



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (I.C.A.I.)

PROYECTO DE FIN DE MÁSTER

# ANÁLISIS TÉCNICO- ECONÓMICO Y FINANCIERO DE UN PROYECTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

AUTOR:

Gonzalo Sánchez Contreras

DIRECTOR:

David Trebolle Trebolle

Madrid, junio de 2019



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

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

El autor D. GONZALO SÁNCHEZ CONTRERAS DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO Y FINANCIERO DE UN PROYECTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2º. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### ***3º. Condiciones de la cesión y acceso***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### ***4º. Derechos del autor.***

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### ***5º. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

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

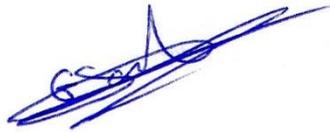
**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

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

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 20 de Junio de 2019,

**ACEPTA**



Fdo

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

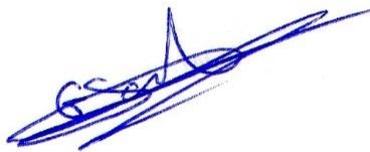
--

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO Y FINANCIERO DE UN PROYECTO DE  
EFICIENCIA ENERGÉTICA en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia  
Comillas en el

curso académico 2018/2019 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de  
otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Gonzalo Sánchez Contreras

Fecha: 20 / 06 / 2019



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: David Trebolle Trebolle

Fecha: 20 / 06 / 2019





# ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO Y FINANCIERO DE UN PROYECTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

**Autor: Sánchez Contreras, Gonzalo.**

**Director: Trebolle Trebolle, David.**

**Entidad colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas**

## RESUMEN DEL PROYECTO

El problema de la eficiencia energética es una materia de creciente interés en el desarrollo de las economías y la sociedad. La búsqueda de una mejora de eficiencia energética implica continuar desarrollando una actividad bajo las mismas condiciones y obteniendo el mismo resultado, pero con un menor gasto energético.

Actualmente, casi un quinto de la energía final consumida en España proviene del sector residencial, un 23% en el sector industrial y un 43% en el sector transportes. Con un consumo de 84,293 ktep, las directivas de eficiencia energética tratan de reducir este valor. Debido a su naturaleza, el sector residencial es el sector en el que más aplicación encuentran las medidas de eficiencia energética, y se basan sobre todo en la concienciación y la reducción de las barreras para la inversión en este tipo de medidas.

En este proyecto se analiza un inmueble y las posibilidades de inversión en medidas para reducir su consumo energético. Para ello, primero se caracteriza físicamente, determinando qué tipo de vivienda es, cuántos inquilinos tiene, su localización y la zona climática en que se encuentra y después, en el análisis energético, se divide el consumo energético en dos tipos: eléctrico, proveniente de aquellos equipos que consumen electricidad para su funcionamiento, y térmico, relacionado con la calefacción y el agua caliente sanitaria.

Con esta distinción, se realiza un estudio del estado actual de eficiencia de la vivienda. Se analiza la envolvente térmica, estudiando los materiales empleados en fachadas, cubierta, huecos o ventanas y puentes térmicos, de forma que se puede calcular un parámetro denominado transmitancia térmica, que permite conocer cuánta energía térmica se pierde en el inmueble, y a su vez, cuánto cambia su retención con la aplicación de medidas para mejorar su eficiencia. Por su parte, también se caracteriza eléctricamente mediante el estudio de los sistemas de iluminación, equipos eléctricos y otros consumos. También se obtiene información del gasto en electricidad y calefacción, por medio de facturas, para conocer la curva de consumo anual y el precio asociado.

Una vez obtenidos la demanda y el consumo, se investiga sobre las medidas que tienen posibilidad de aplicación en el inmueble. Para ello, se analiza tanto técnicamente como

de manera económica-financiera. En el estudio técnico, se valoran sus características, el ahorro de energía estimado que provocan, la facilidad de instalación y el coste. Con estos parámetros, se evalúa qué medidas son candidatas a la instalación en la vivienda. Posteriormente, es necesario realizar un análisis financiero que permita conocer la inversión necesaria, el ahorro económico, y, con la ayuda de indicadores financieros, la viabilidad de la inversión en el proyecto.

