 <i>Estudio económico</i>	47
4.4.2 <i>Estudio ambiental</i>	49
4.5 <i>Escenarios de mejoras de eficiencia energética en viviendas del territorio español</i>	50
4.5.1 <i>Evaluación económica de los frigoríficos</i>	53
4.5.2 <i>Evaluación económica de las lavadoras</i>	54
4.5.3 <i>Evaluación económica de la bomba de aerotermia</i>	56
4.5.4 <i>Evaluación del consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>-eq tras las mejoras</i>	59
<b>Conclusiones</b>	<b>62</b>
<b>Referencias</b>	<b>65</b>





# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 2-1. Demanda de Energía Eléctrica peninsular y emisiones CO <sub>2</sub> -eq 2010-2019	15
Tabla 2-2 Emisiones de gases contaminantes por centrales de generación eléctrica durante 2019	16
Tabla 3-1. Número y tipo de viviendas en España	19
Tabla 3-2. Número total de equipos que proporcionan calefacción por zona climática	22
Tabla 3-3. Tasa de equipamiento según zona climática y tipo de vivienda	23
Tabla 3-4. Consumo final por zona climática	24
Tabla 3-5. Desagregación del consumo de energía según fuentes energéticas en la zona del Atlántico Norte	26
Tabla 3-6. Desagregación del consumo de energía según fuentes energéticas en la zona Continental	27
Tabla 3-7. Desagregación del consumo de energía según fuentes energéticas en la zona Mediterránea	29
Tabla 3-8. Consumo final según tipo de vivienda	30
Tabla 3-9. Desagregación del consumo de energía según fuentes energéticas en las viviendas en bloque	32
Tabla 3-10. Desagregación del consumo de energía según fuentes energéticas en las viviendas unifamiliares	33
Tabla 3-11. Consumo energético unitario en zona Atlántico Norte por tipo vivienda	34
Tabla 3-12. Consumo energético unitario en zona Continental por tipo vivienda	35
Tabla 3-13. Consumo energético unitario en zona Mediterránea por tipo vivienda	37
Tabla 4-1. Frigoríficos y lavadoras propuestas. Consumo y coste del equipo.	45
Tabla 4-2. Rendimientos e inversión de la bomba de calor de aerotermia	47
Tabla 4-3. Emisiones de CO <sub>2</sub> -eq según tipo de combustible	50
Tabla 4-4. Consumo de energía eléctrica de las distintas alternativas de frigoríficos	53
Tabla 4-5. Análisis del ahorro energético y económico de los frigoríficos Corberó A+ y A++	53
Tabla 4-6. Estimación de las variables económicas de los frigoríficos con etiquetado energético superior	54
Tabla 4-7. Consumo de energía eléctrica de las distintas alternativas de lavadoras	55
Tabla 4-8. Análisis del ahorro energético y económico de las lavadoras Corberó A++ y A+++	55
Tabla 4-9. Estimación de las variables económicas de las lavadoras con etiquetado energético superior	56
Tabla 4-10. Estructura del consumo energético de climatización y producción de ACS en un hogar de España	56
Tabla 4-11. Desglose del consumo energético	57
Tabla 4-12. Demanda de energía	57
Tabla 4-13. Análisis del ahorro energético y económico de la bomba de aerotermia	58
Tabla 4-14. Estimación de las variables económicas de la bomba de aerotermia	59
Tabla 4-15. Consumo medio total por hogar distribuido según el equipamiento antes de la sustitución de equipos	59
Tabla 4-16. Consumo medio total por hogar distribuido según el equipamiento tras la sustitución de los equipos	60
Tabla 4-17. Consumo de energía en viviendas según la zona y el tipo	60

Tabla 4-18. Ahorro de las emisiones de CO <sub>2-eq</sub> tras la aplicación de las mejoras	61
Tabla 5-1: Resultados obtenidos del consumo medio total de los frigoríficos	62
Tabla 5-2: Resultados obtenidos del consumo medio total de las lavadoras	62
Tabla 5-3: Resultados obtenidos del consumo medio total para climatización y ACS	62

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1-1. Representación esquemática del sistema eléctrico	2
Figura 1-2. Potencia Eléctrica instalada y demanda eléctrica	4
Figura 1-3. Cobertura de la demanda eléctrica peninsular durante el año 2019	5
Figura 1-4. Evolución en km de la red de transporte de energía eléctrica peninsular	6
Figura 1-5. Distribución por zonas geográficas de las empresas de distribución de electricidad	7
Figura 1-6. Componentes del precio del PVPC frente a mercado libre	8
Figura 2-1. Curvas de oferta y demanda	12
Figura 2-2. Curva de Oferta	13
Figura 2-3. Toneladas de CO <sub>2</sub> eq emitido por cada MWh generado en función de la tecnología de generación empleada	15
Figura 3-1. Distribución territorial de zonas climáticas en España	20
Figura 3-2. Estructura del consumo a nivel nacional según la fuente energética	21
Figura 3-3. Estructura del consumo residencial a nivel nacional según el uso energético	21
Figura 3-4. Estructura del consumo de los electrodomésticos de las viviendas a nivel nacional	22
Figura 3-5. Estructura del consumo energético en la zona Atlántico Norte	25
Figura 3-6. Estructura del consumo energético por electrodomésticos en la zona Atlántico Norte	25
Figura 3-7. Estructura del consumo según usos energéticos en la zona Continental	26
Figura 3-8. Estructura del consumo energético por electrodomésticos en la zona continental	27
Figura 3-9. Estructura del consumo según usos energéticos en la zona Mediterránea	28
Figura 3-10. Estructura del consumo energético por electrodomésticos en la zona Mediterránea	28
Figura 3-11. Estructura del consumo energético en las viviendas en bloque	31
Figura 3-12. Estructura del consumo energético por electrodomésticos en viviendas en bloque	31
Figura 3-13. Estructura del consumo energético en las viviendas unifamiliares	32
Figura 3-14. Estructura del consumo energético por electrodomésticos en viviendas unifamiliares	33
Figura 3-15. Estructura del consumo según fuentes energéticas en la zona del Atlántico Norte en viviendas en bloque	35
Figura 3-16. Estructura del consumo según fuentes energéticas en la zona del Atlántico Norte en viviendas unifamiliares	35
Figura 3-17. Estructura del consumo según fuentes energéticas en la zona Continental en viviendas en bloque	36
Figura 3-18. Estructura del consumo según fuentes energéticas en la zona Continental en viviendas unifamiliares	36
Figura 3-19. Estructura del consumo según fuentes energéticas en la zona Mediterránea en viviendas en bloque	37
Figura 3-20. Estructura del consumo según fuentes energéticas en la zona Mediterránea en viviendas unifamiliares	38

Figura 4-1. Representación del funcionamiento de una bomba de calor en modo calefacción	40
Figura 4-2. Evolución del precio medio anual de la electricidad en España 2010-2019	43
Figura 4-3. Evolución del PVPC frente al precio mercado diario durante el año 2019 (tarifa general 2.0A) (€/MWh)	44
Figura 4-4. Evolución del precio del gas natural en España 2012-2019	45
Figura 4-5. Proyección del Producto Interior Bruto de España (miles de M€ a precios constantes de 2016)	50
Figura 4-6. Proyección de la población española 2015-2030	51
Figura 4-7. Proyección del N° de viviendas en España 2015-2030	51
Figura 4-8. Precios internacionales de los combustibles fósiles 2015-2030	52

# Glosario

---

CECOEL	Centro de Control Eléctrico
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
BOE	Boletín Oficial del Estado
OMIE	Operador del Mercado Ibérico Polo Español
OS	Operador del Sistema
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
DOUE	Diario Oficial de la Unión Europea
UE	Unión Europea
ACS	Agua Caliente Sanitaria
IEE	Impuesto Especial sobre la Electricidad
VAN	Valor Actualizado Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
PIB	Producto Interior Bruto
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
t	Tonelada como unidad de masa



# 1 INTRODUCCIÓN AL SISTEMA ELÉCTRICO

---

*Vivimos en una sociedad exquisitamente dependiente de las ciencias y la tecnología, en la cual prácticamente nadie sabe nada acerca de la ciencia o la tecnología*

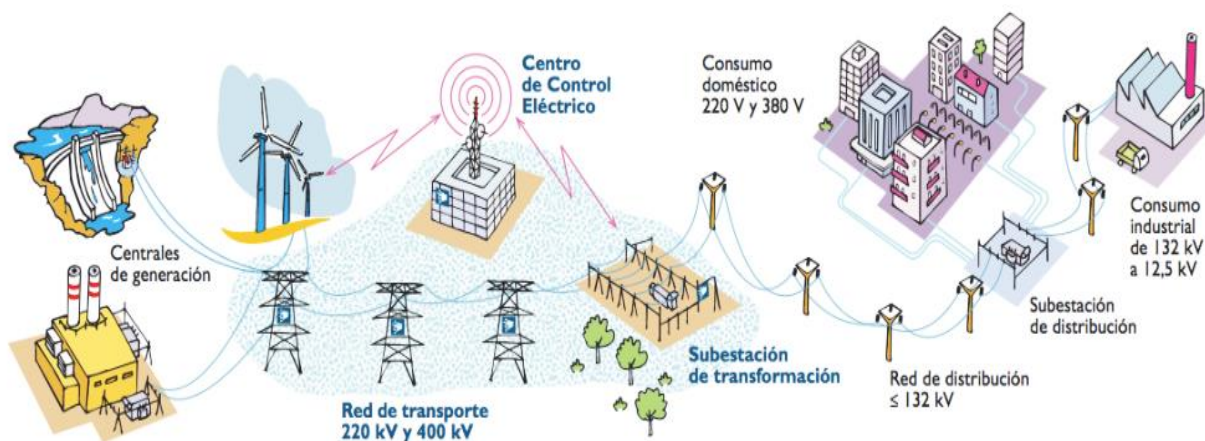
*- Carl Sagan -*

La electricidad es un elemento indispensable en nuestra sociedad. Sin ella, no podríamos llevar a cabo, muchas de las acciones que forman parte de nuestro día a día como encender la luz, desplazarnos o navegar por internet.

El sistema eléctrico es el conjunto de elementos que se encargan de satisfacer las demandas eléctricas de los distintos consumidores, operando de forma conjunta y adecuada con el fin de conseguir determinado fin. El sistema eléctrico lo componen el conjunto de elementos necesarios para la correcta generación de electricidad, el posterior transporte y distribución y finalmente el consumo por parte de los distintos tipos de consumidores de energía eléctrica. Este conjunto de elementos que forman el sistema eléctrico español está dotado de sistemas de protección, control y seguridad.

El sistema eléctrico se puede dividir en cuatro grandes actividades o actividades principales:

- **Generación:** de la generación de energía eléctrica se encargan las distintas centrales de generación, cuyo parque generador se compone tanto de centrales de generación renovables como no renovables.
- **Transporte:** es la actividad que consiste en la transmisión de la energía eléctrica desde los generadores hasta la red de distribución, mediante las llamadas líneas de muy alta tensión. En España se realiza a 220 kV y 400 kV.
- **Distribución:** consiste en llevar la electricidad, a través de las líneas de alta, media y baja tensión, a los puntos de consumo tanto industrial como servicios y doméstico. La red de distribución comprende instalaciones de tensión inferior o igual a 132 kV.
- **Comercialización:** consiste en la venta de energía eléctrica por parte de una comercializadora a los grandes consumidores industriales, los medianos y pequeños consumidores, como son los consumidores domésticos.



**Figura 1-1. Representación esquemática del sistema eléctrico**

En la Figura 1-1 [1], se ven otros elementos como son las plantas de generación, generalmente alejadas de las ciudades, las líneas de transporte en alta tensión, que llevan la energía a las cercanías de las ciudades, las subestaciones de transformación y subestaciones de distribución, que tienen la función de reducir la tensión dentro de unos determinados niveles para la distribución de la energía eléctrica hasta el consumidor final (ya sea industrial o doméstico), ya en las ciudades o en sus inmediaciones.

También se aprecia el Centro de Control Eléctrico (CECOEL), que es supervisado por Red Eléctrica España y es el responsable de la operación y supervisión coordinada de las instalaciones de generación y transporte de energía eléctrica.

## 1.1 Generación

Las centrales de generación son aquellas que obtienen electricidad, a partir de diversas fuentes de energía primaria. Tradicionalmente, las centrales obtenían la electricidad a partir de energías no renovables como el carbón, el gas o el petróleo, aunque también se obtenía energía a partir del agua, en las centrales hidráulicas. Actualmente, con el avance de la tecnología y los diversos proyectos que se han puesto en marcha para reducir la emisión de gases de efecto invernadero, ha aumentado de forma significativa la energía que se obtiene a partir de recursos renovables. La energía eléctrica se produce en las distintas centrales entre 12 kV y 14 kV.

A continuación, se explica de forma resumida el funcionamiento de las distintas tecnologías de generación de energía eléctrica en España:

- **Centrales hidráulicas.** Estas centrales aprovechan la energía de una masa de agua situada en el cauce de un río o retenida en un embalse, convirtiéndola en energía eléctrica a través de un generador acoplado a una turbina hidráulica.
- **Centrales nucleares.** Esta tecnología se basa en la fisión (rotura) de los núcleos de uranio cuyo calor obtenido se utiliza para producir vapor, el cual a partir de un ciclo de Rankine se hace pasar por una



turbina de vapor produciendo energía eléctrica.

- **Centrales térmicas convencionales.** Estas centrales se basan en la quema en una caldera de algún combustible fósil para producir vapor el cual es turbinado para producir electricidad. Los combustibles que se utilizan son carbón, gas natural o fueloil.

Estas centrales tienen un gran impacto ambiental debido a la emisión de CO<sub>2</sub>, gases contaminantes y partículas nocivas para el medioambiente y la salud de las personas.

- **Centrales de ciclo combinado.** En estas centrales, la energía térmica del gas natural es transformada en electricidad mediante dos ciclos termodinámicos consecutivos, primero en una turbina de gas y posteriormente en una turbina de vapor.

Estas centrales son más eficientes que las centrales térmicas convencionales (rendimientos aproximados al 60 %) y son menos contaminantes (emiten una tercera parte de CO<sub>2</sub> por unidad de energía producida que las centrales térmicas convencionales).

- **Centrales de cogeneración.** Son centrales en las que se obtienen de forma simultánea electricidad y calor. Los tamaños de las centrales de cogeneración van desde centrales pequeñas (5 MW) a centrales grandes (50 MW).

Estas centrales emiten menos contaminantes debido a su alto rendimiento (en torno al 80 %) ya que necesitan consumir menos combustible que si se produjera electricidad y calor mediante dos procesos separados.

- **Centrales eólicas.** Estas centrales producen electricidad a partir de la energía cinética del viento por lo que no producen ninguna emisión contaminante. Hay centrales eólicas que superan los 100 MW de potencia instalada.

Es una de las fuentes renovables que han alcanzado mayor madurez por lo que se espera que incremente su futura aportación para contribuir al abastecimiento de energía en España.

- **Central solar fotovoltaica.** Transforma directamente la energía solar en electricidad mediante células solares basadas en materiales semiconductores que generan electricidad cuando sobre ellos inciden la radiación solar.

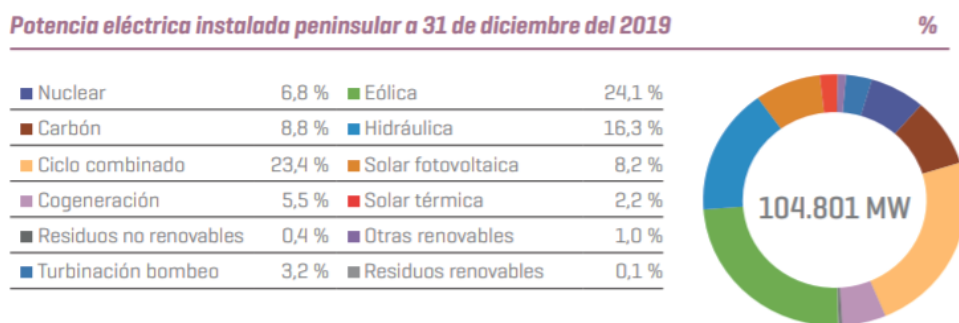
Es una tecnología que en los últimos años ha experimentado una bajada exponencial de los precios de la instalación (de 6 €/Wp en 2007 a 0,6 €/Wp en 2020), lo que ha hecho que sean rentables económicamente per sé sin ayudas externas como primas. En España, es la segunda fuente renovable en potencia instalada (MW) y en generación de energía eléctrica (MWh) por detrás de la eólica.

- **Central termosolar.** En ellas se utiliza la radiación solar directa para calentar un fluido caloportador que, mediante un ciclo termodinámico, produce la potencia térmica necesaria para mover a un alternador y así generar energía eléctrica.

- **Centrales de biomasa.** En ellas se produce electricidad a partir de la quema de combustibles orgánicos que pueden ser de origen animal, vegetal o a partir de cultivos energéticos. Normalmente suelen tener un pequeño tamaño (en torno a 30-40 MW).
- **Geotermia.** La energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie de la tierra sólida y aunque, es una de las fuentes de energías renovables menos conocidas, supone el recurso energético más importante, después del sol.

En cuanto a la generación, España es un país que tiene un mix energético bastante diversificado lo que hace que no haya problemas a la hora de satisfacer la demanda de energía.

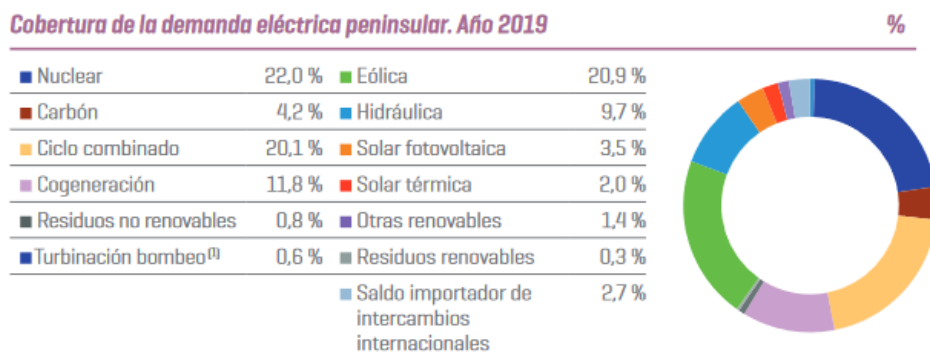
La potencia instalada se refiere a la capacidad total que puede proporcionar un sistema eléctrico medido en megawattios. Al 31 de diciembre del año 2019, según puede observarse en la Figura 1-2 [2], la potencia instalada era de 104.801 MW, siendo la eólica y la hidráulica las dos fuentes renovables con mayor capacidad. Igualmente, la tecnología de ciclo combinado tiene una potencia instalada de 23,4 % del total de 104.801 MW.



**Figura 1-2. Potencia Eléctrica instalada y demanda eléctrica**

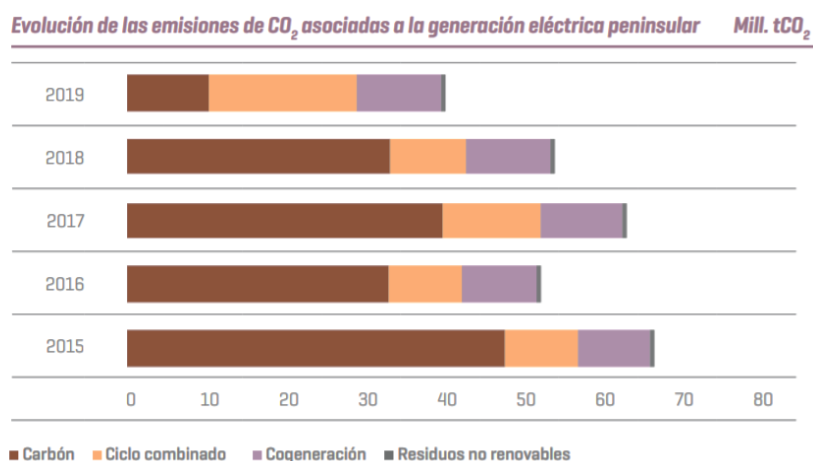
La máxima potencia instantánea en el año 2019 fue de 40.455 MW lo que quiere decir que el sistema eléctrico está sobredimensionado, es decir, si todas las centrales aportaran el máximo de energía posible a la red serían capaces de abastecer más del doble del máximo de demanda registrado en el año 2019. Siempre es recomendable que un sector eléctrico esté sobredimensionado para abastecer cualquier pico que pudiera aparecer y para asegurar la demanda en cualquier momento, pero en el caso de España está bastante claro que no hay suficientes incentivos o motivos para hacer crecer el parque de generación eléctrica.

Por otro lado, en la Figura 1-3 [2] se puede observar la cobertura de la demanda eléctrica de cada una de las tecnologías que están instaladas en la Península, teniendo en cuenta que la energía nuclear es la que mayor demanda eléctrica cubre pese a su bajo porcentaje de potencia instalado. Esto se debe a que, durante todo el año, la producción de energía eléctrica con esta tecnología se mantiene constante en todo momento (son las que funcionan a plena potencia durante un mayor número de horas al año). También se puede observar que la fuente de energía renovable que mayor demanda cubre es la energía eólica, siendo mayor incluso que la generada por los ciclos combinado.



**Figura 1-3. Cobertura de la demanda eléctrica peninsular durante el año 2019**

Otro dato a destacar, es el escaso porcentaje de demanda de energía eléctrica que cubren las centrales de carbón (esto es debido al aumento de precio de los derechos de emisión), lo que ha provocado un descenso en las emisiones de CO<sub>2</sub> con respecto a los últimos años, que se puede observar en la Figura 1-4 [2]:



**Figura 1-4. Evolución de emisiones de CO<sub>2</sub> por tecnología para la generación eléctrica**

## 1.2 Transporte

La actividad de transporte tiene como objetivo llevar la electricidad desde el punto donde se genera hasta los puntos de consumo de los grandes consumidores industriales, que están directamente conectados a la red de transporte y hasta los puntos de las subestaciones de distribución, desde donde se lleva la energía al resto de consumidores, siempre garantizando la calidad y aumentando la seguridad del suministro. Este transporte, en el que se cubren algunos centenares de kilómetros, se realiza en alta tensión (típicamente 400 kV) a fin de que el transporte se realice de forma eficiente, es decir, de que el transporte se realice con pérdidas reducidas.

La ley 17/2007, de 4 de julio, por la que se modifica la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del sector eléctrico otorgó a Red Eléctrica España (REE) la autoridad y capacidad de ser la única red transportista en España. En España, la red de transporte de electricidad engloba las líneas, los transformadores y otros elementos de tensión igual o superior a 220 kV, también aquellas instalaciones que, siendo inferior a 220 kV, cumplen funciones de transporte, así como las instalaciones de interconexiones internacionales, junto con los sistemas insulares y extrapeninsulares.

Según el último informe de REE [2], La red de transporte de Red Eléctrica está constituida por más de 44.000 líneas de alta tensión, más de 5.500 posiciones de subestación y más de 86 GVA de capacidad de transformación. Las funciones que tienen que cumplir REE como operador de las redes de transporte son las cinco siguientes: [1]

- Garantizar el equilibrio y la seguridad del sistema eléctrico nacional.
- Minimizar las pérdidas.
- Transportar la energía eléctrica hasta las distintas subestaciones de distribución.
- Mantener dentro de unos límites aceptables los parámetros básicos de la red como son la tensión y la frecuencia.
- Dependiendo de la demanda en cada momento, utilización de los puntos de producción óptimos.