De esta manera, se realiza una reevaluación de los candidatos propuestos en el análisis técnico, y se confirma finalmente qué medidas serán instaladas en el inmueble, qué cambio se produce en la demanda de la vivienda y cuánto dinero se ahorra, mejorando así la eficiencia energética del inmueble y la calidad de vida de los inquilinos.

## **Abstract**

The energy efficiency problem is a subject of growing interest in the development of economies and society. The search for an improvement in energy efficiency allows continuing to develop an activity under the same conditions and obtaining the same result, but with a lower energy expenditure.

Currently, almost one fifth of the final energy consumed in Spain comes from the residential sector, 23% from the industrial sector and 43% from the transport sector. With a consumption of 84,293 ktep, the energy efficiency directives try to reduce this value to reduce the Spanish energy dependence. Due to its nature, the residential sector is the sector where energy efficiency measures find their greatest application, and they are based on raising awareness and reducing barriers to investment in this type of measures.

In this project, a property and the investment possibilities in measures to reduce its energy consumption are analysed. To do so, it is needed to evaluate the physical conditions of the household, determining what type of home it is, how many tenants it has, its location and the climatic zone in which it is located and then, in the energetic analysis, the energy consumption is divided into two types: electrical, from those equipment that consumes electricity for its operation, and thermal, related to heating and sanitary hot water.

With this distinction, a study of the current state of efficiency of the house is made. The thermal envelope is analysed, studying the materials used in facades, roof, holes or windows and thermal bridges. A parameter called thermal transmittance is calculated, which allows to know how much thermal energy is lost in the building, and in turn, how much does his retention change with the application of measures to improve his efficiency. On the other hand, it is also characterized electrically through the study of lighting systems, electrical equipment and other consumptions. Information about electricity and heating costs is also obtained through invoices, to know the annual consumption curve and the associated price.

Once the demand and consumption have been obtained, the measures that have possibility of application in the property are investigated. These measures are analysed both technically, economically and financially. In the technical study, their characteristics are valued, the estimated energy saving is calculated, and the ease of installation and cost are studied. With these parameters, it is evaluated which measures are candidates for the installation in the house. Subsequently, it is necessary to carry out a financial analysis that allows to know the necessary investment, the economic savings, and, with the help of financial indicators, the viability of the investment in the project.

Finally, a re-evaluation of the candidates proposed in the technical analysis is carried out, and it is confirmed which measures will be installed in the property, what changes occur in the demand of the home and how much money is saved, thus improving energy efficiency of the property and the quality of life of the tenants.



# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN .....	2
1.2. MOTIVACIÓN .....	4
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	6
1.4. METODOLOGÍA .....	6
1.5. RECURSOS A EMPLEAR .....	8
<b>2. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL INMUEBLE .....</b>	<b>9</b>
2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL INMUEBLE .....	9
2.1.1. CLIMA DE LA ZONA .....	10
2.1.2. DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA .....	11
2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA .....	15
2.2.1. DEMANDA ELÉCTRICA .....	15
2.2.2. DEMANDA TÉRMICA.....	16
2.3. CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO .....	19
2.3.1. CONSUMO ELÉCTRICO.....	19
2.3.2. CONSUMO TÉRMICO .....	20
<b>3. ANÁLISIS TÉCNICO DE MEDIDAS DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA .....</b>	<b>23</b>
3.1. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS Y MEJORAS DE EFICIENCIA TIPO DEMAND-SIDE.....	23
3.1.1. CONTADORES INTELIGENTES.....	24
3.1.2. INSTALACIÓN DE DOMÓTICA .....	25
3.1.3. ILUMINACIÓN DE BAJO CONSUMO.....	26
3.1.4. SUSTITUCIÓN DE EQUIPOS POR OTROS DE MAYOR EFICIENCIA.....	28
3.1.5. SUSTITUCIÓN DE VENTANAS.....	29
3.1.6. MEJORA DE AISLAMIENTOS.....	30
3.1.7. SUSTITUCIÓN DE ELEMENTOS RADIADORES.....	33
3.2. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS Y MEJORAS DE EFICIENCIA TIPO SUPPLY-SIDE.....	35
3.2.1. PANELES FOTOVOLTAICOS .....	35
3.2.2. BATERÍAS DE ALMACENAMIENTO DE ELECTRICIDAD .....	38
3.2.3. SUSTITUCIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN .....	40
3.3. ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....	44

3.3.1.	MEDIDAS TIPO DEMAND-SIDE.....	44
3.3.2.	MEDIDAS TIPO SUPPLY-SIDE.....	53
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO - FINANCIERO DE LAS MEDIDAS DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.....</b>	<b>67</b>
4.1.	COMPARATIVA DE COSTES .....	68
4.1.1.	MEDIDAS DE TIPO DEMAND-SIDE .....	68
4.1.2.	MEDIDAS DE TIPO SUPPLY-SIDE .....	75
4.2.	CÁLCULOS DE AHORROS .....	79
4.3.	FINANCIACIÓN DE LAS MEDIDAS SELECCIONADAS .....	85
4.4.	ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE MEDIDAS .....	86
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>93</b>
5.1.	RESUMEN DE MEDIDAS Y RESULTADOS .....	93
5.2.	CONCLUSIONES.....	95
5.3.	FUTUROS PASOS .....	97
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>101</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de conductividad térmica en fachada.....	13
Tabla 2. Coeficientes de conductividad térmica en cubierta. ....	13
Tabla 3. Coeficientes de conductividad térmica en sótano. ....	14
Tabla 4. Coeficientes de conductividad térmica en cerramiento a local no calefactado. .....	14
Tabla 5. Coeficientes de conductividad térmica en forjado a local no calefactado.....	14
Tabla 6. Coeficientes de conductividad térmica en forjado a espacio exterior.....	14
Tabla 7. Resumen de transmitancias térmicas.....	15
Tabla 8. Coeficientes de cálculo calorífico. ....	17
Tabla 9. Requisito calorífico de las estancias. ....	18
Tabla 10. Resumen comparativo entre luminarias. ....	27
Tabla 11. Cálculo de las lámparas necesarias.....	28
Tabla 12. Espesores mínimos de aislante térmico. ....	33
Tabla 13. Cuadro comparativo de tipos de paneles fotovoltaicos.....	38
Tabla 14. Ahorro por iluminación de bajo consumo. ....	46
Tabla 15. Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U en $W/m^2 \cdot K$ .....	49
Tabla 16. Estimación de la transmitancia térmica en cada tipo de ventana. ....	49
Tabla 17. Transmitancia térmica de las fachadas tras aplicar el aislamiento. ....	50
Tabla 18. Transmitancia térmica de la cubierta tras aplicar el aislamiento.....	51
Tabla 19. Transmitancia térmica del forjado a local no calefactado tras aplicar el aislamiento. ....	51
Tabla 20. Transmitancia térmica del forjado a espacio exterior tras aplicar el aislamiento. .....	52
Tabla 21. Características técnicas de los paneles fotovoltaicos.....	54
Tabla 22. Datos de simulación.....	54
Tabla 23. Especificaciones de la batería de almacenamiento.....	58
Tabla 24. Resumen de ahorro por sustitución del sistema de calefacción. ....	61
Tabla 25. Resumen de medidas tipo demand-side. ....	65
Tabla 26. Resumen de medidas tipo supply-side. ....	65
Tabla 27. Características de las bombillas elegidas.....	69
Tabla 28. Coste de sustitución de ventanas. ....	73
Tabla 29. Coste de mejora de aislamientos.....	74
Tabla 30. Coste de los radiadores.....	75
Tabla 31. Coste de la instalación fotovoltaica. ....	75
Tabla 32. Coste de la batería de almacenamiento. ....	76
Tabla 33. Bombas de calor elegidas. ....	78
Tabla 34. Coste de la instalación de suelo radiante de agua. ....	79
Tabla 35. Resumen de inversión necesaria. ....	79
Tabla 36. Precios futuros de electricidad y gasóleo tipo C.....	80
Tabla 37. Ahorro por potencia contratada.....	81