Como se puede observar en la Figura 1-5 [2], en el año 2019 Red Eléctrica España (REE) ha aumentado la red de transporte en 112 km por lo que se sitúa para el 2019 en 41.031 km y, tiene una capacidad de transformación de 86.427 MVA.

#### *Evolución de la red de transporte de energía eléctrica peninsular*

	2015	2016	2017	2018	2019 <sup>(1)</sup>
Circuito 400 kV [km]	21.181	21.616	21.725	21.727	<b>21.736</b>
Circuito ≤ 220 kV [km]	19.004	19.092	19.117	19.192	<b>19.295</b>
Capacidad de transformación [MVA]	82.195	82.795	83.345	85.627	<b>86.427</b>

**Figura 1-5. Evolución en km de la red de transporte de energía eléctrica peninsular**

### 1.3 Distribución

La distribución eléctrica es la actividad que se encarga de llevar la electricidad desde las redes de transporte hasta los puntos de consumo. En España, se consideran redes de distribución, a aquellas líneas inferiores a 220 kV que no se dedican al transporte de la energía y a todos los elementos necesarios (control, protección, transformadores, etc) para llevar a cabo dicha actividad. Las subestaciones de distribución se pueden dividir en dos grupos:

- Subestaciones elevadoras. Se encuentran cerca de las centrales de generación y su función es recoger la energía eléctrica a media tensión entre 6 y 21 kV y elevarla a alta o muy alta tensión (entre 220 y 400 kV) mediante un transformador. El objetivo de estas subestaciones es facilitar el transporte de la electricidad a partir de las redes de transporte y asegurar el mínimo de pérdidas por efecto Joule en las líneas durante todo el recorrido.

- Subestaciones reductoras. Se encuentran cerca de los puntos de consumo domésticos o industriales (ciudades) y tienen como objetivo reducir la tensión de la energía eléctrica mediante transformadores, asegurando la calidad y el suministro de la electricidad.

La actividad de distribución es una actividad regulada por lo que es llevada a cabo por cinco compañías en el territorio nacional y no se puede cambiar de distribuidora debido a que esas compañías son las propietarias de las redes de distribución.

Como se puede visualizar en la Figura 1-6 [3], Endesa dispone de las zonas de Cataluña, Andalucía, Aragón, las Islas Canarias y las Islas Baleares, Iberdrola posee gran parte del centro y el este de la península, Gas natural fenosa posee una parte importante del centro y el oeste y, por último, EDP y Viesgo se reparten de forma casi equitativa el norte del país.



Figura 1-6. Distribución por zonas geográficas de las empresas de distribución de electricidad

## 1.4 Comercialización

La actividad de comercialización consiste en el suministro de energía eléctrica por parte de una comercializadora a los consumidores finales a cambio de una contraprestación económica. Es una actividad liberalizada, al igual que la generación, lo que quiere decir que hay competencia entre las distintas comercializadoras, lo que fomenta una mejora tanto de servicios como de precios, afectando a la ley de la oferta y la demanda, y favoreciendo al consumidor.

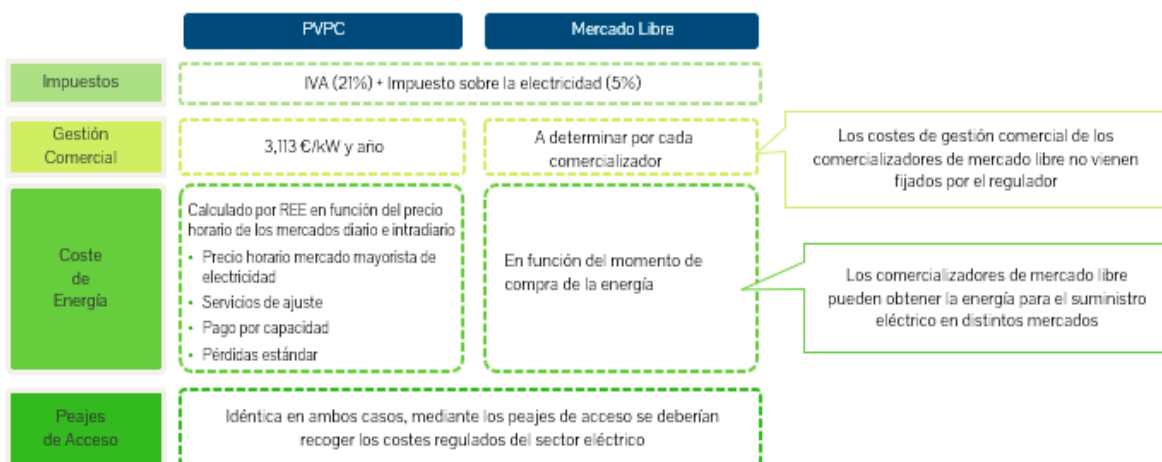
Los consumidores se dividen en dos grupos:

- Domésticos. La energía eléctrica que se requiere en los hogares es de 230 V.
- Industriales. En las industrias se requiere energía eléctrica con una tensión entre 12,5 kV y 132 kV.

Estas empresas tienen que prever el consumo de los clientes y adquirir la energía mediante los distintos procedimientos de contratación (mercado diario, mercado a plazo o contratación bilateral). Para llevar a cabo el suministro de la energía a los consumidores, utilizan las redes de transporte y distribución, mediante la contratación y el pago de peajes de acceso.

En el sector eléctrico existen dos formas por las que las comercializadoras pueden suministrar energía a los consumidores:

- **Tarifa PVPC:** tarifa de Precio Voluntario al Pequeño Consumidor (Figura 1-7 [4]), consiste en un precio para el kWh, referido al precio del mercado diario que cambia cada hora de cada día en función de la oferta y la demanda de electricidad (el precio sube en los días y horas en que más electricidad consumen los españoles, y baja en los momentos en que se desploma el consumo, normalmente por las noches). Esta tarifa sólo la pueden ofrecer una serie de compañías que son las denominadas compañías de referencia y sólo se pueden solicitar si tienes una potencia contratada inferior a 10 kW.
- **Contratación en el Mercado Libre** mediante la intervención de una comercializadora. Todos los consumidores tanto domésticos como industriales pueden acogerse a este tipo de tarifa y la característica principal es que establece un precio fijo de energía para todo el año. Este tipo de tarifa la pueden ofrecer todas las comercializadoras, no sólo las comercializadoras de referencia.



**Figura 1-7. Componentes del precio del PVPC frente a mercado libre**







## 2 MERCADO ELÉCTRICO

---

En este capítulo, se expone brevemente el funcionamiento del mercado eléctrico español y las funciones de los distintos agentes que intervienen en él, así como la relación entre el mercado eléctrico y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Es necesario conocer cómo funciona el mercado eléctrico para ver en el capítulo 4 cómo afectan las distintas medidas de eficiencia energética tanto a la reducción de energía a nivel nacional como a la reducción de emisiones contaminantes, para así contribuir a la lucha contra el cambio climático.

### 2.1 Funcionamiento del mercado eléctrico

Hasta 1997 no se produce la liberalización del sector eléctrico español, a partir de la publicación en el BOE de la ley 54/1997 de 27 de noviembre del sector eléctrico, ya que antes el precio de la energía eléctrica lo determinaba el gobierno, que financiaba los costes de las empresas de generación, transporte y distribución que eran generalmente privadas. En este momento, surgió el operador del mercado, que es la entidad que se encarga de gestionar el sistema de ofertas de compra/venta de energía y las operaciones del mercado.

El 26 de diciembre de 2013 se publica la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico que establece que la operación del sistema, la operación del mercado, las actividades de transporte y distribución de energía eléctrica tienen carácter de actividades reguladas a efectos de su separación de otras actividades, y su régimen económico y de funcionamiento se ajustará a lo previsto en la presente ley.

En España, la casación de la energía eléctrica se realiza de manera conjunta con Portugal en el mercado ibérico de electricidad y es llevada a cabo por el Operador del Mercado Ibérico Polo Español (OMIE). En el mercado mayorista de electricidad, se puede vender la energía a partir de contratos bilaterales físicos o bien en el mercado organizado o *pool*, donde se realiza la mayor parte de transacciones.

El mercado organizado o *pool* se estructura bajo una serie de mercados sucesivos de oferta y demanda de energía. Dentro de este mercado, destaca el mercado diario, en el que tiene lugar el 85 % de las transacciones y en el que se negocia la energía para las 24 horas del día siguiente. Posteriormente, nos encontramos con el mercado intradiario (con seis sesiones al día, que operan casi en tiempo real), que se denomina mercado de “ajuste” ya que, gracias a este mercado, el sistema puede resolver las diferencias que existen entre la demanda real y la prevista y los generadores pueden optimizar sus programas de operación. [5]

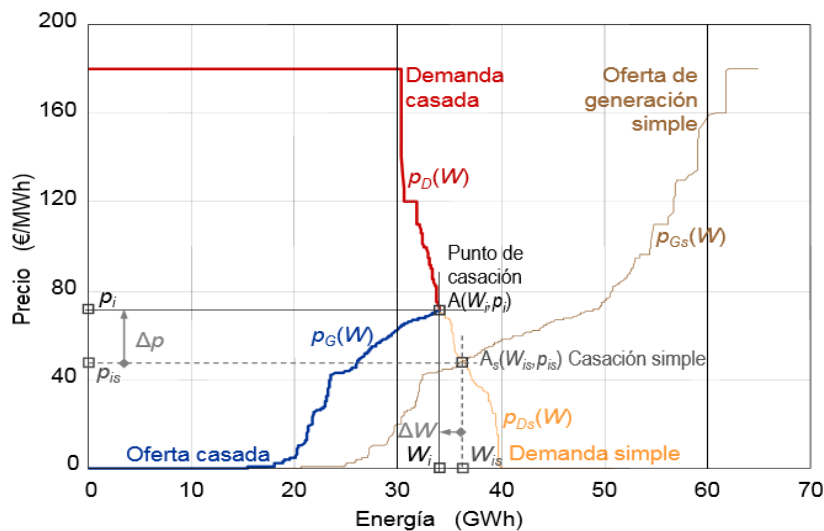
El mercado diario es el principal mercado de contratación de electricidad en la península ibérica y en él, los distintos agentes productores de electricidad realizan ofertas de venta de energía para cada una de las horas del día siguiente, mientras que los agentes que adquieren la electricidad realizan ofertas de compra. Tanto los agentes productores como los de demanda deben enviar sus ofertas de venta y compra de energía respectivamente al

Operador del Mercado antes de las 12:00 h del día anterior, cuyos precios están acotados entre 0 y 180,30 €/MWh.

Las ofertas que admite el Operador del Mercado Ibérico pueden ser simples y complejas. Las ofertas simples son ofertas de precio y cantidad de energía mientras que las complejas, son sólo propias de las ofertas de venta e incorporan unas restricciones técnicas y económicas.

Para cada hora del día hay una curva de oferta y demanda. El Operador del Mercado es el encargado de generar la curva de oferta ordenando las distintas ofertas de cantidad de energía en un orden ascendente de precios, mientras que la curva de demanda se obtiene ordenando de manera descendente las cantidades ofertadas por los compradores.

En la Figura 2-1 [6], están representadas las curvas de oferta y demanda para una hora determinada de un día. El Operador del Mercado Ibérico al igual que el resto de mercados europeos utilizan el algoritmo matemático EUPHEMIA para obtener el punto de casación (punto de corte entre la curva de demanda casada y oferta casada), que determina el precio y la cantidad de energía para cada hora del día. En este punto de equilibrio, no se produce más energía porque el precio demandado por la siguiente unidad de generación, excede el valor que los compradores estarían dispuestos a pagar por dicha unidad [5]. El mercado es “marginalista”, lo que significa que todas las ventas o compras de energía se pagan para esa hora, al precio de casación.



**Figura 2-1. Curvas de oferta y demanda**

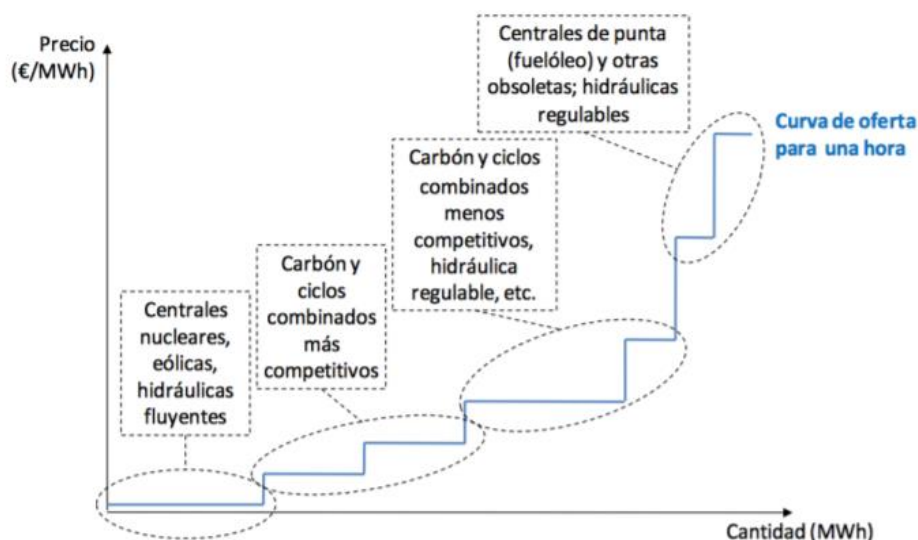
En la Figura 2-1 se pueden observar 2 situaciones que harían variar el precio de la energía en el mercado:

- Si se produce un aumento de la demanda de energía eléctrica, la curva de demanda se desplazaría hacia la derecha, haciendo que el punto de casación se desplace hacia arriba por lo que se encarecería el precio de la energía para esa hora.
- Si hay una mayor participación de renovables en la generación de energía eléctrica (este tipo de centrales ofertan su energía a precio 0), la curva de oferta se desplazaría hacia la derecha lo que haría que el punto de casación bajara provocando una bajada en el precio de la energía eléctrica.

Una vez que el Operador de Mercado (OMIE), ha llevado a cabo las curvas de oferta y demanda de energía para las 24 horas del día siguiente y ha establecido el punto de casación para cada hora, le comunica la información

al Operador del Sistema (OS), que en España es Red Eléctrica, que tiene la función de garantizar la continuidad y seguridad del suministro y la coordinación de los sistemas de producción y transporte.

Por otra parte, sería interesante estudiar las curvas de oferta y demanda por separado, para ver cómo se ha llegado al punto de casación, y ver cuáles son los precios y la cantidad de energía que ofertan los distintos tipos de tecnologías de generación. En la Figura 2-2 [4] se representa la curva de oferta de los distintos agentes productores en orden ascendente de precios.



**Figura 2-2. Curva de Oferta**

Como datos significativos de este tipo de curva (Figura 2-2 [4]), destacan que tanto las centrales nucleares como las renovables ofertan una cantidad determinada de energía a precio 0 para que dicha cantidad resulte casada. En el caso de las centrales nucleares es debido a que no le interesa parar la producción de energía y, en el de las renovables, la ofertan a precio 0 porque el recurso es gratis. En el lado opuesto de la curva se encuentran las centrales de punta (tienen como principal función cubrir la demanda de energía eléctrica cuando existen picos de consumo) como son las centrales de fuelóleo, ya que este tipo de centrales tienen que ofertar la energía al precio máximo para cubrir los gastos de producción y el precio elevado de los combustibles fósiles. También se encuentran en este lado de la curva las centrales hidráulicas regulables ya que tienen la capacidad de almacenar agua para producir energía eléctrica en el momento en el que obtengan un mayor beneficio económico.

En la curva de demanda de energía eléctrica por parte de los consumidores que se representa en la figura 2-1, también se puede observar unos tramos característicos. En el tramo inicial plano al precio máximo, se encuentran la mayoría de las comercializadoras ya que tienen que asegurarse de abastecer a los consumidores. Los consumidores que demandan la energía a un precio inferior, se refieren a los grandes consumidores industriales, que tienen la oportunidad de autoproducir energía eléctrica, por lo que sólo adquieren la electricidad en el mercado cuando el precio es más bajo de lo que le cuesta producir la energía eléctrica.

## 2.2 Mercado eléctrico y medio ambiente

En los últimos años, la creciente preocupación por el cambio climático que se traduce en un incremento de la temperatura media de la superficie terrestre, provocado en gran medida por la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en los distintos sectores de la industria, el transporte y el energético ha provocado que se alcancen unos acuerdos internacionales como el Protocolo de Kyoto de las Naciones Unidas, la Cumbre de Montreal o el Acuerdo de París llevado a cabo en 2015 con el objetivo de combatir esta situación. Las principales medidas impulsadas en estos acuerdos son la creciente producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables y el aumento de medidas de eficiencia energética llevada a cabo en los distintos países.

La Unión Europea y, por consiguiente, sus estados miembros para combatir esta problemática medioambiental propusieron una serie de objetivos que tenían que cumplir a final del 2020 [7], entre los cuales destacan la reducción de un 20% de emisiones de GEI en relación con 1990 y el aumento de un 20% de la eficiencia energética, estando estos objetivos recogidos en la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios [8].

Para cumplir con una serie de objetivos previstos por la Unión Europea en 2030, la UE demanda a cada Estado miembro un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. En el caso de España, el Gobierno de España ha impulsado el PNIEC (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima), programa con el que espera cumplir con una serie de retos y oportunidades establecidos por la Unión Europea en cuanto a materia de energías renovables, eficiencia energética, seguridad energética, innovación y competitividad. Las medidas impulsadas en el PNIEC permitirán alcanzar en España los siguientes hitos:

- Reducción del 23 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.
- 42 % de renovables sobre el uso final de la energía.
- Una mejora de eficiencia energética del 39,5 %.
- 74 % de energía renovable en la generación eléctrica.

Dentro de los GEI, cerca del 60% del efecto de calentamiento de la atmósfera se atribuye al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), mientras que el metano ( $\text{CH}_4$ ) contribuye con un 15% y el óxido de nitroso ( $\text{NO}_2$ ) con un 5%. La mayor parte del  $\text{CO}_2$  en el sector energético se produce como consecuencia de la combustión de combustibles fósiles, principalmente en el caso del carbón.

Debido a esto, el volumen de  $\text{CO}_2$  emitido en un país depende del mix energético con el que se cubra la demanda de cada una de las horas, por lo que varía dependiendo del día, la hora y la estación del año en la que estemos.

En la Tabla 2-1, se recoge la demanda de energía eléctrica peninsular y las emisiones de  $\text{CO}_2$  para los últimos diez años (desde 2010 hasta 2019) [2].

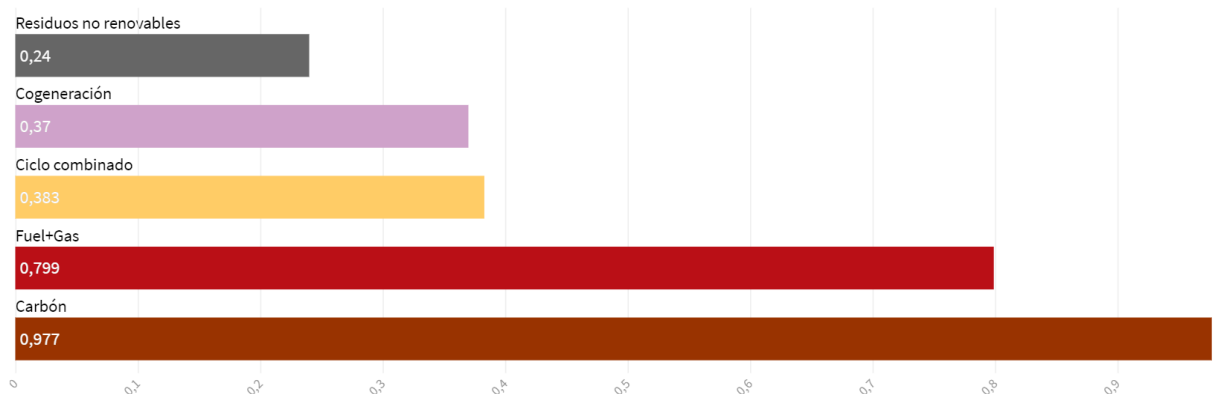
**Tabla 2-1. Demanda de Energía Eléctrica peninsular y emisiones CO<sub>2</sub>-eq 2010-2019**

	<b>Demanda de energía eléctrica peninsular (TWh)</b>	<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (Mt-eq CO<sub>2</sub>)</b>
2010	260,6	66,8
2011	254,8	79,7
2012	251,7	86,0
2013	246,3	66,2
2014	243,5	66,1
2015	248,2	77,2
2016	250,0	63,1
2017	252,7	74,5
2018	253,5	64,6
2019	249,0	49,6

Como se puede ver en la Tabla 2-1, el año 2019 es el año en el que se ha emitido una menor cantidad de CO<sub>2</sub>. Este hecho tiene lugar debido a que el 56,9 % de la generación tuvo lugar a partir de tecnologías que no emiten CO<sub>2</sub> a la atmósfera (renovables, hidráulica fluyente y nuclear). También tiene especial importancia en este hito, la escasa participación (5%) de las centrales térmicas de carbón en la estructura de generación.

En la Figura 2-3 [2], se representan las principales tecnologías que emiten una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> por cada MWh generado:

Toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por cada MWh generado | 2019

**Figura 2-3. Toneladas de CO<sub>2</sub>-eq emitido por cada MWh generado en función de la tecnología de generación empleada**

En lo relacionado con otros tipos de sustancias contaminantes que afectan al medio ambiente y resultan nocivos para la salud humana, los datos recogidos para el año 2019 en centrales de combustión y cogeneración son los recogidos en la Tabla 2-2 [9].

**Tabla 2-2 Emisiones de gases contaminantes por centrales de generación eléctrica durante 2019**

Contaminante	Tipo de tecnología	
	Combustión de combustibles fósiles, residuos o biomasa	Cogeneración, calderas, generadores de vapor
<i>Amoniaco (NH3)</i>	239,75 Tn/año	252,73 Tn/año
<i>Monóxido de carbono (CO)</i>	15.270,89 Tn/año	8.063,61 Tn/año
<i>Óxido nitroso (N2O)</i>	815,47 Tn/año	148,95 Tn/año
<i>Metano (CH4)</i>	6.517,28 Tn/año	659,39 Tn/año
<i>Óxidos de azufre (SOX, SO2)</i>	30.869,27 Tn/año	3.329,91 Tn/año

En lo que se refiere a medidas de eficiencia energética llevadas a cabo en el capítulo 4, que provocan una reducción de la demanda, se prevé una reducción del precio de la energía eléctrica en el mercado mayorista, ya que se evita el consumo de energía proveniente principalmente de los combustibles fósiles, que son los más costosos y, por consiguiente, una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Esto tiene lugar debido a que la reducción de la demanda afecta a la cantidad de energía casada y, por tanto, se puede abastecer la demanda de energía eléctrica mayoritariamente a partir de fuentes de energía renovables.