Tabla 38. Importe subvencionado de cada una de las medidas consideradas. ....	83
Tabla 39. Ahorros económicos anuales tras la aplicación de medidas demand-side....	84
Tabla 40. Ahorros económicos anuales tras la aplicación de medidas supply-side.....	84
Tabla 41. Resumen de indicadores financieros para cada escenario, medidas demand-side.....	90
Tabla 42. Resumen de indicadores financieros para cada escenario, medidas supply-side. ....	91
Tabla 43. Resumen de las medidas elegidas y resultados financieros.....	93

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumo de energía final en España en 2016. Fuente: IDAE .....	1
Figura 2. Diagrama Gantt del proyecto. ....	8
Figura 3. Temperaturas y precipitación de la localización del inmueble. Fuente: Meteoblue. ....	11
Figura 4. Reparto de demanda eléctrica del inmueble. ....	16
Figura 5. Resumen de la demanda térmica anual. ....	18
Figura 6. Consumo eléctrico y precio final de la electricidad, 2018.....	19
Figura 7. Consumo de combustible y precio final, 2018. ....	20
Figura 8. Consumo y gasto anual de la vivienda. ....	21
Figura 9. Perfil energético de las baterías de plomo-ácido e ión de litio. Fuente: Intralogística .....	39
Figura 10. Ahorro por suelo radiante. Fuente: FENERCOM, UPONOR, Comunidad de Madrid. ....	43
Figura 11. Producción mensual de los paneles fotovoltaicos. ....	55
Figura 12. Generación frente al consumo eléctrico de 2018. ....	55
Figura 13. Esquema unifilar de la instalación fotovoltaica con batería de almacenamiento.....	59
Figura 14. Comparación ahorros frente a facilidad de instalación y operación. ....	63
Figura 15. Demanda antes y después de la aplicación de medidas demand-side.....	64
Figura 16. Demanda antes y después de la aplicación de las medidas seleccionadas. .	94
Figura 17. Reducción del gasto anual tras la aplicación de las medidas seleccionadas.	94



# 1. INTRODUCCIÓN

La transformación del modelo energético propuesta en España tiene como objetivo alcanzar la descarbonización completa de la economía y el 90% de las emisiones para el año 2050 [1]. Tras el acuerdo de París [2], en el que España se compromete a alcanzar el 40% de reducción de emisiones de efecto invernadero, el 32 % de renovables y el 32,5 % de eficiencia energética, muchas son las medidas que se han aplicado para lograr estas cifras, como el aumento de la potencia instalada en energías renovables, mayoritariamente eólica on-shore y solar fotovoltaica, cierre de centrales térmicas basadas en el carbón y repotenciación y modificaciones de otras centrales térmicas para reducir la cantidad de emisiones.

Para cumplir estos objetivos, se han adoptado una serie de medidas legales para converger con los objetivos europeos, entre las que se encuentran la Directiva (EU) 2018/2002 [3], relativa a la eficiencia energética que crea un marco común para fomentar la eficiencia energética dentro de la Unión Europea y establece acciones concretas; la Directiva (EU) 2018/844 [4], que establece nuevas reglas para la mejora del rendimiento energético en edificios; Real Decreto 56/2016, del 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a Auditorías Energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos, y promoción de la eficiencia del suministro de energía; y la Normativa ISO 50001, publicada en junio de 2011, que es una normativa estándar internacional que tiene como objetivo minimizar el consumo energético e identificar oportunidades para tener una mejor utilización de la energía y su rendimiento [5].

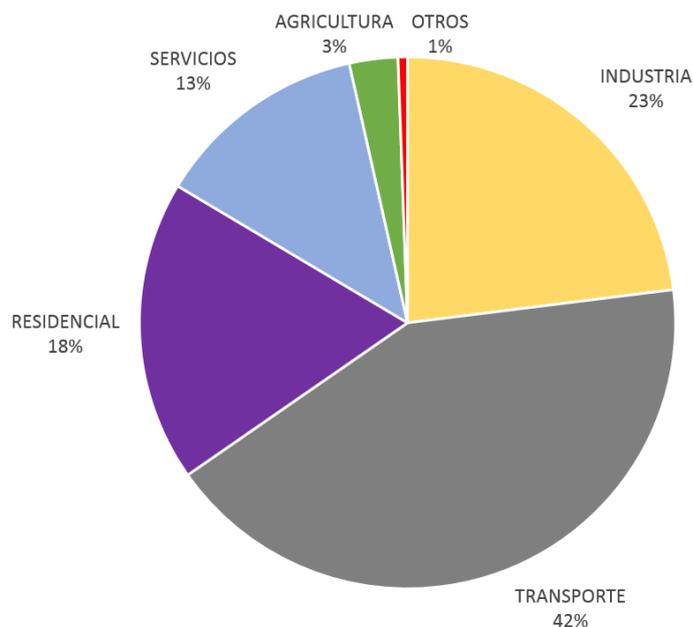


Figura 1. Consumo de energía final en España en 2016. Fuente: IDAE

Estas directivas de eficiencia energética tienen aplicación en todos los sectores de uso final, pero el sector que mayor aplicación encuentra es el sector residencial. Como se observa en la Figura 1 este sector supone un 18% del consumo de energía final, siendo superado sólo por los transportes y el sector de la industria.

Mejoras en el poder adquisitivo y el nivel de vida, cambios en los hábitos de consumo y el incremento del número de hogares son factores que propician una tendencia al alza de la demanda energética de este sector. Aunque actualmente presente un consumo menor que el de otros sectores, es el sector residencial, junto con el de servicios, los que mayor crecimiento han experimentado en los últimos años tanto en consumo como en demanda energética asociada.

En generación eléctrica se ha mejorado notablemente la eficiencia energética de la producción debido a la introducción de nuevas tecnologías de generación como el ciclo combinado y la cogeneración, así como las fuentes de generación renovables. Sin embargo, en el lado de la demanda existe una gran variedad de infraestructuras e instalaciones, que, junto a su carácter difuso y su coexistencia fuertemente atomizada, añaden gran complejidad a la aplicación de medidas y frenan el aumento de la eficiencia energética. Por ello, se ha optado por realizar un despliegue de medidas progresivo que alcanza todo el espectro de ramas técnicas, como nuevas exigencias en el Código Técnico de Edificación (CTE), que permiten lograr ahorros sustanciales en la construcción de nuevos edificios y la instalación de sistemas de climatización, así como las recomendaciones del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), que permiten adaptar los sistemas de iluminación a las necesidades reales del inmueble con el fin de lograr un mayor ahorro energético.

Pese al atractivo del desarrollo de la eficiencia energética, existen numerosas barreras que impiden su pleno avance, como la falta de una señal del precio de la energía que resulte adecuada, la escasa información al consumidor final, la falta de claridad en el contexto normativo, las numerosas limitaciones financieras o la indisponibilidad de una metodología de referencia para la medición de ahorros [6]. Para la incorporación de equipamientos y elementos constructivos más eficientes, con diseños óptimos que nos permitan acercarnos a un futuro de viviendas de bajo consumo, se precisa de un correcto diagnóstico energético del sector residencial, que facilitará la creación de políticas de eficiencia energética adecuadas y eficaces.

### 1.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Tras la aprobación de la Directiva 2002/91/UE (EPBD) de eficiencia energética, se pone en marcha un proceso de análisis, valoración y planteamiento de alternativas sobre la eficiencia energética de los distintos tipos de inmuebles. De esta forma, tanto organizaciones públicas como privadas realizan estudios que proponen nuevas soluciones de cara al ahorro energético. De cara al proyecto, se han seleccionado y analizado los estudios más relevantes y recientes.