# 3 CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL

En este capítulo, se va a realizar un análisis del consumo energético (energía térmica y eléctrica) en el sector residencial desde un punto de vista global en España y atendiendo a una serie de subdivisiones que caracterizan el consumo en dicho sector. Se va a realizar dicho análisis apoyándonos en el Proyecto SECH-SPAHOUSEC [10], que fue un proyecto llevado a cabo por Eurostat y el IDAE en el año 2010 con el fin de obtener un conocimiento detallado sobre el consumo energético en el sector residencial. Se utiliza este proyecto llevado a cabo en el año 2010 debido a que todavía no han publicado los resultados del nuevo estudio sobre el consumo en este sector, que se publicará a finales de 2020.

## 3.1 Consumo energético del sector residencial en España

En España, según [10] en el sector residencial se consume el 17% de la energía final y el 25% del consumo de energía eléctrica de todo el país. Esto se debe al aumento de las viviendas principales ocupadas y, por consiguiente, al aumento en los hogares de los aparatos que utilizan tanto energía eléctrica como térmica, para satisfacer sus necesidades energéticas. Debido al mayor consumo de energía en el sector residencial, es indispensable el conocimiento de dicho consumo de una forma exhaustiva para proponer una serie de medidas de ahorro energético que resulten lo más beneficiosas posibles. El proyecto SECH-SPAHOUSE se llevó a cabo mediante encuestas telefónicas, encuestas presenciales y mediciones “in situ” en un número representativo de viviendas de cada una de las zonas climáticas, para conocer el equipamiento, consumo y comportamiento energético en el sector residencial. Posteriormente, se realizó una extrapolación al resto de viviendas que componen el territorio nacional mediante métodos estadísticos (como en todo programa de simulación estadística hay errores, aunque en este caso los errores encontrados son muy pequeños).

Para ver como afectarán sobre el global de las viviendas las medidas de ahorro y eficiencia energética que se expondrán en el capítulo 4 es necesario conocer el número y el tipo de vivienda, así como la zona climática donde se encuentran (Figura 3-1) [10]. En la Tabla 3-1, se observa el número y el tipo de vivienda y la zona donde se encontraban en España en el año 2010 cuando se hizo el estudio [10]:

**Tabla 3-1. Número y tipo de viviendas en España**

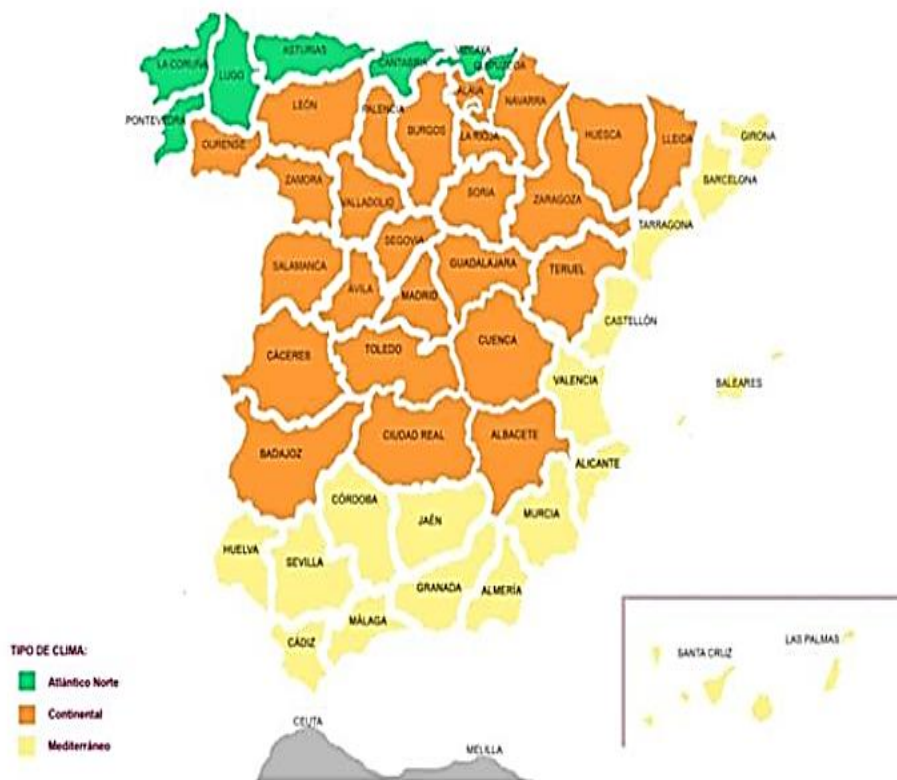
Zona Climática	Unifamiliar	Bloque	TOTAL
<i>Atlántico Norte</i>	580.240	1.673.181	2.253.421
<i>Continental</i>	1.649.042	4.133.792	5.782.834
<i>Mediterráneo</i>	2.867.948	6.295.427	9.163.375
<b>TOTAL</b>	5.097.230	12.102.400	17.199.630

En las viviendas españolas, se satisfacen las necesidades energéticas a partir de energía térmica (consumo de combustibles) o bien a partir de la energía eléctrica procedente de las centrales de generación y, en un porcentaje muy pequeño, a partir de energía renovables de autoconsumo. El consumo energético medio de un hogar español

es de 10.521 kWh al año, siendo el consumo medio de combustibles 1,8 veces mayor que el consumo de energía eléctrica.

El consumo energético residencial en España se puede explicar atendiendo a una serie de parámetros que se presentan a continuación:

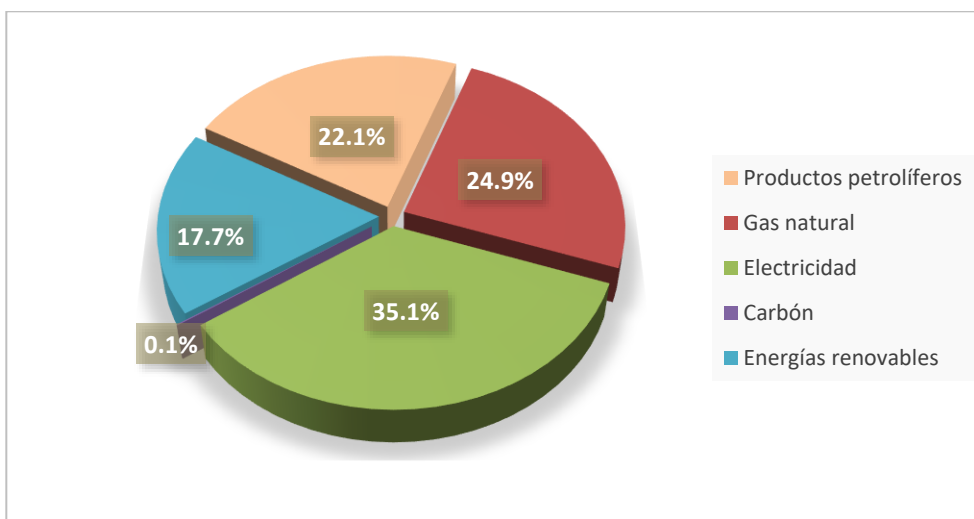
- **Según la zona climática.** España se puede dividir en tres zonas climáticas, dependiendo del rango de temperaturas promedios máximas, medias y mínimas de cada una de las provincias españolas durante los años 1997-2007. La mayor diferencia de temperaturas entre el verano e invierno hace que las viviendas de la zona continental sean las que tengan un mayor consumo medio por hogar seguidas de las viviendas de la zona atlántica y las que menos consumen son las de la zona mediterránea debido a la suavidad de las temperaturas.



**Figura 3-1. Distribución territorial de zonas climáticas en España**

- **Según el tipo de vivienda.** En España, existen viviendas en bloque y viviendas unifamiliares, predominando las viviendas en bloque que representan un 70 % del conjunto de viviendas españolas frente a un 30 % las viviendas unifamiliares. El consumo energético medio de las viviendas unifamiliares por hogar es de 17.012 kWh mientras que el consumo medio de las viviendas en bloque es de 7.859 kWh/vivienda. Esta enorme diferencia en el consumo, se explica porque las viviendas unifamiliares tienen de media una mayor superficie, un mayor número de habitaciones y, por tanto, un mayor número de electrodomésticos y aparatos que consumen energía.

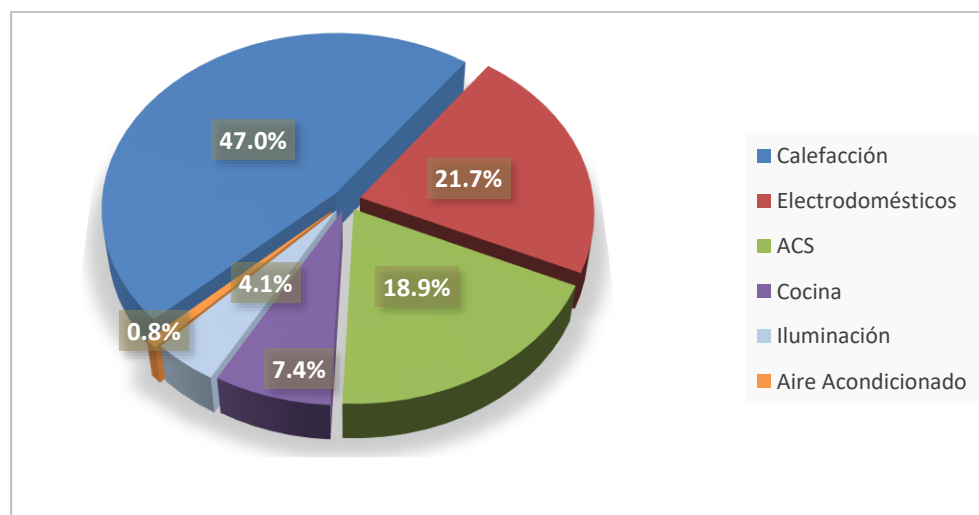
- **Según la fuente energética.** En esta clasificación se engloba tanto las fuentes energéticas de origen térmico como la electricidad que se utilizan en las viviendas españolas para satisfacer una demanda energética. Como se puede observar en la Figura 3-2 [10] la electricidad es la fuente energética más utilizada en los hogares españoles seguida del gas natural y de los productos petrolíferos, teniendo el carbón una presencia testimonial en dicho consumo.



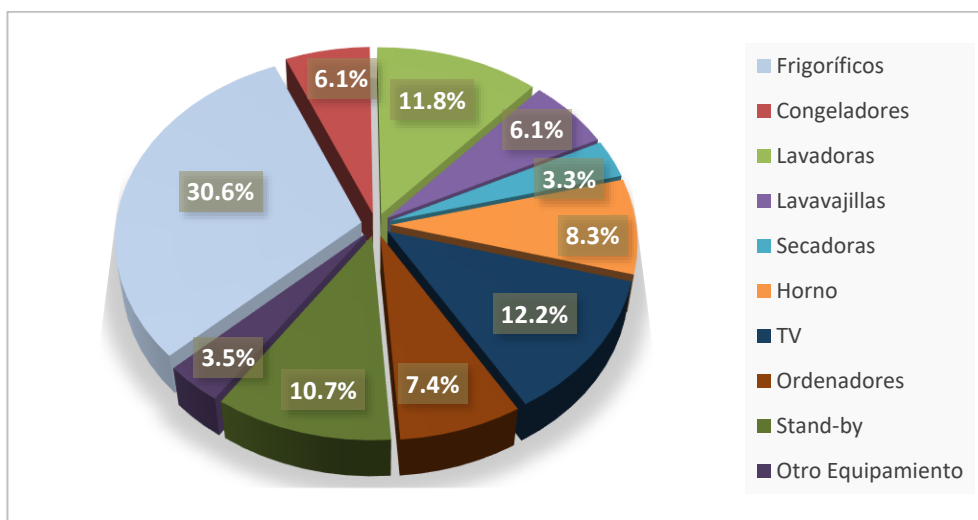
**Figura 3-2. Estructura del consumo residencial a nivel nacional según la fuente energética**

- **Según el uso o servicio energético.** En las viviendas españolas se proporcionan una serie de servicios a partir de las diversas fuentes energéticas. Los escenarios de medidas de ahorro en el capítulo 4 se llevarán a cabo sobre aquellos equipos que proporcionen el servicio energético que consume una mayor cantidad de energía en el global del sector residencial.

Como se puede observar en la Figura 3-3 [10] y la Figura 3-4 [10], el mayor consumo energético sería el correspondiente a la calefacción seguido del consumo de los electrodomésticos (principalmente, los frigoríficos seguidos de la televisión y las lavadoras) y del ACS por lo que en el capítulo 4 se centrará en la sustitución de aparatos que proporcionan calefacción/refrigeración/ACS y electrodomésticos por otros más eficientes.



**Figura 3-3. Estructura del consumo residencial a nivel nacional según el uso energético**



**Figura 3-4. Estructura del consumo de los electrodomésticos de las viviendas a nivel nacional**

En cuanto a los sistemas de calefacción que más se utilizan en cada una de las viviendas de cada zona climática, se representa en la Tabla 3-2 [10], el número total de equipos, destacando una mayor presencia de calderas convencionales en la zona continental y del atlántico norte mientras que en la zona mediterránea, este servicio se suministra mayormente a partir de aparatos eléctricos como pueden ser los radiadores eléctricos y bombas de calor no reversible.

**Tabla 3-2. Número total de equipos que proporcionan calefacción por zona climática**

		España	Zona Atlántica	Zona Continental	Zona Mediterránea
<b>Calefacción</b>	<b>Caldera Convencional</b>	7.662.435	1.226.372	4.135.681	2.300.382
	<b>Caldera de Condensación</b>	216.715	35.564	110.033	71.118
	<b>Bomba de Calor No Reversible</b>	3.204.291	6.259	455.429	2.742.603
	<b>Bomba de Calor Resversible</b>	92.878	19.173	30.253	43.452
	<b>Radiador/Convector/Acumulador Eléctrico</b>	3.513.884	527.308	781.417	2.205.160
	<b>Paneles Solares</b>	154.797	28.344	68.805	57.648
	<b>Calefactor/Radiador Portátil Eléctrico</b>	3.606.762	356.861	609.196	2.640.706
	<b>Calefactor/Radiador Portátil No Eléctrico</b>	727.544	106.471	203.139	417.935
	<b>Otros</b>	122.894	159.988	387.960	674.945

Para explicar el mayor consumo energético debido a la calefacción y los electrodomésticos, es importante conocer la tasa de equipamiento que proporciona los distintos servicios energéticos. En la Tabla 3-3 [10] se representa la tasa de equipamiento según la zona climática y el tipo de vivienda.

Tabla 3-3. Tasa de equipamiento según zona climática y tipo de vivienda

	ZONA CLIMÁTICA			TIPO DE VIVIENDA		TOTAL ESPAÑA
	<i>Atlántico Norte</i>	<i>Continental</i>	<i>Mediterráneo</i>	<i>Unifamiliar</i>	<i>Bloque</i>	
<b>CALEFACCIÓN</b>	92,8%	95,1%	86,2%	87,7%	91,0%	90,0%
<b>AGUA CALIENTE SANITARIA</b>	99,9%	99,7%	99,9%	99,6%	100,0%	99,8%
<b>COCINA</b>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
<b>AIRE ACONDICIONADO</b>	1,1%	39,3%	66,7%	48,4%	50,1%	48,9%
<b>ILUMINACIÓN</b>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
<b>ELECTRODOMÉSTICOS</b>						
<i>Frigoríficos</i>	99,9%	99,8%	99,4%	99,6%	99,6%	99,6%
<i>Congeladores</i>	30,1%	22,5%	22,0%	40,4%	16,0%	23,2%
<i>Lavadoras</i>	91,9%	94,1%	92,5%	94,4%	92,3%	92,9%
<i>Lavadoras-secadoras</i>	8,1%	5,9%	7,5%	5,6%	7,7%	7,1%
<i>Lavavajillas</i>	41,9%	55,9%	54,1%	61,6%	49,5%	53,1%
<b>TV</b>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%
<i>Secadoras</i>	19,1%	21,4%	34,9%	37,8%	24,2%	28,3%
<i>Horno</i>	82,5%	75,4%	77,1%	76,7%	78,3%	77,1%
<i>Microondas</i>	87,9%	90,8%	89,9%	90,0%	91,0%	90,0%
<i>Ordenadores Fijos</i>	45,7%	50,1%	55,3%	52,6%	51,5%	52,3%
<i>Ordenadores Portátiles</i>	36,3%	39,4%	42,5%	41,2%	39,3%	40,7%
<i>Otro Equipamiento</i>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Debido a una mayor tasa de equipamiento de los frigoríficos, las televisiones y las lavadoras, son estos electrodomésticos los que consumen más energía eléctrica en las viviendas de cada una de las zonas climáticas y en el conjunto total de viviendas españolas. Como dato significativo de la Tabla 3-3, se puede observar la escasa penetración de equipos de aire acondicionado en las viviendas de la zona atlántica debido a una mayor suavidad de temperaturas en verano mientras que en la zona mediterránea, dos de cada tres viviendas, cuentan con algún aparato de aire acondicionado.

Una vez se han expuesto los principales criterios a partir de los cuales se estructura el consumo energético residencial, en los siguientes apartados, se van a exponer los consumos de las viviendas de las distintas zonas climáticas, los diferentes consumos que presentan una vivienda unifamiliar y una vivienda en bloque en el conjunto de las viviendas españolas y, por último, se presentan los consumos energéticos desagregados según zona climática y tipo de vivienda.

### 3.2 Consumo energético residencial según la zona climática

El consumo y las necesidades energéticas varían de manera considerable de una zona climática a otra dependiendo de muchos factores como pueden ser la climatología, la humedad, las fuentes energéticas con las que abastecerse. En la Tabla 3-4 [10] se representa el consumo del total de viviendas de cada una de las zonas climáticas en Terajulios (TJ) dependiendo del uso final.

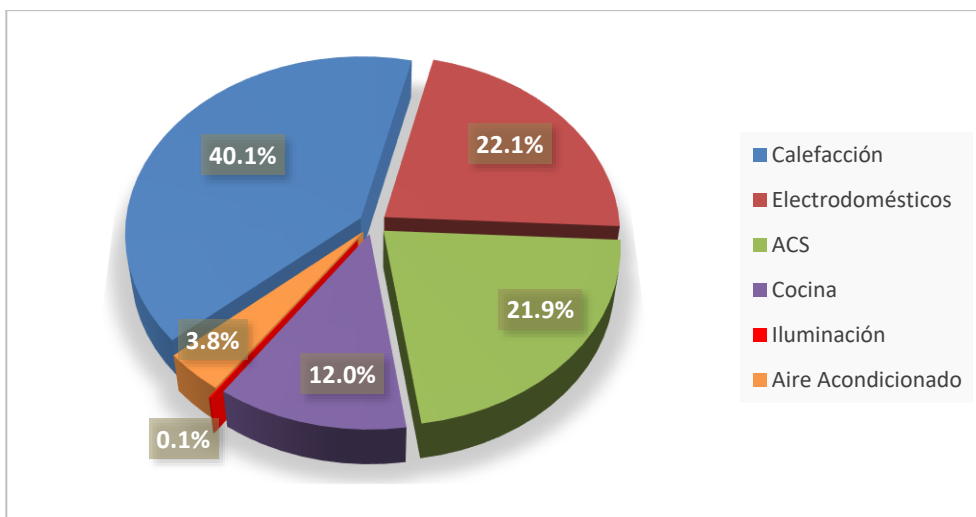
**Tabla 3-4. Consumo final por zona climática**

	CONSUMO FINAL POR ZONAS CLIMÁTICAS		
	<i>Atlántico Norte</i>	<i>Continental</i>	<i>Mediterráneo</i>
	TJ	TJ	TJ
<b>CALEFACCIÓN</b>	30.233	145.374	112.967
<b>AGUA CALIENTE SANITARIA</b>	16.535	45.662	54.045
<b>COCINA</b>	9.053	16.976	19.622
<b>REFRIGERACIÓN</b>	68	1.951	3.130
<b>ILUMINACIÓN</b>	2.868	6.848	15.650
<b>ELECTRODOMÉSTICOS</b>	16.648	46.299	70.523
<i>Frigoríficos</i>	4.475	14.290	22.069
<i>Congeladores</i>	1.622	2.003	4.459
<i>Lavadoras</i>	2.487	4.997	8.328
<i>Lavavajillas</i>	1.019	2.950	4.113
<i>Secadoras</i>	418	1.058	2.993
<i>Horno</i>	1.759	4.056	5.207
<i>TV</i>	1.206	6.642	8.416
<i>Ordenadores</i>	912	3.504	5.491
<i>Stand-by</i>	1.906	4.815	7.572
<i>Otro Equipamiento</i>	844	1.987	1.876

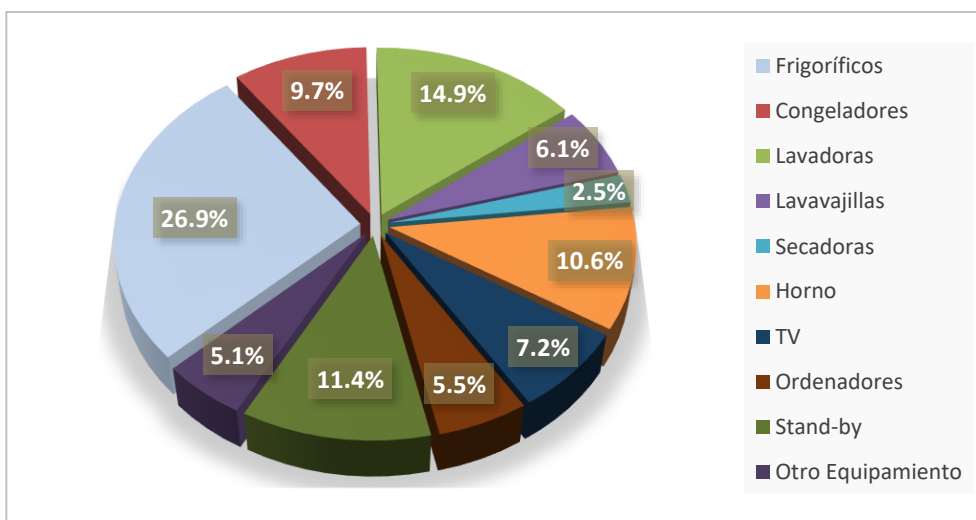
En la Tabla 3-4 se puede observar como los principales consumos en las tres zonas climáticas corresponden a la calefacción, ACS (Agua Caliente Sanitaria) y a los electrodomésticos (los que más consumen son los frigoríficos y las lavadoras).

#### - Atlántico Norte

Las viviendas de esta zona climática presentan un consumo medio de 10.331 kWh/año, predominando el consumo de los aparatos que proporcionan calefacción y el consumo de los electrodomésticos. En la Figura 3-5 [10] y en la Figura 3-6 [10] se representa la estructura del consumo según usos energéticos, apreciándose el escaso consumo que presentan los aparatos de aire acondicionado en esta zona climática.



**Figura 3-5. Estructura del consumo según usos energéticos en la zona Atlántico Norte**



**Figura 3-6. Estructura del consumo energético por electrodomésticos en la zona Atlántico Norte**

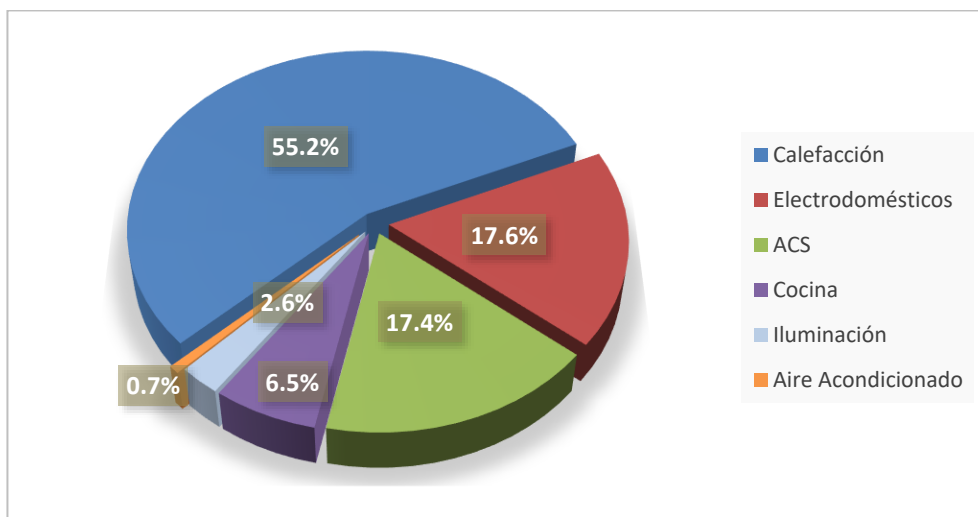
En la Tabla 3-5 [10] se representan las fuentes energéticas a partir de las cuales se satisfacen los distintos servicios energéticos en la zona del Atlántico Norte. El consumo de los combustibles fósiles aparece en TJ mientras que el consumo de la electricidad se da en MWh.

**Tabla 3-5. Desagregación del consumo de energía según fuentes energéticas en la zona del Atlántico Norte**

	CARBÓN		PRODUCTOS PETROLÍFEROS				GAS		ENERGÍAS RENOVABLES						ELECTRICIDAD MWh
	Anthracite	GLP	Gasóleo	Otros	TOTAL	Gas Natural	Solar Térmica	Geotérmica	Carbón Vegetal	Leñas y Ramas	Pellets	Otra Biomasa Sólida	TOTAL		
	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ		
CALEFACCIÓN	402	3.372	7.692	-	11.064	6.939	67	43	-	9.192	34	3	9.229	690.976	
AGUA CALIENTE SANITARIA	32	2.874	1.841	-	4.715	9.225	153	33	-	100	37	3	140	621.515	
COCINA	39	981			981	3.665			43	479	0	-	522	1.068.284	
REFRIGERACIÓN								18						13.867	
ILUMINACIÓN														796.464	
ELECTRODOMÉSTICOS														4.623.632	
<i>Frigoríficos</i>														1.242.964	
<i>Congeladores</i>														450.394	
<i>Lavadoras</i>														690.774	
<i>Lavavajillas</i>														283.068	
<i>Secadoras</i>														116.166	
<i>Horno</i>														488.519	
TV														334.961	
Ordenadores														253.193	
Stand-by														529.254	
Otro Equipamiento														234.340	
<b>CONSUMO TOTAL ATLÁNTICO NORTE</b>	<b>473</b>	<b>7227</b>	<b>9534</b>	<b>-</b>	<b>16760</b>	<b>19829</b>	<b>220</b>	<b>94</b>	<b>43</b>	<b>9771</b>	<b>72</b>	<b>6</b>	<b>9892</b>	<b>7.814.736</b>	

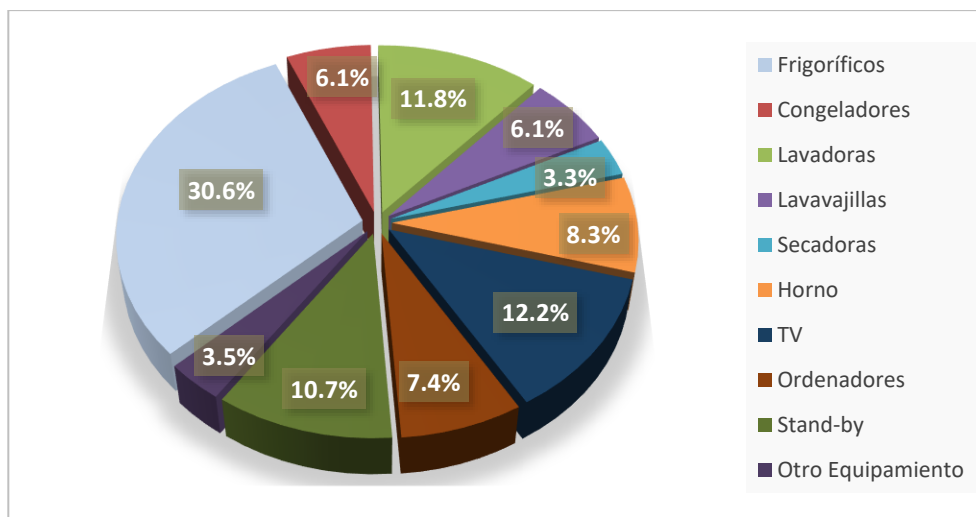
- Continental

Las viviendas de esta zona climática consumen de media al año 13.141 kWh. Este consumo es mayor que el de la vivienda media de la zona del Atlántico Norte y del Mediterráneo debido a la mayor diferencia de las temperaturas lo que hace que en invierno el consumo de calefacción usando principalmente productos petrolíferos y gas natural sean muy elevados. En la Figura 3-7 [10] y Figura 3-8 [10] se representan el consumo por usos energéticos en las viviendas de la zona continental, destacando el uso de calefacción con más de la mitad del consumo energético total en las viviendas de esta zona.



**Figura 3-7. Estructura del consumo según usos energéticos en la zona Continental**





**Figura 3-8. Estructura del consumo energético por electrodomésticos en la zona continental**

En las viviendas de la zona Continental, la demanda se cubre en mayor medida con los derivados del petróleo y el gas natural ya que en esta zona predominan las calderas convencionales para calefacción y ACS. En la Tabla 3-6 [10] se representa la estructura del consumo según fuentes energéticas en las viviendas de la zona Continental:

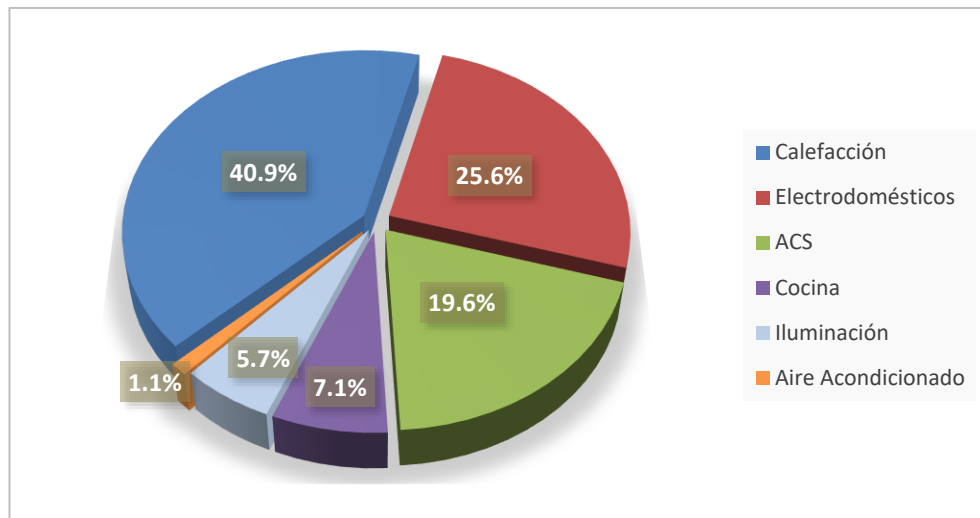
**Tabla 3-6. Desagregación del consumo de energía según fuentes energéticas en la zona Continental**

	CARBÓN		PRODUCTOS PETROLÍFEROS				GAS		ENERGÍAS RENOVABLES						ELECTRICIDAD MWh
	Antracita	GLP	Gasóleo	Otros	TOTAL	Gas Natural	Solar Térmica	Geotérmica	Carbón Vegetal	Leñas y Ramos	Pellets	Otra Biomasa Sólida	TOTAL		
	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ		
CALEFACCIÓN	103	5.138	57.732	-	62.870	36.123	195	145	805	38.613	80	327	39.825	1.697.708	
AGUA CALIENTE SANITARIA	8	3.707	4.176	-	7.883	31.541	1.173	59	247	1.328	93	110	1.778	894.273	
COCINA	35	1.980			1.980	6.105			35	390	0	-	425	2.341.106	
REFRIGERACIÓN								25						534.894	
ILUMINACIÓN														1.901.974	
ELECTRODOMÉSTICOS														12.858.625	
Frigoríficos														3.968.598	
Congeladores														556.156	
Lavadoras														1.387.690	
Lavavajillas														819.304	
Secadoras														293.862	
Horno														1.126.388	
TV														1.844.584	
Ordenadores														973.028	
Stand-by														1.337.189	
Otro Equipamiento														551.826	
<b>CONSUMO TOTAL ZONA CONTINENTAL</b>	<b>146</b>	<b>10.825</b>	<b>61.908</b>	<b>-</b>	<b>72.733</b>	<b>73.769</b>	<b>1.369</b>	<b>229</b>	<b>1.087</b>	<b>40.331</b>	<b>174</b>	<b>437</b>	<b>42.028</b>	<b>20.228.579</b>	

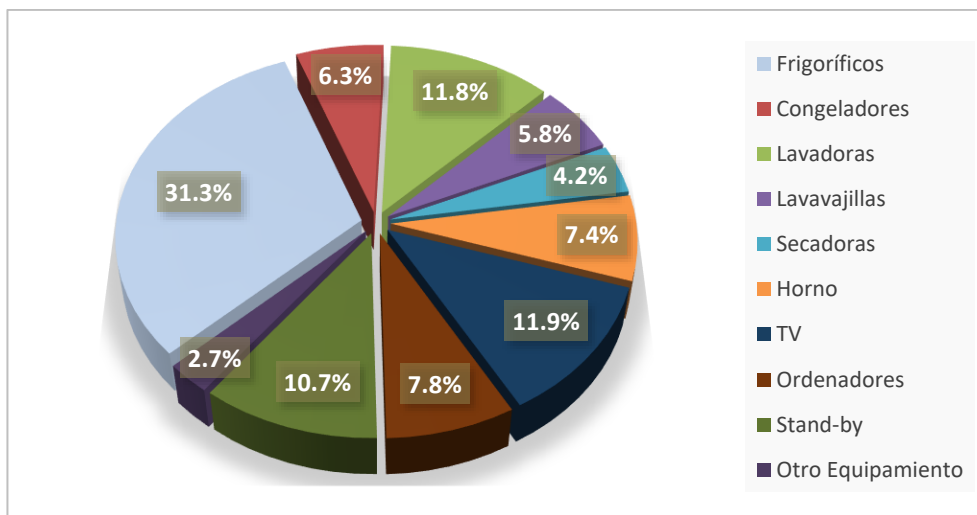
#### - Mediterránea

El consumo energético medio de las viviendas de esta zona climática es de 8.959 kWh/año. Dicho consumo es inferior al consumo medio de las viviendas nacionales, debido a que esta zona presenta temperaturas más suaves en invierno, lo que hace que se demande una menor cantidad de energía para cubrir las necesidades de calefacción. Sin embargo, debido a las temperaturas elevadas en verano, el consumo de energía para refrigeración es mayor que la media nacional. Por otra parte, el mayor consumo de los electrodomésticos se debe a que en este tipo de zonas que se consideran zonas húmedas, la humedad hace que en los ciclos termodinámicos

se consume más electricidad. En la Figura 3-9 [10] y Figura 3-10 [10] se representan el consumo por usos energéticos en las viviendas de la zona mediterránea, destacando como principal consumo la calefacción seguida de los electrodomésticos.



**Figura 3-9. Estructura del consumo según usos energéticos en la zona Mediterránea**



**Figura 3-10. Estructura del consumo energético por electrodomésticos en la zona Mediterránea**

Para abastecer la demanda energética en las viviendas de esta zona, predomina el uso de la electricidad, ya que la mayor parte de la demanda de calefacción se satisface mediante el uso de radiadores y equipos eléctricos portátiles. En la Tabla 3-7 [10] se representa el consumo según fuentes energéticas en las viviendas de la zona Mediterránea.

Tabla 3-7. Desagregación del consumo de energía según fuentes energéticas en la zona Mediterránea

	CARBÓN	PRODUCTOS PETROLÍFEROS				GAS		ENERGÍAS RENOVABLES							ELECTRICIDAD MWh
	Antracita	GLP	Gasóleo	Otros	TOTAL	Gas Natural	Solar Térmica	Geotérmica	Carbón Vegetal	Leñas y Ramas	Pellets	Otra Biomasa Sólida	TOTAL		
	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ		
CALEFACCIÓN	-	7.738	19.692	-	27.430	27.915	169	66	-	49.889	87	104	50.080	20.292.250	
AGUA CALIENTE SANITARIA	-	12.639	1.626	-	14.265	24.801	4.076	51	-	41	38	100	180	2.963.806	
COCINA	-	4.769			4.769	6.934			11	121	-	-	132	2.162.719	
REFRIGERACIÓN								64						851.423	
ILUMINACIÓN														4.346.304	
ELECTRODOMÉSTICOS														19.586.156	
<i>Frigoríficos</i>														6.129.044	
<i>Congeladores</i>														1.238.348	
<i>Lavadoras</i>														2.312.986	
<i>Lavavajillas</i>														1.142.375	
<i>Secadoras</i>														831.140	
<i>Horno</i>														1.446.087	
<i>TV</i>														2.337.280	
<i>Ordenadores</i>														1.524.887	
<i>Stand-by</i>														2.102.879	
<i>Otro Equipamiento</i>														521.130	
<b>CONSUMO TOTAL ZONA MEDITERRÁNEA</b>	-	25.146	21.318	-	46.464	59.651	4.245	182	11	50.051	125	205	50.392	31.939.658	

### 3.3 Consumo energético residencial según tipo de vivienda

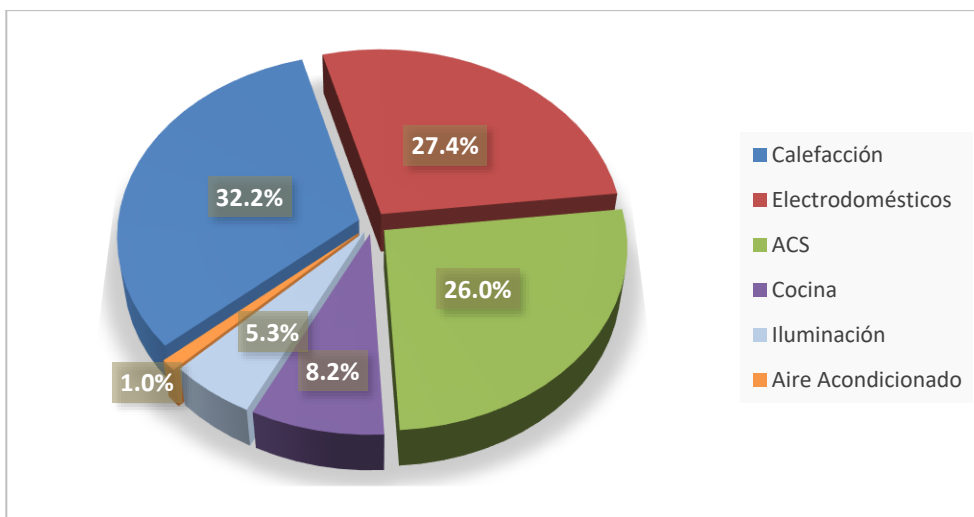
Es importante analizar cuáles son las diferencias en la estructura del consumo de las viviendas en bloque y las viviendas unifamiliares. El mayor consumo energético se da en las viviendas de bloque debido a que existe un mayor número de viviendas de este tipo en el territorio nacional. Las viviendas en bloque representan un 53 % del consumo final de energía por un 47 % de las viviendas unifamiliares. En la Tabla 3-8 [10] se representa el consumo final total de energía según usos energéticos para las viviendas de los dos tipos: viviendas en bloque y unifamiliares.

Tabla 3-8. Consumo final según tipo de vivienda

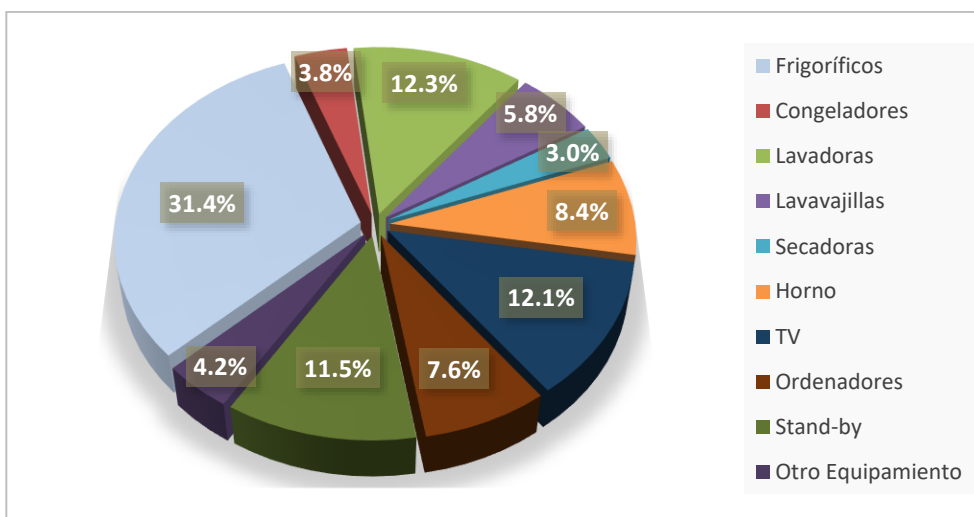
	CONSUMO FINAL SEGÚN TIPO DE VIVIENDA		TOTAL ESPAÑA
	<i>Bloque</i>	<i>Unifamiliar</i>	
	TJ	TJ	TJ
<b>CALEFACCIÓN</b>	105.874	182.065	287.939
<b>AGUA CALIENTE SANITARIA</b>	85.328	30.533	115.861
<b>COCINA</b>	26.948	18.702	45.650
<b>REFRIGERACIÓN</b>	3.291	1.857	5.148
<b>ILUMINACIÓN</b>	17.300	8.066	25.366
<b>ELECTRODOMÉSTICOS</b>	89.982	43.488	133.470
<i>Frigoríficos</i>	28.261	12.573	40.834
<i>Congeladores</i>	3.401	4.682	8.083
<i>Lavadoras</i>	11.023	4.789	15.812
<i>Lavavajillas</i>	5.218	2.864	8.083
<i>Secadoras</i>	2.721	1.748	4.469
<i>Horno</i>	7.593	3.428	11.022
<i>TV</i>	10.859	5.405	16.263
<i>Ordenadores</i>	6.810	3.096	9.906
<i>Stand-by</i>	10.329	3.963	14.292
<i>Otro Equipamiento</i>	3.767	940	4.707
<b>CONSUMO TOTAL</b>	328.723	284.712	613.435

#### - Viviendas en bloque

Las viviendas en bloque consumen de media 7.859 kWh/año, destacando principalmente el consumo de calefacción seguida de los electrodomésticos como se muestra en la Figura 3-11 [10] y Figura 3-12 [10]:



**Figura 3-11. Estructura del consumo según usos energéticos en las viviendas en bloque**



**Figura 3-12. Estructura del consumo energético por electrodomésticos en viviendas en bloque**

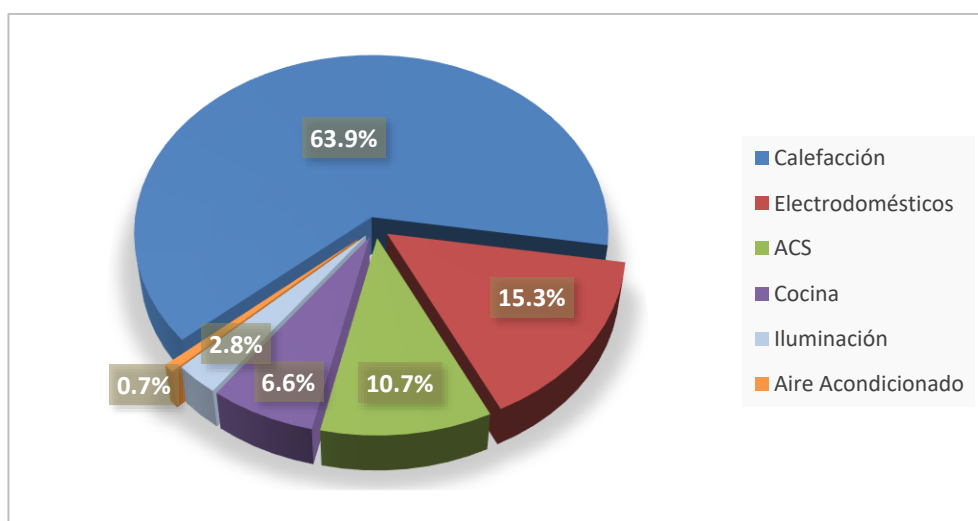
Para satisfacer la demanda energética se utilizan principalmente electricidad y gas natural. Esto se debe a que muchas comunidades de vecinos poseen una caldera colectiva para calefacción y ACS para el total de viviendas y éstas, se alimentan principalmente de gas natural. En la Tabla 3-9 [10] se presenta la desagregación del consumo de energía según fuentes energéticas para las viviendas en bloque:

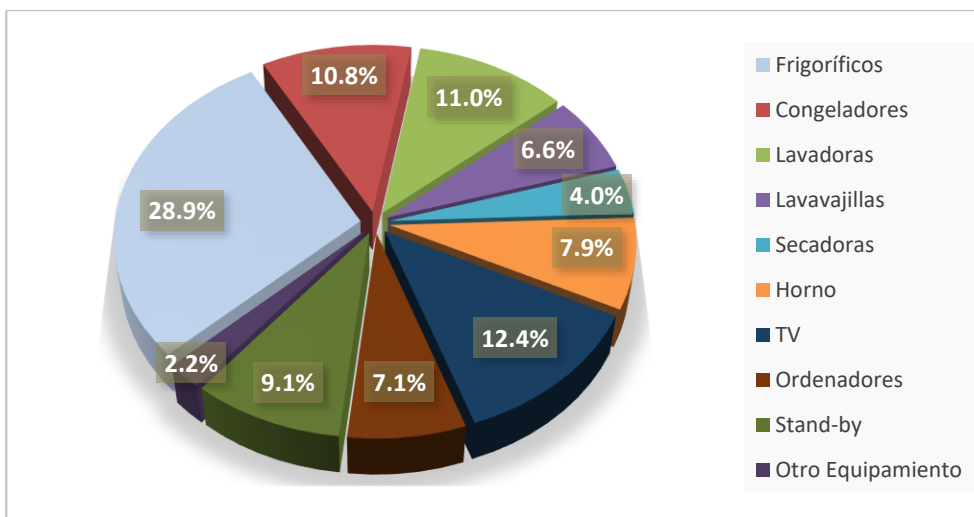
**Tabla 3-9. Desagregación del consumo de energía según fuentes energéticas en las viviendas en bloque**