La Consejería de Economía y Hacienda elabora, para la Comunidad de Madrid, dos guías dirigidas a las Comunidades de Propietarios acerca de este tema. La primera de ellas, [7], realizada en 2012 en colaboración con empresas dedicadas al sector energético como Endesa, Anfalum y Viessmann, estudia mecanismos de ahorro energético a partir de la optimización de la factura y las instalaciones, centrándose principalmente en las de gas y electricidad. Para ello, desglosa los elementos que conforman la instalación, como calderas, motores eléctricos, iluminación y circuitos de agua, analiza qué tipo de mejoras se pueden aplicar, cómo se han de aplicar, qué consecuencias se puede esperar de aplicar estas mejoras y una estimación del ahorro medido en porcentaje.

Otra guía para la Comunidad de Madrid es [8]. Esta guía está elaborada en colaboración con Ábaco Ambiental, ECOINVERSOL, REMICA, RTR Energía, HONEYWELL, WILO IBÉRICA y THYSSENKRUPP. Con un enfoque más técnico, este documento valora alternativas para la optimización de facturas y ahorro de costes en energía para edificios. Para ello, propone el estudio de los perfiles de consumo eléctrico de los edificios, de forma que se conozca la demanda real y se pueda trazar un perfil ajustado que permita obtener ahorro tanto energético como económico. Con la ayuda de la instalación de contadores eléctricos inteligentes, propone utilizar un sistema de tele gestión con el que se puede monitorizar el estado del suministro y de la demanda en tiempo real. Así, el control de la generación renovable instalada en un edificio, como paneles solares, junto con la compensación de potencia reactiva gracias al continuo control del estado del suministro, hacen posible el diseño de controles inteligentes instalados en los edificios que maximizan el ahorro energético del inmueble.

El actual Plan Energético de la Comunidad de Madrid Horizonte 2020 [9] ha promovido la ejecución de proyectos de eficiencia energética. En este plan se establecen unos objetivos que se deben cumplir tanto en nuevas instalaciones como en la reforma de las ya existentes. Estos objetivos comprenden la satisfacción de la demanda energética con altos niveles de seguridad y calidad, una mejora de la eficiencia energética en el consumo de energía, con el propósito de reducirlo entre un 1,5% y un 2% anual de la intensidad energética final, y un incremento de la producción mediante energías renovables de un 35%. Este plan propone 80 medidas, de las cuales 54 implican la mejora de la eficiencia energética en los distintos sectores, 12 están dedicadas al fomento de la generación autóctona renovable y 14 para la mejora de infraestructuras energéticas.

La aplicación del anterior plan energético ha permitido diferentes mejoras de eficiencia energética en la Comunidad de Madrid, como recoge el documento [10]. Este documento describe un conjunto de actuaciones de diversa índole con el objetivo compartido de mejorar las condiciones de eficiencia energética. Para ello, se realiza una rehabilitación energética parcial o integral de edificios existentes, con hincapié en el sector residencial; mejora de rendimientos energéticos de las instalaciones térmicas de climatización e instalaciones de iluminación de los edificios; proyectos de mejora de gestión energética de edificios públicos, de manera ejemplarizante; y una serie de proyectos dedicada a las energías renovables, como aplicaciones de biomasa para

calefacción, generación eléctrica con paneles fotovoltaicos o climatización por medio de sistemas geotérmicos de baja entalpía.

El Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE), en colaboración con el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, realiza en 2011 un informe [11] en el que analiza el consumo energético en el sector residencial en España. Con este informe, consiguen caracterizar la demanda energética del sector residencial mediante el método *bottom-up*, en contraste con el tradicional *top-down*. Gracias a este método, recogen datos de consumo energético que les permite analizar la infraestructura de los hogares y los hábitos de consumo, tanto con el grado de utilización de electrodomésticos como de otros dispositivos, para poder explicar los consumos por zona climática y tipo de vivienda. Con esta información, validan el alto nivel alcanzado en eficiencia energética en España e insisten en la necesidad de incidir en las políticas de uso racional dirigidas a los hogares.