	CARBÓN		PRODUCTOS PETROLÍFEROS				GAS		ENERGÍAS RENOVABLES						ELECTRICIDAD MWh
	Antracita	GLP	Gasóleo	Otros	TOTAL	Gas Natural	Solar Térmica	Geotérmica	Carbón Vegetal	Leñas y Ramas	Pellets	Otra Biomasa Sólida	TOTAL		
	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ		
CALEFACCIÓN	239	6.988	34.547	-	41.535	52.617	33	-	-	-	n.a.	n.a.	-	3.179.813	
AGUA CALIENTE SANITARIA	29	10.077	2.933	-	13.010	61.721	285	-	-	-	n.a.	n.a.	-	2.855.894	
COCINA	27	3.851			3.851	9.152					n.a.	n.a.	-	3.865.052	
REFRIGERACIÓN								-						914.030	
ILUMINACIÓN														4.804.683	
ELECTRODOMÉSTICOS														24.990.582	
<i>Frigoríficos</i>														7.848.859	
<i>Congeladores</i>														944.680	
<i>Lavadoras</i>														3.061.357	
<i>Lavavajillas</i>														1.449.288	
<i>Secadoras</i>														755.705	
<i>Horno</i>														2.108.871	
<i>TV</i>														3.015.748	
<i>Ordenadores</i>														1.891.327	
<i>Stand-by</i>														2.868.605	
<i>Otro Equipamiento</i>														1.046.141	
<b>CONSUMO TOTAL VIVIENDAS EN BLOQUE</b>	295	20.916	37.481	-	58.396	123.491	319	-	-	-	-	-	-	40.610.055	

### - Viviendas unifamiliares

Las viviendas unifamiliares consumen de media 17.012 kWh/año, destacando de forma aplastante el consumo debido a calefacción, con casi dos terceras partes del consumo de energía final, seguido del consumo de electrodomésticos tal y como se puede observar en la Figura 3-13 [10] y Figura 3-14 [10]:

**Figura 3-13. Estructura del consumo según usos energéticos en las viviendas unifamiliares**



**Figura 3-14. Estructura del consumo energético por electrodomésticos en viviendas unifamiliares**

Para satisfacer la demanda energética en este tipo de viviendas cobra especial importancia el uso de energía renovables, principalmente, el uso de la biomasa para proporcionar calefacción, tal y como puede verse en la Tabla 3-10 [10]:

**Tabla 3-10. Desagregación del consumo de energía según fuentes energéticas en las viviendas unifamiliares**

	CARBÓN		PRODUCTOS PETROLÍFEROS				GAS		ENERGÍAS RENOVABLES					ELECTRICIDAD MWh
	Antracita TJ	GLP TJ	Gasóleo TJ	Otros TJ	TOTAL TJ	Gas Natural TJ	Solar Térmica TJ	Geotérmica TJ	Carbón Vegetal TJ	Leñas y Ramas TJ	Pellets TJ	Otra Biomasa Sólida TJ	TOTAL TJ	
CALEFACCIÓN	267	9.260	50.569	-	59.828	18.360	398	254	805	97.695	n.a.	n.a.	98.500	1.238.120
AGUA CALIENTE SANITARIA	10	9.143	4.710	-	13.854	3.847	5.117	143	247	1.469	n.a.	n.a.	1.716	1.623.700
COCINA	47	3.878			3.878	7.552			90	989	n.a.	n.a.	1.079	1.707.057
REFRIGERACIÓN								107						486.153
ILUMINACIÓN														2.240.058
ELECTRODOMÉSTICOS														12.077.830
<i>Frigoríficos</i>														3.491.746
<i>Congeladores</i>														1.300.218
<i>Lavadoras</i>														1.330.092
<i>Lavavajillas</i>														795.459
<i>Secadoras</i>														485.462
<i>Horno</i>														952.122
<i>TV</i>														1.501.077
<i>Ordenadores</i>														859.781
<i>Stand-by</i>														1.100.717
<i>Otro Equipamiento</i>														261.155
<b>CONSUMO TOTAL VIVIENDAS UNIFAMILIARES</b>	<b>324</b>	<b>22.281</b>	<b>55.279</b>	<b>-</b>	<b>77.560</b>	<b>29.759</b>	<b>5.515</b>	<b>397</b>	<b>1.141</b>	<b>100.153</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>101.294</b>	<b>19.372.918</b>

### 3.4 Consumo energético residencial según la zona climática y el tipo de vivienda

Para conocer con mayor exhaustitud el consumo energético residencial en España, es necesario conocer el consumo según la zona climática y el tipo de vivienda atendiendo a las fuentes energéticas que emplean y los servicios energéticos suministrados.

#### - Atlántico Norte y tipo de vivienda

Hay una enorme diferencia en el consumo de las viviendas unifamiliares y los bloques de esta zona climática. Dicha diferencia, se explica porque la mayoría de las viviendas de bloque están en zonas costeras por lo que tienen un clima más suave por lo que el consumo energético unitario debido a la calefacción de una vivienda unifamiliar es aproximadamente 5 veces mayor que una vivienda en bloque.

**Tabla 3-11. Consumo energético unitario en zona Atlántico Norte por tipo vivienda**

	ATLÁNTICO NORTE	
	Bloque	Unifamiliar
	GJ/vivienda	GJ/vivienda
<b>CALEFACCIÓN</b>	6,70	32,70
<b>ELECTRODOMÉSTICOS</b>	6,80	9,00
<b>AGUA CALIENTE SANITARIO</b>	8,10	5,00
<b>COCINA</b>	3,40	5,90
<b>ILUMINACIÓN</b>	1,30	1,20
<b>AIRE ACONDICIONADO</b>	0,02	0,06
<b>CONSUMO TOTAL</b>	26,32	53,86

Como se puede observar en la Tabla 3-11 [10], el consumo energético total en una vivienda unifamiliar en la zona del Atlántico Norte es el doble que el de una vivienda en bloque. Para satisfacer estas necesidades energéticas, en las viviendas en bloque, casi la mitad del consumo energético se cubre con electricidad, seguido de gas natural. En cambio, en las viviendas unifamiliares, los productos petrolíferos son la fuente energética más utilizada seguidos de las energías renovables, principalmente, el uso de la biomasa, tal y como se puede observar en la Figura 3-15 [10] y Figura 3-16 [10]:



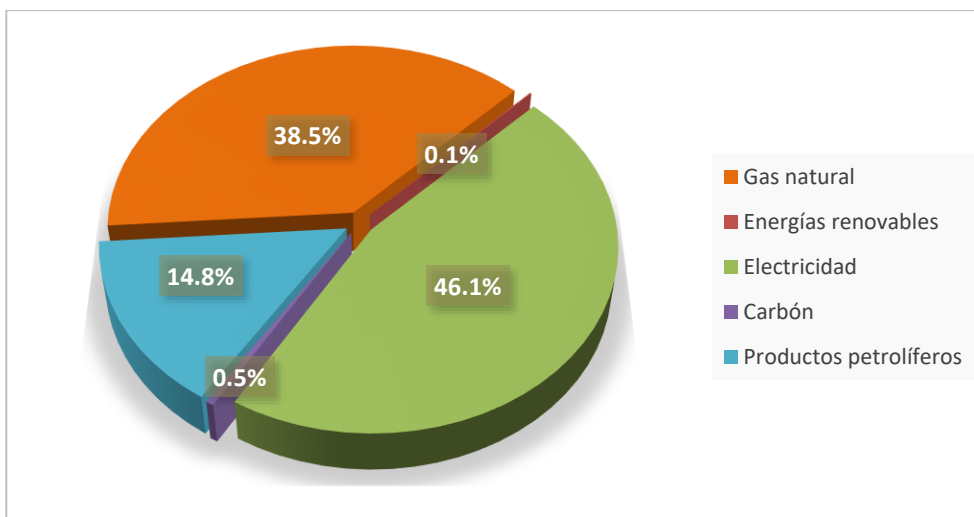


Figura 3-15. Estructura del consumo según fuentes energéticas en la zona del Atlántico Norte en viviendas en bloque

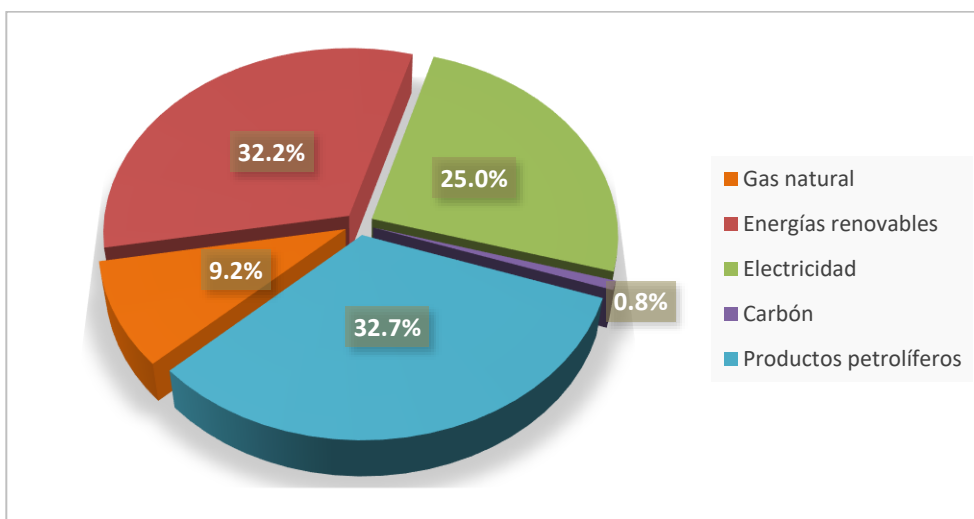


Figura 3-16. Estructura del consumo según fuentes energéticas en la zona del Atlántico Norte en viviendas unifamiliares

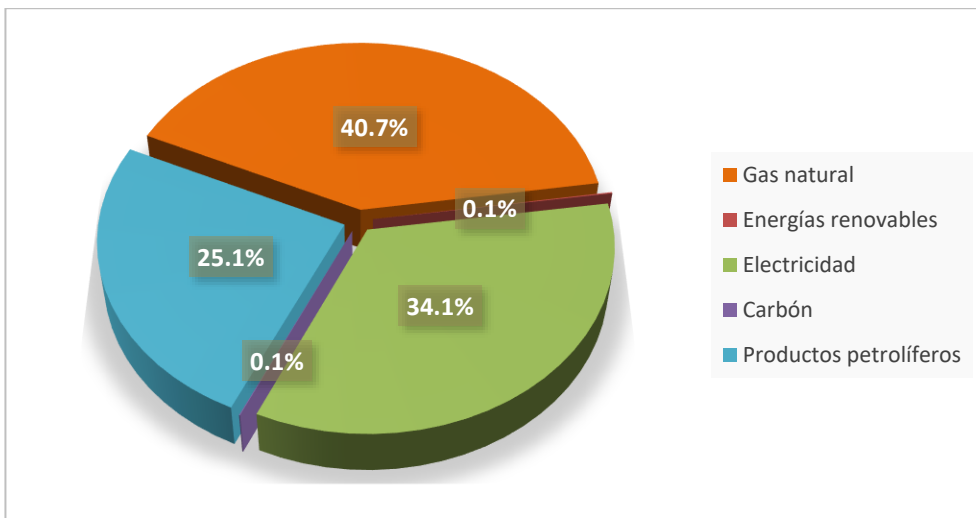
#### - Continental y tipo de vivienda

En esta zona, debido a la inexistencia de un agente atemperador, como es el mar, que existe en muchas de las zonas del Atlántico Norte y de la Mediterránea, el consumo energético de una vivienda unifamiliar debido a la calefacción es sólo 3 veces mayor que el de una vivienda en bloque.

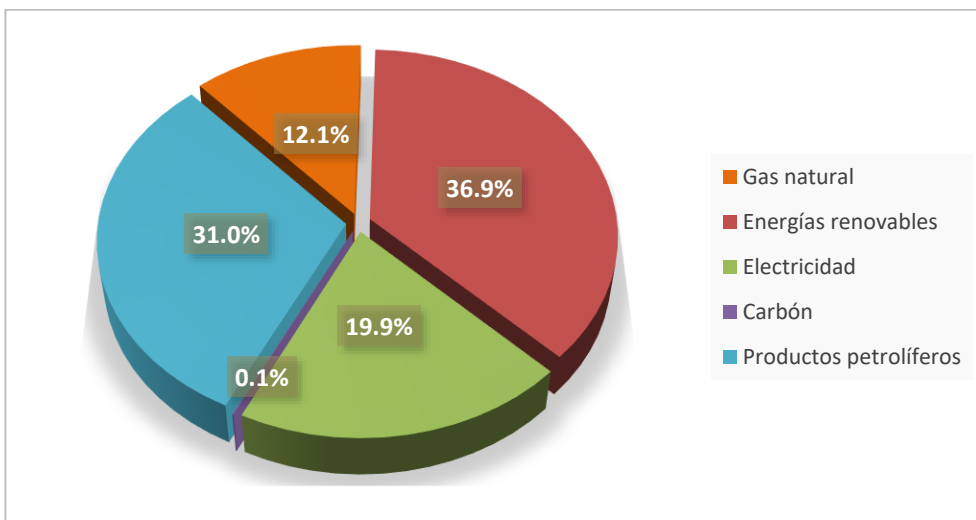
Tabla 3-12. Consumo energético unitario en zona Continental por tipo vivienda

	CONTINENTAL	
	Bloque GJ/vivienda	Unifamiliar GJ/vivienda
CALEFACCIÓN	15,50	49,20
ELECTRODOMÉSTICOS	7,60	8,90
AGUA CALIENTE SANITARIO	8,30	6,70
COCINA	2,50	4,10
ILUMINACIÓN	1,00	1,50
AIRE ACONDICIONADO	0,33	0,37
CONSUMO TOTAL	35,23	70,77

Como se puede observar en la Tabla 3-12 [10] el consumo energético unitario en una vivienda unifamiliar en la zona Continental es el doble que en una vivienda en bloque. Para satisfacer estas demandas energéticas, se destaca el mayor uso de las energías renovables en las viviendas unifamiliares, llegando a ser la principal fuente energética (Figura 3-17 [10] y Figura 3-18 [10])



**Figura 3-17. Estructura del consumo según fuentes energéticas en la zona Continental en viviendas en bloque**



**Figura 3-18. Estructura del consumo según fuentes energéticas en la zona Continental en viviendas unifamiliares**

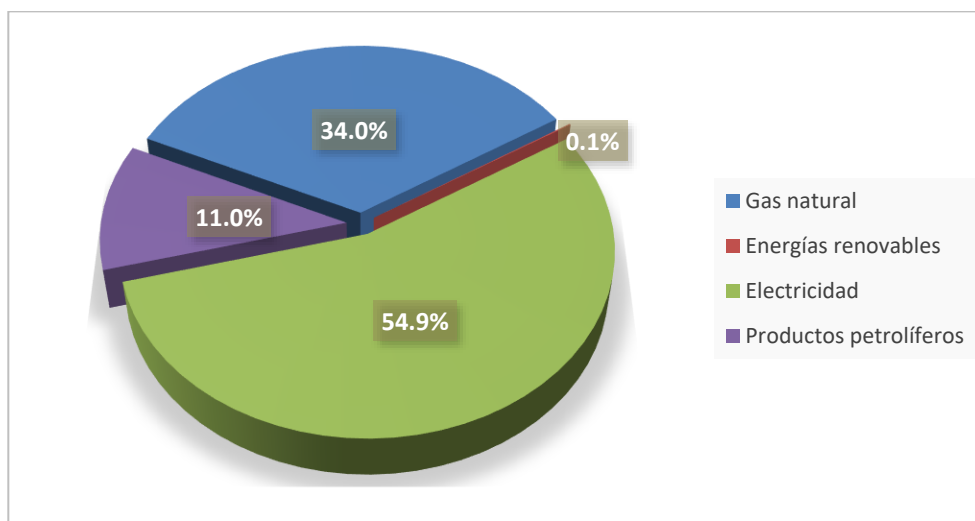
**- Mediterránea y tipo de vivienda**

Al igual que ocurre en la zona Atlántica, las viviendas en bloque tienen mayor presencia en las zonas costeras, lo que hace que el consumo energético unitario debido a la calefacción en las viviendas unifamiliares sea aproximadamente 6 veces mayor que en las viviendas en bloque. Cabe destacar, que las viviendas en bloque de la zona mediterránea son las que tienen un menor consumo por vivienda en el territorio nacional. Como se puede observar en la Tabla 3-13 [10], las viviendas unifamiliares consumen más del doble que las viviendas en bloque.

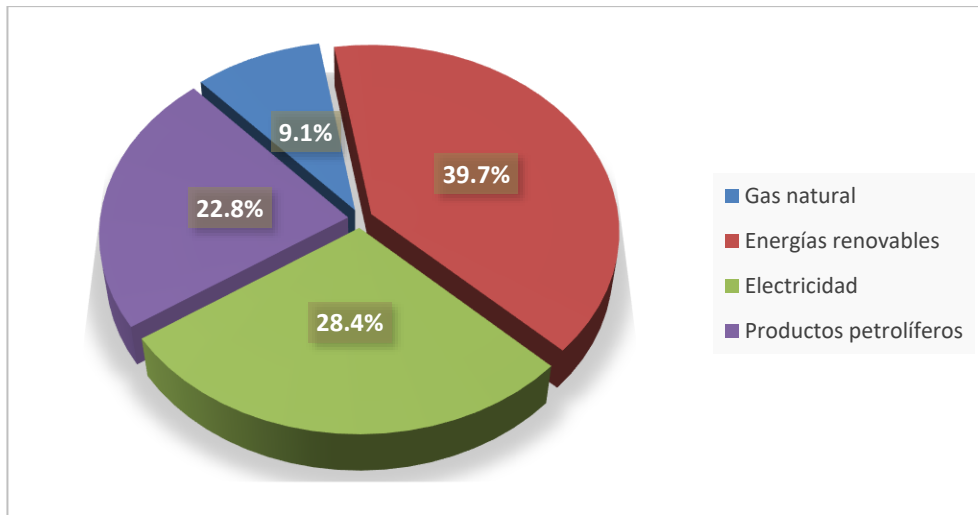
**Tabla 3-13. Consumo energético unitario en zona Mediterránea por tipo vivienda**

	MEDITERRÁNEA	
	Bloque	Unifamiliar
	GJ/vivienda	GJ/vivienda
CALEFACCIÓN	4,90	28,60
ELECTRODOMÉSTICOS	7,50	8,20
AGUA CALIENTE SANITARIO	5,90	5,80
COCINA	1,80	2,90
ILUMINACIÓN	1,70	1,70
AIRE ACONDICIONADO	0,30	0,43
CONSUMO TOTAL	22,10	47,63

Para satisfacer la demanda energética, cabe destacar que, en las viviendas en bloque, más de la mitad de la energía final procede de la electricidad mientras que el gas natural es la segunda fuente energética. En el caso de las viviendas unifamiliares, al igual que sucede en las zonas Atlántica y Continental, la principal fuente energética en este tipo de viviendas son las energías renovables, concretamente debido al uso de la biomasa para calefacción, tal y como puede observarse en la Figura 3-19 [10] y Figura 3-20 [10]:



**Figura 3-19. Estructura del consumo según fuentes energéticas en la zona Mediterránea en viviendas en bloque**



**Figura 3-20. Estructura del consumo según fuentes energéticas en la zona Mediterránea en viviendas unifamiliares**

# 4 ESCENARIOS DE MEJORA

---

Como ya se ha comentado anteriormente, el sector residencial en España tiene una gran importancia en el consumo de energía final total y de energía eléctrica, ya que consume del orden del 25 % del total. Por este motivo, es crucial estudiar posibles escenarios de mejora y eficiencia energética para que se consuma una menor cantidad de energía en dicho sector. En este capítulo, se va a estudiar el efecto de la sustitución de los equipos que proporcionan calefacción, refrigeración, ACS, frigoríficos y lavadoras que son los que más consumen, por otros más eficientes, en una vivienda tipo de cada una de las zonas climáticas. El objetivo de estas medidas es determinar cuánta energía puede ahorrarse anualmente una vivienda tipo, el ahorro económico, realizar un estudio medioambiental para ver con cuál de las medidas se emite una menor cantidad de gases que aceleran el efecto invernadero.

Antes de empezar con las medidas de eficiencia energética, es necesario definir previamente en qué consiste la eficiencia energética. A medida que se usan equipos con mayor eficiencia energética, se logra mantener el mismo nivel de servicio y confort disminuyendo el consumo de energía. Este término está estrechamente relacionado con uno de los principales problemas existente en la sociedad como es el cambio climático antropogénico, causado por una excesiva emisión de gases como el CO<sub>2</sub> y otros contaminantes que están provocando que la temperatura media en la superficie terrestre esté 1,1 °C por encima respecto a la época preindustrial [11]. Entre otros muchos efectos, el calentamiento global acrecenta los fenómenos climáticos adversos como son las inundaciones y las sequías, las olas de calor y las de frío, agrava los procesos de erosión y desertificación y supone la pérdida de biodiversidad. Para paliar este efecto, es necesario el uso de equipos y sistemas más eficientes energéticamente que consumen una menor cantidad de energía. [12]

## 4.1 Reglamento del etiquetado energético

A la hora de sustituir un electrodoméstico, es de vital importancia conocer el etiquetado energético, esto informa sobre el consumo medio de energía eléctrica de electrodoméstico durante un año, el consumo de agua en aquellos electrodomésticos que la necesiten y también el ruido que estos producen.

El 1 de agosto de 2017 entró en vigor el nuevo reglamento del etiquetado energético una vez publicado en el DOUE (Diario Oficial de la Unión Europea) la aprobación del reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del consejo por el que se establece un marco para el Etiquetado Energético y se deroga la Directiva 2010/30 UE [13].

Este nuevo reglamento europeo modifica la clasificación del etiquetado energético, eliminando las clases de eficiencia A+, A++ y A+++ del etiquetado y volviendo a restablecer el mismo etiquetado energético que existía antes del reglamento 2010/30 UE, reestructurando la escala del etiquetado energético de forma que los aparatos más eficientes son los de clase A y los menos eficientes y, por tanto, los que más consumen son los de clase G.

La entrada en el mercado de esta nueva etiqueta energética no va a ser inmediata ni simultánea para todos los aparatos, sino que este cambio va a ser progresivo e irán apareciendo a medida que surjan las revisiones para cada tipo de aparato etiquetable. Este nuevo reglamento establece, que como muy tarde, todos los productos tienen que estar etiquetados bajo este reglamento antes del 2 de agosto de 2030 [13].

Debido a que la mayoría de aparatos, actualmente sigue la Directiva 2010/30 UE, esta es la que se va a tener en cuenta en la sustitución de los distintos equipos consumidores de energía. En esta Directiva, los electrodomésticos más eficientes son aquellos que cuentan con la etiqueta A+++.

## 4.2 Bomba de calor

Debido a que se van a proponer la sustitución de equipos que proporcionan los servicios de climatización y ACS por otros más eficientes, es necesario explicar el funcionamiento y las distintas partes que componen una bomba de calor, ya que esta es el equipo más eficiente que proporciona dichos servicios.

Una bomba de calor es una máquina termodinámica que transfiere calor desde un foco frío a un foco caliente. Debido a que contradice el Segundo Principio de la Termodinámica, que establece que el calor fluye espontáneamente desde un foco caliente a un foco frío, necesita el aporte de energía, en este caso eléctrica o térmica, para accionar un compresor y así poner en funcionamiento el ciclo termodinámico.

Para ello, la bomba de calor utiliza un fluido refrigerante en un ciclo termodinámico cerrado, que transporta el calor invirtiendo el sentido de flujo natural, gracias al trabajo realizado por el compresor. Las bombas de calor reversible permiten proporcionar los servicios de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y refrigeración, circulando el gas refrigerante en un sentido u otro y, por tanto, invirtiendo el flujo de tal forma que en invierno se proporcione calefacción y en verano, refrigeración. Para ello, debe contar con una válvula de 3 vías que es la que invierte el sentido del ciclo termodinámico. En invierno, se transfiere el calor desde el exterior al interior y en verano se transfiere desde el interior expulsándolo al exterior. A continuación, a partir de la Figura 4-1 [14], se explican los cuatros procesos que forman parte del ciclo termodinámico:

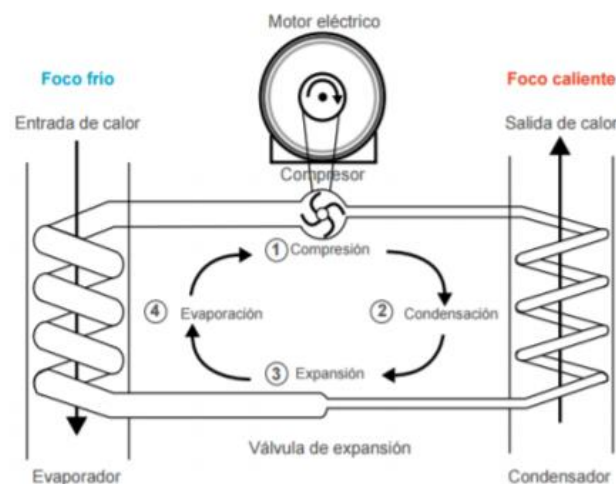


Figura 4-1. Representación del funcionamiento de una bomba de calor en modo calefacción

- **Compresión:** En este primer paso, se realiza la compresión de un fluido refrigerante. La energía eléctrica consumida por el compresor se transforma en calor transmitido al refrigerante al aumentar esta la presión y la temperatura y, por tanto, aumentando su entalpía.
- **Condensación:** en el condensador, el fluido caliente refrigerante cede su calor al agua o al aire que circula a contracorriente y, al enfriarse se produce la condensación del fluido refrigerante pasando este de gas a líquido.
- **Expansión:** este proceso se lleva a cabo a partir de una expansión isoentálpica del fluido refrigerante, por lo que disminuye su presión desde la presión de condensación a la presión de entrada al evaporador, reduciéndose la temperatura de este fluido.
- **Evaporación:** en este último proceso, se hace pasar el fluido refrigerante por el evaporador con un fluido que está a una mayor temperatura por lo que este le cede calor al fluido refrigerante favoreciendo el cambio de fase de estado líquido a estado gaseoso, aumentando la entalpía.

Las bombas de calor se pueden clasificar según la fuente de donde obtienen su energía:

- **Aerotérmica.** Obtienen la energía del aire exterior.
- **Geotérmica.** Aprovechan el calor almacenado en la superficie terrestre, ya que la temperatura de esta es constante todo el año.
- **Hidrotérmica.** Obtienen la energía del agua procedente de un río o un lago.

En una bomba de calor, se puede distribuir el calor a partir del aire o el agua. La principal diferencia entre ambos modos de distribución es que en el caso de la distribución por aire no es posible la producción de ACS. En el caso de la distribución por agua, este sistema es compatible con cualquier emisor térmico como pueden ser los *fan-coils*, radiadores y suelo radiante. La bomba de calor es más eficiente si se usa con suelo radiante, ya que la temperatura de funcionamiento es menor (35 °C) y, por tanto, el salto térmico que tiene que proporcionar la bomba también es menor.

En cuanto a los principales parámetros que caracterizan la eficiencia energética de una bomba de calor, a plena carga, los rendimientos tanto para calefacción como para refrigeración vienen determinados por el coeficiente de eficiencia energética (*Coefficient of Performance* - COP) y el índice de eficiencia energética (*Energy Efficiency Ratio* - EER).

- **COP (*Coefficient of Performance*).** Es el rendimiento a plena carga que presenta la bomba de calor tanto para calefacción como para ACS. En el caso de ACS el COP suele ser menor ya que el salto térmico que tiene que experimentar el agua es mayor que en la calefacción por lo que se necesita un mayor consumo eléctrico.

$$COP = \frac{\text{Potencia de calefacción para unas condiciones específicas de temperatura a plena carga}}{\text{Potencia eléctrica absorbida de la red}} \quad (1)$$

- **EER (*Energy Efficiency Ratio*)**. Es el rendimiento a plena carga que presenta una bomba de calor en régimen de refrigeración.

$$EER = \frac{\text{Potencia de refrigeración para unas condiciones específicas de temperatura a plena carga}}{\text{Potencia eléctrica absorbida de la red}} \quad (2)$$

Estos dos coeficientes proporcionados por los fabricantes de bombas de calor en catálogos son teóricos, ya que dependen de una serie de parámetros, como la localización de la vivienda, la temperatura exterior, el salto térmico experimentado por el agua que actúa en una bomba de calor como fluido caloportador y la temperatura interior del local que se quiera climatizar.

Debido a los altos rendimientos que se alcanzan con las bombas de calor aerotérmica o geotérmica para suministrar los servicios de calefacción, refrigeración y ACS, se convierten en el principal equipo dentro del sector residencial en la lucha contra el cambio climático ya que permiten reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Otra de las ventajas con las que cuentan las bombas de calor, es que proporcionan los servicios de climatización y ACS a partir del consumo de energía eléctrica, por lo que, en un futuro, cuando mediante las renovables se produzca la mayor parte de electricidad en España, se considerará una tecnología limpia.

Según el estudio realizado por IDAE entre los meses de julio y diciembre de 2014 sobre el Parque de bombas de calor en España [14], establece que el 34% del total de establecimientos y hogares españoles cuentan con una bomba de calor. De los 11,97 millones de unidades con las que cuenta el parque de bomba de calor, 5.746.932 unidades se encuentran en la zona mediterránea debido a que las características del clima y el tipo de viviendas hacen que sean más eficientes en esta zona.

La bomba de calor aerotérmica es la que predomina en el conjunto del parque de bombas de calor, ya que aun teniendo un menor rendimiento que la bomba de calor geotérmica, los menores costes de inversión y la facilidad de instalación de las aerotérmicas hacen que el número de estas sea más elevado dentro del territorio nacional.

### 4.3 Precio de la energía eléctrica y del gas natural

Es indispensable, a la hora de ver cuál de las sustituciones de eficiencia energética es más rentable, conocer el precio tanto de la energía eléctrica como del gas natural en los últimos años para así, establecer la tendencia que van a seguir en los próximos años y así, comparar las distintas alternativas.

En el caso de la energía eléctrica, el precio de dicha energía para un consumidor doméstico medio (entre 2500 y 5000 kWh/año) es muy cambiante de un año para otro ya que depende de un conjunto de parámetros: [15]

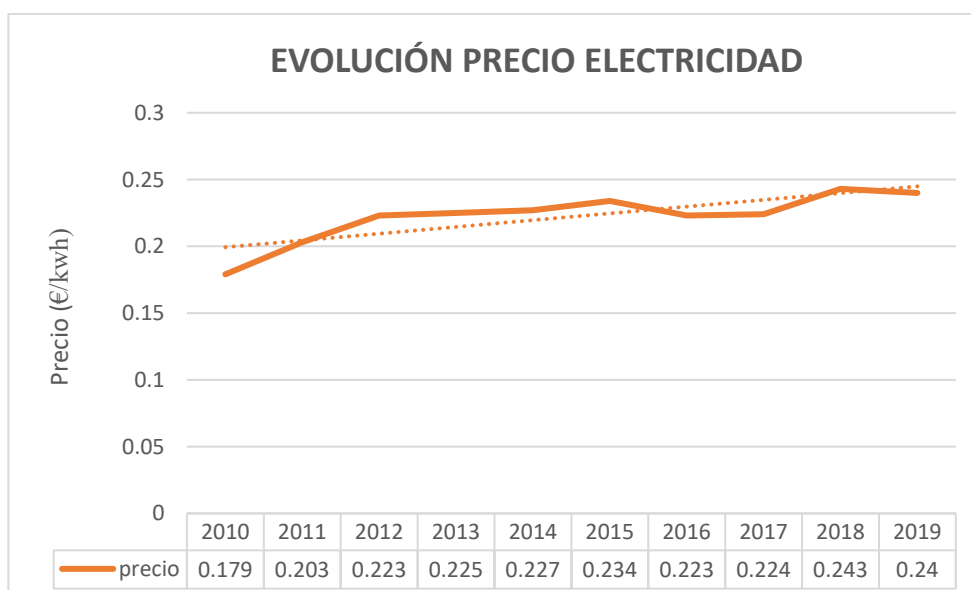
- Coste debido a la gestión comercial: es el beneficio que se lleva la comercializadora por ser la que vende la energía eléctrica al consumidor final.
- Coste de la energía en el mercado mayorista: representa un 35 % del precio doméstico de la energía.



- Costes regulados: son aquellos que el consumidor final tiene que pagar a la distribuidora y a la red de transporte (REE) como costes de peaje por el uso de las redes de transporte y distribución para llevar la energía desde el punto de generación al consumidor final, en este caso, el consumidor doméstico.
- También dentro de estos costes se encuentran el alquiler del contador por parte del consumidor a la compañía distribuidora.
- Costes asociados a impuestos: en este caso, el consumidor doméstico tiene que hacer frente al Impuesto Especial sobre la Electricidad (IEE) que es del 5,11269632 % [16] y finalmente al IVA que se aplica sobre la factura final y es del 21 %.

Con todo lo expuesto anteriormente, se explica como el precio que tiene que pagar el consumidor final por kWh no disminuya e incluso aumente, aunque el precio de la energía eléctrica en el mercado mayorista disminuya como consecuencia, de una mayor generación por parte de energía renovable o, debido a la menor generación por parte de las centrales térmicas que son aquellas que ofertan la energía a un precio mayor, por lo que hace que aumente el precio de la energía casada.

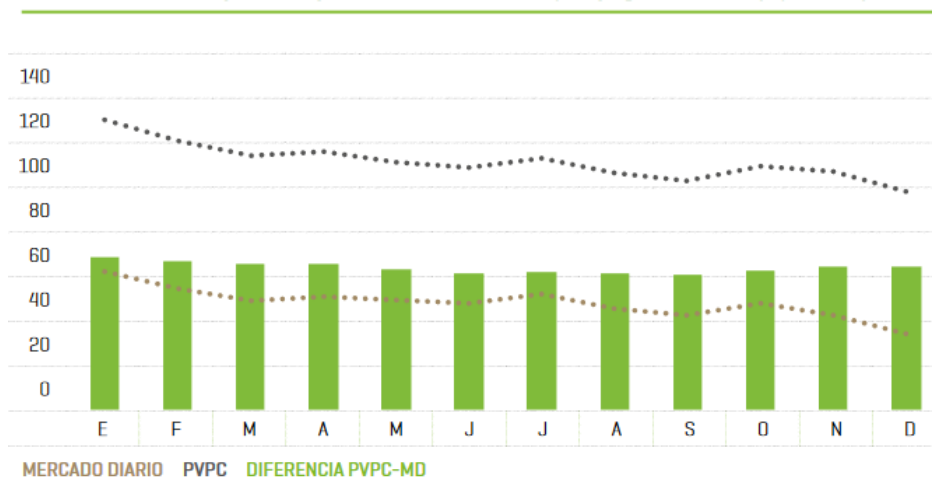
En la Figura 4-2, elaborada a partir de datos de Eurostat [15], se muestra cómo ha variado el precio de la electricidad en España en los últimos 10 años.



**Figura 4-2. Evolución del precio medio anual de la electricidad en España 2010-2019**

En la Figura 4-2 [15] se puede observar la tendencia al alza del precio de la electricidad aumentando más de un 25 % desde el año 2010 al 2019. En los últimos años, el precio se está estabilizando en torno a los 240 €/MWh. En este sentido la Organización de Consumidores y Usuarios, ha señalado el enorme esfuerzo que deben realizar los hogares españoles para honrar el pago de las facturas, incluso cuando el consumo retrocede hasta los ~1000 kWh en algunos segmentos de hogares, la factura llega a ser de las más costosas de Europa, debido especialmente al efecto de peso ponderado mayor que tienen los ítems de gastos fijos en el importe final de facturación. Esto es un asunto tan relevante que la Organización de Consumidores y Usuarios ha ofrecido a los consumidores un recomendador de tarifas, con el objeto de facilitar un mejor análisis de la factura y así validar que la tarifa que

el hogar tiene contratada resulta razonable, aunado a un conjunto de sugerencias adicionales que le permitan al hogar programar el ahorro en consumo y pago de sus facturas. Junto a esto, aquellos hogares que así lo manifiesten a la OCU podrían acceder también a una compra colectiva mediante una oferta vencedora de energía que la OCU habilita y con la que es posible obtener hasta un ahorro equivalente a 148 euros al año [17].

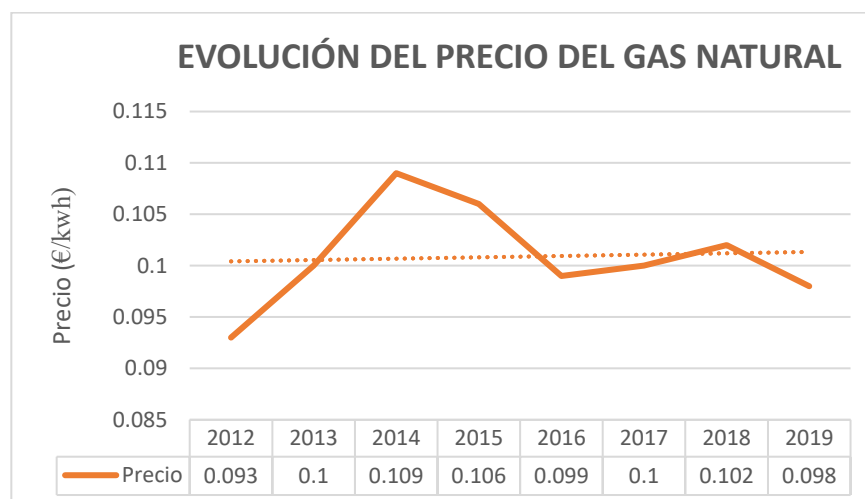


**Figura 4-3. Evolución del PVPC frente al precio mercado diario durante el año 2019 (tarifa general 2.0A) (€/MWh)**

En la Figura 4-3 [18] se puede observar la evolución que presentó el precio voluntario al pequeño consumidor con respecto al precio del mercado diario durante el año 2019. El PVPC está condicionado por el precio del mercado diario, por lo que el precio más alto del PVPC se registró en enero, con un valor de 130,2 €/MWh, mientras que el más bajo se registró en diciembre, cuyo valor fue de 97,6 €/MWh.

En cuanto al precio del gas natural para un consumidor doméstico (20 GJ < Consumo < 200 GJ) depende de una serie de diferentes factores relativos a la oferta y la demanda, incluida la situación geográfica, la diversificación de las importaciones, los costes de red, los costes de protección medioambiental, las condiciones meteorológicas adversas o los niveles impositivos fiscales [19]. El precio del gas, al igual que el de la electricidad, fluctúa de un año a otro debido a la dependencia de varios factores.

En la Figura 4-4, elaborada a partir de datos de Eutrosat [19], se puede observar las fluctuaciones del precio del gas natural en España en los últimos años. Se puede observar como el precio del gas natural oscila en torno a los 100 €/MWh en los últimos años.



**Figura 4-4. Evolución del precio del gas natural en España 2012-2019**

#### 4.4 Aspectos a considerar antes de los escenarios de mejora

Antes de empezar a estudiar los distintos escenarios de mejora en cada una de las zonas climáticas, hay que establecer una serie de especificaciones comunes.

En primer lugar, se considera que tanto los electrodomésticos (frigoríficos y lavadoras) como los equipos que proporcionan los servicios de calefacción, refrigeración y ACS se encuentran al final de su vida útil, por lo que se van a proponer dos alternativas más eficientes energéticamente para cada uno de los equipos que consumen más energía en una vivienda de consumo medio de cada una de las zonas climáticas. Para ello, el primer paso ha sido un análisis económico basado en la sustitución de los frigoríficos y lavadoras actuales por unos modelos que presentan un etiquetado energético superior, y así ver tanto el ahorro anual como el periodo de amortización de la compra de esos equipos para poder elegir la mejor alternativa. Se va a estimar una vida útil de 15 años para cada uno de los equipos para realizar el estudio económico.

Según el proyecto SECH-SPAHOUSE [10], el etiquetado energético más común para los frigoríficos y lavadoras en cada una de las zonas climáticas es la clase A. Los frigoríficos que se han evaluado tienen etiquetas energéticas A+ y A++. En el caso de las lavadoras, las etiquetas energéticas de las dos propuestas son A++ y A+++.

Las sustituciones que se proponen son de características similares a las actuales en lo que se refieren al peso, tamaño y capacidad. En la Tabla 4-1 [20] aparecen las dos alternativas de frigoríficos y lavadoras, con el consumo de energía anual y el precio del equipo que se van a proponer en las mejoras de cada zona climática.

**Tabla 4-1. Frigoríficos y lavadoras propuestas. Consumo y coste del equipo.**

ALTERNATIVAS	CONSUMO DE ENERGÍA ANUAL (kWh/año)	PRECIO EQUIPO (€)
Frigorífico CORBERÓ (A+)	285	275
Frigorífico CORBERÓ (A++)	224	400
Lavadora CORBERÓ 8 kg (A++)	219	210
Lavadora CORBERÓ 8 kg (A+++)	194	240

Por otro lado, la calefacción y ACS en las viviendas de cada una de las zonas se abastecen a partir de una caldera convencional alimentada por gas natural [10]. Para calcular la demanda energética anual de estos servicios, se considera un rendimiento en torno al 92 % [21] para este tipo de calderas, ya que se generan continuos arranques y paradas para proporcionar el servicio, lo que genera picos de gran consumo. Este rendimiento está referido al Poder Calorífico Inferior (PCI) que se define como la cantidad de energía (calor) que es capaz de entregar un combustible cuando se produce la combustión completa del mismo. Una vez conocidos el rendimiento y el consumo de gas natural en la vivienda media de cada zona climática, se obtiene la demanda (kWh) de energía térmica necesaria para calefacción y ACS despejando de la siguiente ecuación:

$$\eta_{caldera} = \frac{\text{Demanda energía térmica}}{\text{Consumo gas natural}} \quad (3)$$

En el caso de la refrigeración, se va a considerar que la vivienda media del Atlántico Norte no va a tener demanda de refrigeración debido a que sólo el 1,1 % de las viviendas de esta zona posee algún aparato eléctrico que proporcione dicho servicio. Mientras que la vivienda media de la zona Continental y Mediterránea tienen una demanda de refrigeración que aparece en el informe sobre el consumo del sector residencial en España. [22]

Las dos alternativas que se van a estudiar para proporcionar los servicios de climatización y ACS son los sistemas de aerotermia y geotermia. El precio de la aerotermia y la geotermia es muy variable ya que depende de una gran cantidad de factores como son: las dimensiones de la vivienda a climatizar, los servicios prestados, el número de personas que habitan en la vivienda, la zona geográfica...

La instalación del sistema de aerotermia es de menor coste y de más fácil instalación que un sistema de geotermia. Dentro del sistema de geotermia, las excavaciones del terreno que hay que realizar para aprovechar la energía de la superficie terrestre, representa lo más caro y también la mayor dificultad. Debido a la mayor inversión inicial de las bombas de calor geotérmicas, éstas pueden competir con las aerotérmicas en viviendas unifamiliares de grandes superficies y con elevadas demandas energéticas, ya que el ahorro energético anual que se tiene con la geotérmica se traduce en un importante ahorro económico anual, lo que hace que la mayor inversión inicial se amortice en cierto periodo de tiempo. Sin embargo, según [10], el 70 % de la población española vive en bloques, lo que hace que el uso de la geotérmica como sistema de climatización apenas tenga representación.

En la Tabla 4-2 [23], se exponen los parámetros de eficiencia tanto para calefacción y refrigeración y, la inversión inicial de los sistemas de aerotermia que se van a utilizar para el posterior análisis. A efectos prácticos de este trabajo y, debido a que cada una de las zonas climáticas engloba diferentes zonas geográficas con diferentes necesidades energéticas se van a utilizar los parámetros de eficiencia teóricos (parámetros de laboratorio) como son el COP y el EER por lo que dichos parámetros van a ser iguales independientemente de la zona donde se ubique la bomba de calor. La inversión inicial es un valor representativo de lo que puede costar

una bomba de calor con una potencia (kW) media para satisfacer las necesidades energéticas de una vivienda media [24].

**Tabla 4-2. Rendimientos e inversión de la bomba de calor de aerotermia**

	COP	EER	Inversión inicial (€)
Bomba Aerotermia Etiqueta A	4,2	3,9	10.000

#### 4.4.1 Estudio económico

Con el fin de tener una base referencial para comparar la rentabilidad económica entre los distintos equipos o aparatos propuestos que van a sustituir a aquellos que están al final de su vida útil, se va a utilizar el indicador económico *VAN* o *Valor Actualizado Neto*. No obstante, es necesario aclarar que la metodología *VAN*, aún cuando es una de las más conocidas y empleadas en la evaluación de proyectos, también se sabe hoy en día que los métodos *VAN* o *TIR* pueden conducir a sesgos que lleven a omitir hechos fundamentales que requieren tenerse presentes al momento de realizar una inversión, ya que muchos proyectos, especialmente el que proponemos en el presente trabajo, que si bien a grandes rasgos puede demostrar que sus resultados arrojen la valoración positiva de ahorro en desembolsos y gastos, también se debe tener presente que hay situaciones, circunstancias de entorno o de ambiente que nos indican que un estudio que colectiviza lo que puede ocurrir en las diferentes regiones está sujeto a un dinamismo de cambios que no se pueden controlar en un estudio *VAN*, haciendo que una inversión que luce rentable en una región, pudiera también ser deficitaria en otra. Este aspecto lo consideraremos bajo un enfoque general más adelante en el apartado 4.5.

En este escenario, no se puede perder de vista por otro lado, que el desafío es a largo plazo (especialmente considerando el Plan de Acción de Energías Renovables de España (PANER) 2011-2020), y ese trecho indefinido por la incertidumbre, es independientemente de si es posible o no contar con el consenso de una exhaustiva planificación que atomice el concurso de todos los sectores con peso relevante en la actividad económica. Al revisar a grandes rasgos, si bien las medidas paliativas en educación, y concientización de la población en el uso así como en la distribución comercial de equipos de consumo eficiente, es el resultado de una mandatoria obligación de la formulación de políticas del Estado español hacia la ciudadanía; también se debe considerar que la realización de un estudio *VAN* no debería ser el termómetro para justificar la colectivización de unas prácticas que tienen un efecto coadyuvante en la disminución del consumo y uso eficiente de la energía, así como en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Sin menoscabo de lo anterior, precisamos que el *VAN* o *Valor Actualizado Neto* es un parámetro económico que nos permite analizar proyectos de inversión a medio-largo plazo. Se va a realizar una comparación entre los costes de las distintas alternativas por lo que el *VAN* es un criterio de inversión que consiste en actualizar los flujos de cajas futuros, es decir traer al presente los flujos de cajas esperados, descontándolo a un tipo de interés determinado. El *VAN* se calcula mediante la ecuación:

$$VAN = -Inversión + \sum_{t=1}^{t=T} \frac{Flujos\ de\ caja\ anual}{(1+r)^t} \quad (4)$$

Donde:

- *Inversión* es el desembolso inicial que se lleva a cabo para adquirir e instalar el equipo.
- *T* es el número de años que se va a utilizar para el estudio. En este caso, se refiere a la vida útil esperada del equipo (15 años).
- *Flujos de caja anual* se refiere al ahorro económico anual que se va a obtener debido al menor consumo energético del nuevo equipo.
- *r* es la tasa de descuento (el tipo de interés). Representa el coste de oportunidad, es decir, el dinero que se ganaría si, en vez de dedicar la inversión a la instalación, se destinara a una inversión libre de riesgo. Según [25], una tasa de descuento en Europa del 5% puede estar justificada por distintos motivos y puede servir de referencia general para los proyectos cofinanciados por la UE.

Cuando el *VAN* es mayor a 0 se puede entender que la actualización de los flujos de caja generará beneficios. Si el *VAN* es igual a 0, no generará beneficios ni pérdidas. Y finalmente si el *VAN* es menor a 0, el proyecto generará pérdidas.

Otro parámetro que se va a calcular en el análisis económico de las inversiones sería la *TIR* (Tasa Interna de Retorno) que se refiere a la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. La *TIR* se puede calcular matemáticamente anulando el *VAN* a 0.

$$VAN = 0 = -Inversión + \sum_{t=1}^{t=T} \frac{Flujos\ de\ caja\ anual}{(1+TIR)^t} \quad (5)$$

Donde:

- *Inversión* es el desembolso inicial que se lleva a cabo para adquirir e instalar el equipo.
- *T* es el número de años que se va a utilizar para el estudio. En este caso, se refiere a la vida útil esperada del equipo (15 años).
- *Flujos de caja anual* se refiere al ahorro económico anual que se va a obtener debido al menor consumo energético del nuevo equipo.

Los criterios que hay que tener en cuenta para aceptar o rechazar una inversión de acuerdo a la *TIR* es el siguiente:

- Si  $TIR > r$ , se acepta el proyecto de inversión ya que cumple con la rentabilidad mínima exigida.
- Si  $TIR = r$ , estaríamos en una situación similar a la que se produciría cuando el *VAN* es igual a 0. En este caso, la inversión se llevaría a cabo atendiendo a criterios sociales o medioambientales.

- Si  $TIR < r$ , no se acepta el proyecto ya que no cumple con la rentabilidad mínima exigida a la inversión. En el caso de inversiones de este tipo, aunque no cumpla con la rentabilidad mínima, como el equipo antiguo se encuentra al final de su vida útil, se elegiría el equipo con el que se obtengan más beneficios.

El último parámetro que se va a utilizar en el análisis económico sería el PAY BACK simple que se refiere al número de años a partir del cual se va a amortizar la inversión, y se va a empezar a obtener beneficios. Este método es estático ya que no tiene en cuenta el valor del dinero.

$$Pay\ Back = \frac{Inversión}{Ahorro\ económico\ anual} \quad (6)$$

Donde:

- *Inversión* es el desembolso inicial que se lleva a cabo para adquirir e instalar el equipo.
- *Ahorro económico anual* se va a obtener debido al menor consumo energético del nuevo equipo.

En un proyecto de inversión interesa que el Pay Back sea el menor posible, ya que es cuando se amortiza el equipo y se empiezan a obtener beneficios.

#### 4.4.2 Estudio ambiental

Según el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), el incremento de dióxido de carbono y otros gases en la atmósfera, de continuar a los ritmos actuales de emisión, darán lugar en las próximas décadas a un cambio climático global que se reflejará en la temperatura y en los regímenes de precipitaciones en todo el planeta. Así pues, la comunidad científica internacional reconoce y acepta la perspectiva de que un cambio climático global afectará directamente a los ecosistemas naturales, provocando reducciones considerables en los rendimientos de los cultivos y alterando la oferta y demanda de agua [26]. Esta situación hizo que, en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, celebrada en Kioto en diciembre de 1997, los países industrializados adoptaran un protocolo legalmente vinculante por el que se comprometen a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en una media del 5,2% sobre los niveles de 1990-1995 para el periodo 2008-2012.

En este contexto, la obtención de reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero requiere que cada país adopte políticas energéticas que pueden generar un alto coste de regulación. Así pues, el reto al que se enfrentan los gobiernos es encontrar la forma de alcanzar estas reducciones incurriendo en el mínimo coste posible. En este sentido, la literatura relevante destaca estudios como los de Alvarez, Feijóo y Hernández (2003) [27], señalando que es posible alcanzar reducciones substanciales de emisiones promoviendo el uso eficiente de los recursos energéticos.

Tomando en cuenta lo referido, luego de realizar las proyecciones de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la alternativa de sustituir el sistema de calefacción utilizado en las zonas residenciales, se va a analizar las emisiones de CO<sub>2</sub> para los equipos actuales y para las distintas alternativas propuestas con el objetivo de ver cuántas toneladas de CO<sub>2</sub> se pueden evitar con la utilización de equipos más eficientes energéticamente que los

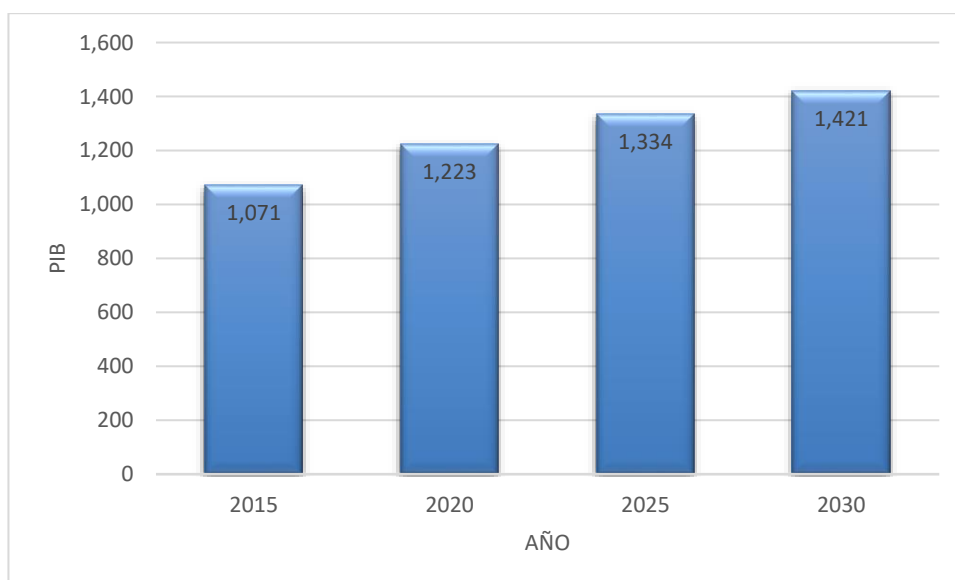
actuales y así, poder paliar uno de los principales problemas existente en el mundo como es el cambio climático. Dependiendo de qué tipo de energía utilice los equipos para su funcionamiento, se emitirá más o menos kg de CO<sub>2</sub> por kWh consumido. En la tabla 4-3 [28] se muestran las emisiones de CO<sub>2-eq</sub> en el año 2019 según el tipo de combustible:

**Tabla 4-3. Emisiones de CO<sub>2-eq</sub> según tipo de combustible**

Combustibles	Emisiones CO <sub>2</sub> (tn CO <sub>2-eq</sub> /MWh)
Gas natural	0,202
Electricidad	0,19

#### 4.5 Escenarios de mejoras de eficiencia energética en viviendas del territorio español

Los compromisos que asumen los estados miembros de la UE tienen implicaciones en sus vertientes económicas, donde el sector energético resulta vital para la motorización de actividades en todos los sectores económicos. A tal efecto es importante tener presente las proyecciones que del PIB se hacen más allá del horizonte de un año, por lo que se ha extraído del Ministerio de Economía y Empresa (Figura 4-5 [29]) una escala de proyección que estipula un crecimiento del 16,19% para la década de 2020-2030.



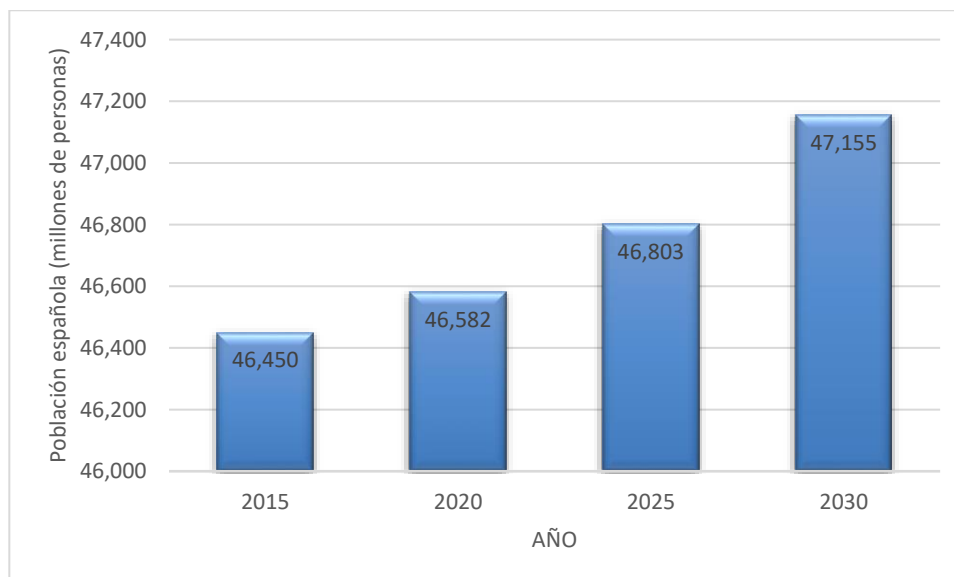
**Figura 4-5. Proyección del Producto Interior Bruto de España (miles de M€ a precios constantes de 2016)**

En cuanto al índice de crecimiento demográfico, se extraen los datos del estudio de la Comisión Europea [30] elaborado en el año 2018. El pronóstico de crecimiento de la población española es del 1% para la próxima década, un dato que sirve también para proyectar el número de viviendas, usando la ratio de ocupación de



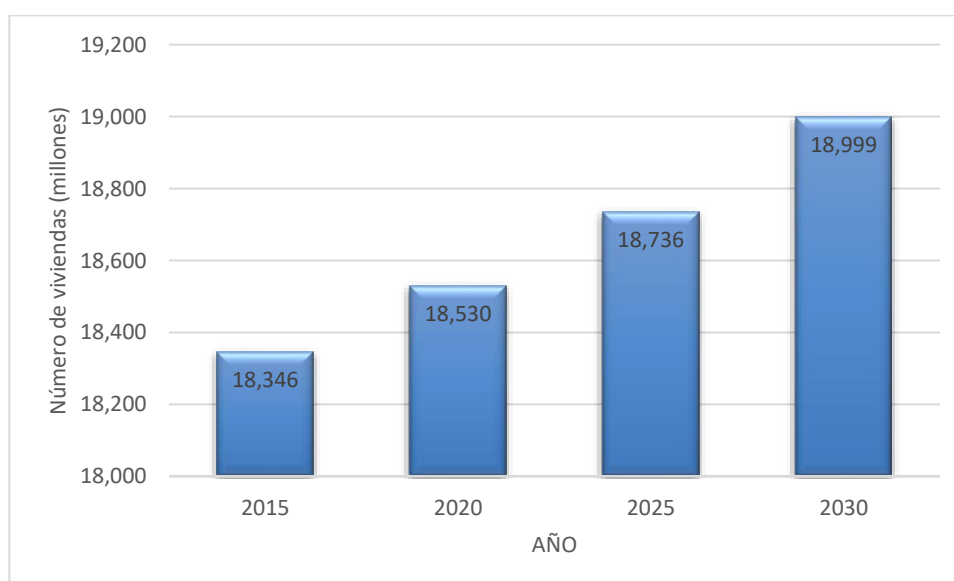
viviendas del INE (Instituto Nacional de Estadística) [31] y ajustando hacia un muy moderado ascenso en el futuro.

También se asume que el total de hogares coincide con el total de viviendas, lo cual implica asumir que el total de las viviendas estarán habitadas, y aunque pueda parecer un sesgo, la fundamentación estriba en proyectar previsiblemente el consumo energético del futuro, donde los principales consumos se darán en aquellas viviendas verdaderamente habitadas.



**Figura 4-6. Proyección de la población española 2015-2030**

Con los datos anteriores, se estipula que la proyección de viviendas es la que se indica en la Figura 4-7:



**Figura 4-7. Proyección del N° de viviendas en España 2015-2030**

Los números reflejan también las viviendas rehabilitadas, las nuevas y las existentes.

La economía española carece del dinamismo sectorial que tienen otras economías desarrolladas y ha mantenido el mismo peso relativo que tradicionalmente caracteriza a la economía española. La Figura 4-8 [30] muestra valores estimados para el año 2030 ya que se prevé que los porcentajes de peso se mantendrán casi que constantes durante el periodo 2020-2030.

Ahora bien, el sistema energético español está enmarcado dentro de los escenarios de tendencias que afectan a los mercados energéticos globales, de tal forma que la Comisión Europea ha establecido unos baremos que se consideran los más recomendados para contemplar en las previsiones para la década del 2020-2030.



**Figura 4-8. Precios internacionales de los combustibles fósiles 2015-2030**

El objetivo de mitigación es de 1 por cada 3 tCO<sub>2</sub>-eq (Año 2020 respecto al año 2030). Los sectores que más contribuyen son:

- Sector de generación de energía eléctrica (reducción de un 70%)
- Sector del transporte (un 34% de reducción)
- Sector Residencial, comercial e institucional (un 28% de reducción)

Debido a todo lo comentado anteriormente, se estudiará la sustitución de los principales equipos consumidores de energía en una vivienda media de cada una de las zonas climáticas que componen el territorio español por otros más eficientes energéticamente, y se van a realizar distintos estudios para analizar cuál de las alternativas es más rentable económicamente y, desde el punto de vista de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub>. Los distintos estudios se van a realizar sobre los frigoríficos, lavadoras y equipos que proporcionan climatización y ACS.

### 4.5.1 Evaluación económica de los frigoríficos

En la Tabla 4-4 [20] se puede observar el consumo energético tanto de los frigoríficos que están instalados en las viviendas como de los frigoríficos que se han usado para la evaluación energética. A medida que se mejora la etiqueta energética de los mismos, el ahorro de energía es mayor.

**Tabla 4-4. Consumo de energía eléctrica de las distintas alternativas de frigoríficos**

	Consumo de energía anual (kWh)	Ahorro de energía anual (kWh)
Frigorífico actual (A)	548	-
Frigorífico Corberó (A+)	285	263
Frigorífico Corberó (A++)	224	324

Tomando en consideración los consumos anuales y el ahorro energético para cada una de las alternativas, se procede a estimar los valores económicos a fin de valorar cuánto es el ahorro energético en el periodo de vida útil, además de los parámetros de retorno de inversión para cada uno de los equipos, generando como resultado lo indicado en las tablas 4-5 y 4-6:

**Tabla 4-5. Análisis del ahorro energético y económico de los frigoríficos Corberó A+ y A++**

Año	Vida útil (T)	Coste de la energía		EQUIPO ACTUAL ETIQUETA A			FRIGORÍFICO CORBERO ETIQUETA A+				FRIGORÍFICO CORBERO ETIQUETA A++			
		Precio de la energía (pe)	Incremento Anual Precio Energía (Δpe)	Consumo de Energía Anual (Ce)	Consumo de Energía Anual Acumulado (Ce)	Coste anual de la energía	Consumo de Energía Anual (Ce)	Consumo de Energía Anual Acumulado (Ce)	Coste anual de la energía	Ahorro anual de energía	Consumo de Energía Anual (Ce)	Consumo de Energía Anual Acumulado (Ce)	Coste anual de la energía	Ahorro anual de energía
añ	ño	€/kWh	%/año	kWh/año	kWh/año	€	kWh/año	kWh/año	€	€	kWh/año	kWh/año	€	€
0	-	0,240		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	1	0,240		548	548	131,52	285	285	68,40	63,12	224	224	53,76	77,76
2	2	0,243		548	1096	133,10	285	570	69,22	63,88	224	448	54,41	78,69
3	3	0,246		548	1644	134,70	285	855	70,05	64,64	224	672	55,06	79,64
4	4	0,249		548	2192	136,31	285	1140	70,89	65,42	224	896	55,72	80,59
5	5	0,252		548	2740	137,95	285	1425	71,74	66,20	224	1120	56,39	81,56
6	6	0,255		548	3288	139,60	285	1710	72,60	67,00	224	1344	57,06	82,54
7	7	0,258		548	3836	141,28	285	1995	73,47	67,80	224	1568	57,75	83,53
8	8	0,261	1,012	548	4384	142,97	285	2280	74,36	68,62	224	1792	58,44	84,53
9	9	0,264		548	4932	144,69	285	2565	75,25	69,44	224	2016	59,14	85,55
10	10	0,267		548	5480	146,43	285	2850	76,15	70,27	224	2240	59,85	86,57
11	11	0,270		548	6028	148,18	285	3135	77,07	71,12	224	2464	60,57	87,61
12	12	0,274		548	6576	149,96	285	3420	77,99	71,97	224	2688	61,30	88,66
13	13	0,277		548	7124	151,76	285	3705	78,93	72,83	224	2912	62,03	89,73
14	14	0,280		548	7672	153,58	285	3990	79,87	73,71	224	3136	62,78	90,80
15	15	0,284		548	8220	155,42	285	4275	80,83	74,59	224	3360	63,53	91,89
							Total				Total			
							1.030,62 €				1.269,66 €			

En la Tabla 4-5 se puede observar que al sustituir el frigorífico actual con un consumo de 548 kWh/año por uno con un etiquetado A++ con un consumo de 224 kWh/año, se produce un ahorro económico durante la vida útil del equipo de 1.269,66 €, ligeramente superior al ahorro que supone la sustitución por uno de etiquetado A+, cuyo ahorro es de 1.030,62 €, lo que supone una diferencia de ahorro entre las dos propuestas de frigoríficos del 239,04 €.

Tabla 4-6. Estimación de las variables económicas de los frigoríficos con etiquetado energético superior

Año	FRIGORÍFICO CORBERO ETIQUETA A+					FRIGORÍFICO CORBERO ETIQUETA A++				
	VAN	FLUJO (ahorro)	FLUJO ACUMULADO	PAYBACK	TIR	VAN	FLUJO (ahorro)	FLUJO ACUMULADO	PAYBACK	TIR
	€	€	€	años	-	€	€	€	años	-
0		-275	-275				-400	-400		
1		63,12	-211,88				77,76	-322,24		
2		63,88	-148,00				78,69	-243,55		
3		64,64	-83,36				79,64	-163,91		
4		65,42	-17,94				80,59	-83,32		
5		66,20	48,27				81,56	-1,76		
6		67,00	115,27				82,54	80,78		
7		67,80	183,07				83,53	164,31		
8	430,51 €	68,62	251,69	4,3	23%	469,14 €	84,53	248,84	6,0	19%
9		69,44	321,13				85,55	334,39		
10		70,27	391,40				86,57	420,96		
11		71,12	462,52				87,61	508,57		
12		71,97	534,49				88,66	597,24		
13		72,83	607,32				89,73	686,96		
14		73,71	681,03				90,80	777,77		
15		74,59	755,62				91,89	869,66		

Teniendo en cuenta que el flujo de dinero vendrá por los ahorros obtenidos con la instalación de un frigorífico u otro, se han estimado las variables económicas.

Tal y como se puede ver en la Tabla 4-6, el frigorífico con etiqueta A++ se amortiza a los 6 años, mientras que el que tiene una etiqueta A+ (de menor eficiencia energética) se amortiza en 4 años y 3 meses.

Además, se puede ver que la tasa interna de retorno es un 4% superior para los frigoríficos A+, pero tienen un ahorro final inferior a los frigoríficos A++.

Es evidente con estos datos de que la sustitución por cualquiera de los dos equipos resulta interesante en lo relacionado con el aspecto económico, dado que el periodo de amortización de la inversión es considerablemente reducido en ambos casos.

#### 4.5.2 Evaluación económica de las lavadoras

En la Tabla 4-7 [20] se puede observar el consumo energético tanto de las lavadoras que están instalados en las viviendas como las que se han usado para la evaluación energética. A medida que se mejora la etiqueta energética de las mismas, el ahorro de energía es mayor.



**Tabla 4-9. Estimación de las variables económicas de las lavadoras con etiquetado energético superior**

Año	LAVADORA CORBERO ETIQUETA A++					LAVADORA CORBERO ETIQUETA A+++				
	VAN	FLUJO	FLUJO ACUMULADO	PAYBACK	TIR	VAN	FLUJO	FLUJO ACUMULADO	PAYBACK	TIR
	€	€	€	años	-	€	€	€	años	-
0		-210	-210				-240	-240		
1		8,40	-201,60				14,40	-225,60		
2		8,50	-193,10				14,57	-211,03		
3		8,60	-184,50				14,75	-196,28		
4		8,71	-175,79				14,92	-181,35		
5		8,81	-166,98				15,10	-166,25		
6		8,92	-158,06				15,28	-150,97		
7		9,02	-149,04				15,47	-135,50		
8	-116,11 €	9,13	-139,91	22,3	-5%	-79,05 €	15,65	-119,84	15,3	0%
9		9,24	-130,67				15,84	-104,00		
10		9,35	-121,32				16,03	-87,97		
11		9,46	-111,85				16,22	-71,75		
12		9,58	-102,27				16,42	-55,33		
13		9,69	-92,58				16,62	-38,71		
14		9,81	-82,77				16,82	-21,89		
15		9,93	-72,85				17,02	-4,88		

Teniendo en cuenta que el flujo de dinero vendrá por los ahorros obtenidos con la instalación de una lavadora u otra, se han estimado las variables económicas.

En este caso de sustitución, tal y como se puede ver en la Tabla 4-9, desde el punto de vista económico si la lavadora actual no se encuentra al final de su vida útil no interesaría llevar a cabo la sustitución por otra de mayor eficiencia energética debido a que la pequeña diferencia en el consumo energético anual entre el equipo actual y el nuevo se traduce en un pequeño ahorro económico anual, lo que implica que el periodo de amortización de la inversión sea elevado.

Como anteriormente se ha considerado que los equipos actuales están al final de su vida útil, si interesaría llevar a cabo la sustitución desde el punto de vista medioambiental ya que implicaría un menor consumo energético anual que se traduciría en una reducción de emisiones de gases contaminantes. En este caso, sería más conveniente la sustitución del equipo actual por uno de etiqueta A+++ ya que dichos equipos tienen un menor consumo energético anual.

#### 4.5.3 Evaluación económica de la bomba de aerotermia

La estructura de consumo total medio de energía relacionado con la producción de agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración en un hogar medio en España se puede desglosar según lo siguiente [10]:

**Tabla 4-10. Estructura del consumo energético de climatización y producción de ACS en un hogar de España**

ACS	Calefacción	Refrigeración	Total
18,90%	47,00%	0,80%	66,70%

Teniendo en cuenta además que el consumo medio por hogar tiene un valor de 9.922 kWh por año, se puede decir que el consumo destinado a calefacción, refrigeración y ACS es de 6.618 kWh/año.

**Tabla 4-11. Desglose del consumo energético**

	Consumo total	Consumo Calefacción	Consumo Refrigeración	Consumo ACS
kWh/año	9.922,00	4.663,34	79,38	1.875,26
%	100,00%	47,00%	0,80%	18,90%

Para determinar el consumo eléctrico de la bomba de calor aerotérmica se debe de tener en cuenta la demanda de energía de calefacción de la vivienda, la demanda de energía de refrigeración y la demanda de energía de ACS, y los valores de SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio, o Ratio de eficiencia energética estacional) y el SCOP (Seasonal Coefficient of Performance, o Coeficiente de eficiencia estacional) del equipo de aerotermia. Los valores de SCOP y SEER usados son de 4,175 y 4,45 respectivamente:

$$SCOP = \frac{\text{Demanda Calefacción y ACS}}{\text{Energía Eléctrica Consumida}}$$

$$SEER = \frac{\text{Demanda Refrigeración}}{\text{Energía Eléctrica Consumida}}$$

La demanda de calefacción y refrigeración depende en gran medida del tamaño de las viviendas, por lo que se ha tomado un valor medio de superficie de las viviendas en España de 102,4 m<sup>2</sup> [10], una demanda de calefacción promedio de 58,35 kWh/m<sup>2</sup>, una demanda de refrigeración de 12,99 kWh/m<sup>2</sup> y demanda de ACS de 17,59 kWh/m<sup>2</sup> [32]:

**Tabla 4-12. Demanda de energía**

Demanda Calefacción (kWh/año)	Demanda Refrigeración (kWh/año)	Demanda ACS (kWh/año)
5.975,04	1.330,18	1.801,22

Por tanto, la energía eléctrica consumida por la bomba de aerotermia que se ha usado para el estudio será de:

$$\begin{aligned} \text{Energía Eléctrica Consumida} &= \frac{\text{Demanda Calefacción y ACS}}{SCOP} = \frac{5.975,04 + 1.801,22}{4,175} \\ &= 1862,57 \text{ kWh/año} \end{aligned}$$

$$\text{Energía Eléctrica Consumida} = \frac{\text{Demanda Refrigeración}}{SEER} = \frac{1.330,18}{4,45} = 298,92 \text{ kWh/año}$$

El consumo de energía eléctrica total de la bomba de aerotermia que proporcione los dos servicios energéticos será entonces la suma de los anteriores:

$$\text{Energía Eléctrica Consumida Total} = 1.862,57 + 298,92 = 2.161,49 \text{ kWh/año}$$

**Tabla 4-13. Análisis del ahorro energético y económico de la bomba de aerotermia**

Vida útil (T)	Coste de la energía		EQUIPAMIENTO ACTUAL CLIMA.			BOMBA AEROTERMIA			
	Precio de la energía (pe)	Incremento Anual Precio Energía (Ape)	Consumo de Energía Anual (Ce)	Consumo de Energía Anual Acumulado (Ce)	Coste anual de la energía	Consumo de Energía Anual (Ce)	Consumo de Energía Anual Acumulado (Ce)	Coste anual de la energía	Ahorro anual de energía
año	€/kWh	%/año	kWh/año	kWh/año	€	kWh/año	kWh/año	€	€
-	0,240		-	-	-	-	-	-	-
1	0,240		6618	6618	1588,32	2161,49	2161,49	518,76	1069,56
2	0,243		6618	13236	1607,38	2161,49	4322,98	524,98	1082,40
3	0,246		6618	19854	1626,67	2161,49	6484,47	531,28	1095,39
4	0,249		6618	26472	1646,19	2161,49	8645,96	537,66	1108,53
5	0,252		6618	33090	1665,94	2161,49	10807,45	544,11	1121,83
6	0,255		6618	39708	1685,93	2161,49	12968,94	550,64	1135,29
7	0,258		6618	46326	1706,17	2161,49	15130,43	557,25	1148,92
8	0,261	1,012	6618	52944	1726,64	2161,49	17291,92	563,93	1162,71
9	0,264		6618	59562	1747,36	2161,49	19453,41	570,70	1176,66
10	0,267		6618	66180	1768,33	2161,49	21614,9	577,55	1190,78
11	0,270		6618	72798	1789,55	2161,49	23776,39	584,48	1205,07
12	0,274		6618	79416	1811,02	2161,49	25937,88	591,49	1219,53
13	0,277		6618	86034	1832,75	2161,49	28099,37	598,59	1234,16
14	0,280		6618	92652	1854,75	2161,49	30260,86	605,77	1248,97
15	0,284		6618	99270	1877,00	2161,49	32422,35	613,04	1263,96
<b>Total</b>								<b>17.463,75 €</b>	

En la Tabla 4-13 se puede ver que el hecho de usar una bomba de calor de aerotermia en lugar del equipamiento actual nos permite obtener un ahorro de 17.463 € durante la vida útil del equipo. Esto se debe a que la diferencia en el consumo total estimado es de 4.456,51 kWh/año.

En cuanto al análisis de las variables económicas, en la Tabla 4-14, que afectan a la instalación de la bomba aerotérmica, los resultados muestran que el periodo de retorno de la inversión inicial de 10.000 € es de 8 años y 9 meses, debido al ahorro anual que se ha obtenido, lo que hace atractivo realizar el cambio a este tipo de instalaciones en viviendas existentes. Además, el ahorro total final se recoge en el VAN, cuyo valor es de 1.954,74 €.



**Tabla 4-14. Estimación de las variables económicas de la bomba de aerotermia**

Año	BOMBA AEROTERMIA				
	VAN	FLUJO	FLUJO ACUMULADO	PAYBACK	TIR
	€	€	€	años	-
0		-10000,00	-10000,00		
1		1069,56	-8930,44		
2		1082,40	-7848,04		
3		1095,39	-6752,65		
4		1108,53	-5644,12		
5		1121,83	-4522,29		
6		1135,29	-3387,00		
7		1148,92	-2238,08		
8	1.954,74 €	1162,71	-1075,37	8,9	8%
9		1176,66	101,29		
10		1190,78	1292,06		
11		1205,07	2497,13		
12		1219,53	3716,66		
13		1234,16	4950,82		
14		1248,97	6199,79		
15		1263,96	7463,75		

#### 4.5.4 Evaluación del consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>-eq tras las mejoras

Para la evaluación del consumo total de energía y las emisiones totales tras la aplicación de las mejoras propuestas (instalación de equipos más eficientes energéticamente) en cada zona climática, se ha tenido en cuenta primero la distribución de consumo en una vivienda, tanto para unifamiliares como bloques, y su distribución por zona climática. Los valores se han recogido en la Tabla 4-15:

**Tabla 4-15. Consumo medio total por hogar distribuido según el equipamiento antes de la sustitución de equipos**

Zona climática	SITUACIÓN ACTUAL SIN MEJORAS							
	Consumo medio total/hogar		Consumo medio/hogar climatización + ACS		Consumo medio/hogar frigoríficos		Consumo medio/hogar lavadoras	
	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar
	kWh/año		kWh/año		kWh/año		kWh/año	
<i>Atlántico Norte</i>	7.306	14.987	3.887	11.435	584	552	323	306
<i>Continental</i>	9.796	19.653	6.769	15.958	564	631	217	244
<i>Mediterráneo</i>	6.128	13.239	3.211	9.995	552	584	208	220
<i>España</i>	7.544	15.513	4.587	12.023	550	617	207	232

Como el objetivo principal del estudio del presente Proyecto es la búsqueda de la reducción del consumo de energía en el sector residencial y, por consiguiente, de emisiones, se ha optado por estudiar el impacto de la implantación de:

- Frigorífico CORBERÓ etiqueta A++
- Lavadora CORBERÓ etiqueta A+++
- Bomba Aerotérmica

**Tabla 4-16. Consumo medio total por hogar distribuido según el equipamiento tras la sustitución de los equipos**

Zona climática	SITUACIÓN POSTERIOR (TRAS SUSTITUCIÓN DE EQUIPOS)							
	Consumo medio total/hogar		Consumo medio/hogar climatización + ACS		Consumo medio/hogar frigoríficos		Consumo medio/hogar lavadoras	
	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar
	kWh/año		kWh/año		kWh/año		kWh/año	
<i>Atlántico Norte</i>	4.267	6.888	1.269	3.735	239	226	247	234
<i>Continental</i>	4.853	8.476	2.211	5.212	231	258	166	186
<i>Mediterráneo</i>	3.590	6.111	1.049	3.265	226	239	159	168
<i>España</i>	4.081	6.997	1.498	3.927	225	252	158	177

En la Tabla 4-16 se puede ver como se reduce el consumo medio por tipo de vivienda y zona tras la sustitución de los frigoríficos por uno clase A++, lavadoras A+++ e instalación de bomba aerotérmica para climatización y ACS.

Estas medidas se han aplicado al número de viviendas que hay en cada una de las zonas, clasificadas según el tipo (bloque o unifamiliar), para obtener la reducción total de consumo que puede llegar a obtenerse aplicando estas medidas de eficiencia energética:

**Tabla 4-17. Consumo de energía en viviendas según la zona y el tipo**

Zona climática	NÚMERO DE VIVIENDAS		SITUACIÓN ACTUAL (SIN MEJORAS)		SITUACIÓN POSTERIOR (CON MEJORAS)		AHORRO TOTAL TRAS MEJORAS	
	Tipo de vivienda		Consumo total		Consumo total			
	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar
	uds		MWh/año		MWh/año		MWh/año	
<i>Atlántico Norte</i>	580.240	1.673.181	4.239.233	25.075.964	2.475.931	11.524.865	1.763.302	13.551.098
<i>Continental</i>	1.649.042	4.133.792	16.154.015	81.241.414	8.002.865	35.038.202	8.151.150	46.203.212
<i>Mediterráneo</i>	2.867.948	6.295.427	17.574.785	83.345.158	10.296.484	38.470.363	7.278.301	44.874.795
<i>España</i>	5.097.230	12.102.400	37.968.034	189.662.536	20.775.280	85.033.431	17.192.754	104.629.105

Como se puede observar en la Tabla 4-17, el ahorro de energía obtenido una vez aplicadas las mejoras de eficiencia energética en la zona Mediterránea resulta ser de un 41% en el conjunto de viviendas en bloque respecto de la situación inicial mientras que en las viviendas unifamiliares resulta ser de un 54 %. En las viviendas en bloque de la zona continental resulta un ahorro de energía del 50 % respecto de la situación inicial mientras que, en las viviendas unifamiliares, el ahorro sería de un 57 % del consumo de energía. En las viviendas de la zona del Atlántico Norte gracias a las medidas de eficiencia energética se consigue una reducción del consumo de energía de un 42 % en las viviendas en bloque y de un 54 % en las viviendas unifamiliares. Por último, cabe destacar que el ahorro de energía obtenido mediante la implantación de medidas de eficiencia

energética en el conjunto de viviendas en España sería de un 45 % en viviendas en bloque y un 55 % en unifamiliares.

Por último, se ha analizado la reducción de emisiones de CO<sub>2-eq</sub> que se produce tras la aplicación de las mejoras, teniendo en cuenta como dato que se generan 0,19 tCO<sub>2-eq</sub>/MWh, factor de emisión del mix eléctrico en España en 2019 según Red Eléctrica España [28]:

**Tabla 4-18. Ahorro de las emisiones de CO<sub>2-eq</sub> tras la aplicación de las mejoras**

Zona climática	SITUACIÓN ACTUAL (SIN MEJORAS)		SITUACIÓN POSTERIOR (CON MEJORAS)		AHORRO DE EMISIONES (TRAS MEJORAS)	
	Emisiones CO <sub>2-eq</sub>					
	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar
	tCO <sub>2-eq</sub>		tCO <sub>2-eq</sub>		tCO <sub>2-eq</sub>	
<i>Atlántico Norte</i>	805.454	4.764.433	470.427	2.189.724	335.027	2.574.709
<i>Continental</i>	3.069.263	15.435.869	1.520.544	6.657.258	1.548.719	8.778.610
<i>Mediterráneo</i>	3.339.209	15.835.580	1.956.332	7.309.369	1.382.877	8.526.211
<i>España</i>	7.213.927	36.035.882	3.947.303	16.156.352	3.266.623	19.879.530

Con la implantación de las medidas de eficiencia energética impulsadas en este proyecto se conseguiría reducir un total de 23.146.153 tCO<sub>2-eq</sub> en el conjunto total de viviendas a nivel nacional. Cabe destacar que esta reducción de emisiones sería considerable si consideramos el informe de BP Statistical Review of World Energy del año (2016) cuando ya las emisiones de CO<sub>2</sub> totales en el mundo fueron de 33.432,04 Mt.

# CONCLUSIONES

El resumen de los resultados que se han obtenido en el estudio se ha recogido en la Tabla 5-1, Tabla 5-2, Tabla 5-3:

**Tabla 5-1: Resultados obtenidos del consumo medio total de los frigoríficos**

Zona climática	SITUACIÓN ACTUAL		SITUACIÓN POSTERIOR		AHORRO OBTENIDO	
	Consumo medio total frigoríficos		Consumo medio total frigoríficos		Consumo medio total frigoríficos	
	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar
	MWh/año		MWh/año		MWh/año	
<i>Atlántico Norte</i>	338.685	924.124	138.454	377.782	200.231	546.342
<i>Continental</i>	929.308	2.610.287	379.901	1.067.085	549.407	1.543.201
<i>Mediterráneo</i>	1.584.261	3.678.272	647.646	1.503.678	936.615	2.174.594
<i>España</i>	2.838.849	7.424.394	1.160.521	3.035.092	1.678.328	4.389.302

**Tabla 5-2: Resultados obtenidos del consumo medio total de las lavadoras**

Zona climática	SITUACIÓN ACTUAL		SITUACIÓN POSTERIOR		AHORRO OBTENIDO	
	Consumo medio total lavadoras		Consumo medio total lavadoras		Consumo medio total lavadoras	
	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar
	MWh/año		MWh/año		MWh/año	
<i>Atlántico Norte</i>	187.599	511.876	143.288	390.971	44.311	120.905
<i>Continental</i>	358.361	1.006.581	273.716	768.827	84.645	237.754
<i>Mediterráneo</i>	597.262	1.386.697	456.188	1.059.159	141.073	327.538
<i>España</i>	1.070.237	2.798.973	817.447	2.137.855	252.790	661.117

**Tabla 5-3: Resultados obtenidos del consumo medio total para climatización y ACS**

Zona climática	SITUACIÓN ACTUAL		SITUACIÓN POSTERIOR		AHORRO OBTENIDO	
	Consumo medio total climatización y ACS		Consumo medio total climatización y ACS		Consumo medio total climatización y ACS	
	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar
	MWh/año		MWh/año		MWh/año	
<i>Atlántico Norte</i>	2.255.272	19.132.960	659.667	5.596.391	1.595.605	13.536.569
<i>Continental</i>	11.162.425	65.968.028	3.265.009	19.295.648	7.897.415	46.672.380
<i>Mediterráneo</i>	9.209.188	62.925.594	2.693.687	18.405.736	6.515.500	44.519.858
<i>España</i>	23.667.131	144.748.689	6.922.636	42.338.992	16.744.495	102.409.698

Como se puede observar en los resultados obtenidos, la mejora que produce un mayor ahorro de energía en los hogares es la instalación de la bomba de calor para la climatización y producción de ACS en las viviendas,

suponiendo un ahorro del **67%**, debido a que son equipos que presentan unos altos rendimientos y se reduce el número de equipos necesarios para llevar a cabo los servicios de climatización y producción de ACS.

En segundo lugar, la mejora que presenta mejores resultados es la sustitución de los frigoríficos actuales de etiqueta A por uno etiqueta A++, que presenta un ahorro del **59%** en el consumo de energía, y, por último, la sustitución de las lavadoras actuales por una lavadora etiqueta A+++ supone un ahorro del **24%**, siendo también interesante.

Valorar los cambios que pueden generarse con tan solo sustituir una serie de equipos en las viviendas españolas es un paso fundamental para establecer una nueva política de consumo basado en presentarles a los ciudadanos un patrón de ahorro no solo en energía, sino también en costes, ya que con frecuencia no pueden visualizar con facilidad las mejoras que traerán. También es necesario manejar cifras donde se evidencie la minimización del impacto ambiental, dada la política Verde (*Green Deal*) con el que se pretende lograr que Europa sea climáticamente neutra de aquí a 2050, que se ha fomentado en el continente europeo y especialmente en España. Todo lo referido, permite establecer las siguientes conclusiones:

- El uso de equipos diseñados para disminuir el gasto energético representa un ahorro sustancial tanto en consumo como en el presupuesto familiar, de ahí la importancia de promover conocimiento de los ciudadanos sobre las normas de etiquetado para que puedan adquirir los equipos que están diseñados bajo estas especificaciones.
- El ahorro en emisiones de CO<sub>2</sub>-eq también representa un factor de mejora ambiental importante y la iniciativa en España de una necesidad fundamental para preservar la salud actual y futura de los ciudadanos, contribuyendo además, a la consecución de compromisos internacionales sobre medioambiente.
- Si se considera la proyección de crecimiento poblacional y el impacto que las diferentes crisis económico-sociales y, ahora con las consecuencias de la Pandemia COVID-19 será vital para los ciudadanos ahorrar en gastos de cualquier servicio, mientras que el coste de generación de la energía eléctrica también se podrá ver afectado, lo cual implica proyectar un esquema de colaboración mutua con los ciudadanos.
- La implantación de medidas de eficiencia energética permite reducir el consumo de energía eléctrica ya que los equipos son más eficientes energéticamente, lo que hace que se abarate el precio de la electricidad en el mercado eléctrico, tal y como se pudo comprobar en el capítulo 2.
- La mejora de la eficiencia del equipamiento doméstico es una herramienta de política energética que permite combinar el logro de los objetivos económicos individuales de las familias con los objetivos medioambientales de la sociedad en su conjunto.



## REFERENCIAS

- [1] A. D. Leiva López, «La Regulación de la Actividad de Distribución de la Energía Eléctrica,» *Revista Aragonesa de Administración Pública*, nº 51, pp. 175-211, 2018.
- [2] REE, «Red Eléctrica de España,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ree.es/es>.
- [3] INFOENERGÉTICA, «Infoenergética,» [En línea]. Available: <https://www.infoenergetica.com/>.
- [4] Energía y Sociedad, «Energía y Sociedad. Manual de Energía,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/manual-de-la-energia/>. [Último acceso: 2020].
- [5] L. Agosti, A. J. Padilla y A. Requejo, «EL «MERCADO» DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN ESPAÑA: ESTRUCTURA, FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS,» *Economía Industrial*, nº 364, pp. 21-37, 2007.
- [6] OMIE, «Operador de mercado eléctrico Ibérico,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.omie.es>. [Último acceso: 2020].
- [7] U. Europea, «Web oficial de la Unión Europea,» 6 4 2018. [En línea]. Available: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es).
- [8] Boletín Oficial del Estado, «BOE,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.boe.es>.
- [9] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, «Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.prtr-es.es>.
- [10] EUROSTAT y IDAE, «Análisis del consumo energético del sector residencial en España,» 2011.
- [11] The Intergovernmental Panel on Climate Change, «IPCC,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ipcc.ch/>. [Último acceso: 2020].
- [12] AEMET y OECC, «Cambio Climático: Calentamiento Global de 1,5°C,» Madrid, 2018.
- [13] IDAE, «Nuevo reglamento para el etiquetado energético,» 20 mayo 2018. [En línea]. Available: <http://www.idae.es/ahorra-energia/nuevo-reglamento-para-el-etiquetado-energetico>.
- [14] IDAE, *Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España*, 2014.
- [15] Eurostat, «Electricity price statistics/es,» mayo 2020. [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/64909.pdf>.
- [16] Jefatura del Estado, «Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales,» 1992.
- [17] European Commission, «Eurostat,» 2020. [En línea]. Available: [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_pc\\_204&lang=en](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_204&lang=en). [Último acceso: 2020].
- [18] Red Eléctrica de España, «Informe del Sistema Eléctrico Español 2019,» 2019.

- [19] Eurostat, «Natural gas price statistics/es,» mayo 2020. [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/64911.pdf>.
- [20] «Corbero.es,» [En línea]. Available: <https://corbero.es/>. [Último acceso: 06 2020].
- [21] A. d. F. y. G. y. E. d. C. p. A. Caliente, «Guía práctica sobre instalaciones individuales de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios de viviendas,» IDAE, Madrid, 2011.
- [22] IDAE, «Consumos del Sector Residencial en España Resumen de Información Básica,» 2011.
- [23] Gabarrón, «Thermira. La energía renovable de Gabarrón. Aerotermia, el equilibrio perfecto entre el mejor confort y el máximo ahorro energético».
- [24] CYPE, «Generador de Precios. España,» CYPE Ingenieros S.A., 2020. [En línea]. Available: <http://www.generadordeprecios.info>. [Último acceso: 2020].
- [25] FEDER, F. d. Cohesión y ISPA, «Guía del análisis costes-beneficios de los proyectos de inversión,» 2003.
- [26] A. E. d. Meteorología y C. N. d. E. Ambiental, «Cambio climático:Informe de Síntesis,» Madrid, 2016.
- [27] L. Esteban y J. H. M. Feijóo, «Eficiencia energética y regulación de la industria española ante el cambio climático,» Estudios de Economía aplicada, Zaragoza, 2003.
- [28] REE, «Emisiones de CO2 asociadas a la generación de electricidad en España,» Marzo 2021.
- [29] Gobierno de España, «Ministerio de Industria, Comercio y Turismo,» 2020. [En línea]. Available: <https://industria.gob.es>. [Último acceso: 2020].
- [30] Comisión Europea, «Economic & Budgetary Projections for the 28 EU Member States (2016-2070),» Economic and Financial Affairs, 2018.
- [31] INE, «Instituto Nacional de Estadística,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ine.es>. [Último acceso: 2020].
- [32] IDAE, «Escala de certificación energética,» Madrid, 2009.
- [33] «Certicalia.es (Certificado energético),» [En línea]. Available: <https://www.certicalia.com/>.
- [34] P. Rivas, «Instalaciones y eficiencia energética,» 02 2021. [En línea]. Available: <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/ahorro-energetico-con-aerotermia/>. [Último acceso: 2021].