PWC elabora en 2013 un documento [6] dedicado a la impulsión de la eficiencia energética para el sector hotelero español. Con él, plantea la posibilidad de mejorar la competitividad en el sector a través de la implementación de medidas de eficiencia energética, ya que el coste energético de un hotel puede suponer entre un 4% y un 25% de los costes de explotación. El planteamiento de alternativas de eficiencia energética en los hoteles comprende tanto el lado de demanda y su reducción como el de conseguir una mayor eficiencia en el suministro de dicha energía. Su propuesta incluye el capital humano y su concienciación, tanto para la plantilla como para los clientes, la instalación de sistemas de gestión de la energía para los equipos del edificio, controles de presencia en iluminación, aislamiento de calderas, tuberías, muros, paredes etc., electrodomésticos eficientes o sistemas de ventilación eficientes, entre otros. También considera el uso de tecnología renovable como la solar térmica para agua caliente sanitaria (ACS) y climatización, así como el uso de solar fotovoltaica y otros tipos de energía renovable para el abastecimiento, como mini eólica o biomasa. Por último, propone una solución al problema de la financiación de este tipo de proyectos, clasificando los métodos de financiación en función del volumen de la inversión deseado y su tipología.

## 1.2. MOTIVACIÓN

El incremento de la eficiencia energética es uno de los objetivos destacados por la Unión Europea para desarrollar una estrategia de crecimiento inteligente, sostenible e inclusivo. Desde el punto de vista industrial, se reconocen numerosos beneficios económicos directos, aparte de los distintos beneficios indirectos como un incremento en la competitividad de la empresa y mayor productividad [12]. Sin embargo, muchas de las mejoras que se proponen, pese a ser eficientes en el coste de la energía, no llegan a ser implementadas. Es por eso que la discrepancia entre el nivel óptimo de eficiencia energética percibido y la actual eficiencia energética implementada se denomina “brecha de eficiencia energética” [13].

Uno de los sectores más afectados por la falta de eficiencia energética es el sector residencial. Su importancia reside no en el nivel de implementación de medidas para mejorar su eficiencia sino en el rápido crecimiento del urbanismo. Este efecto es más notable en países cuya expansión y crecimiento económico es más notorio durante los últimos años, como en el caso de China, que ha pasado de tener un índice de urbanización de alrededor de 20% en los años 80 a un 45% en 2007. De esta forma, existe una gran preocupación por la mejora de planificación diseño, construcción, operación y mantenimiento de los procesos de eficiencia energética en los edificios para lograr un desarrollo urbano sostenible [14].

La implementación de medidas de eficiencia energética tiene asociado numerosas ventajas tanto en el lado de la demanda como en el suministro. La utilización de nuevas tecnologías de generación permite producir más eficientemente en las centrales eléctricas, logrando suministrar la misma cantidad de energía a un coste menor y con menores emisiones. Para ello, se propone optimizar las operaciones y servicios auxiliares de las plantas de generación a través de controles sofisticados y equipamientos eficientes. En el lado de la demanda, la creciente eficiencia energética de edificios en cuanto a su construcción y la mayor presencia de dispositivos más eficientes se traduce en una reducción del consumo de electricidad y gas, que permite obtener ahorros en las facturas del consumidor. En países como India, que prevé un crecimiento de su electrificación en un 165% para 2040 [15], resulta importante el establecimiento de medidas de gestión de la demanda, *Demand Side Management (DSM)*, como forma de limitación de las pérdidas que se producen en el sistema por la utilización de equipos ineficientes [16].

A través de las medidas de eficiencia energética, se puede estimar un ahorro energético del entorno del 20-30% sin realizar modificaciones en el edificio. En un estudio de 10 años, [17] estima que se puede reducir en un 30% la huella del carbono de los edificios, siendo esta reducción mayor incluso en aquellos países con gran dependencia del carbón como fuente de energía primaria. Paralelo al ahorro, un incremento de eficiencia en el edificio tiene correlación con el valor de mercado del inmueble, siendo éste mayor cuanto más eficiente sea el edificio [18].

Existe también un incremento en la productividad y beneficios para la salud cuando se mejora la eficiencia energética de los entornos urbanos y los edificios. La utilización de iluminación más eficiente permite mejorar la calidad de la iluminación y la satisfacción de las personas, que puede mejorar la productividad cuando se realizan tareas con alta carga visual; el empleo de climatización que utiliza el aire exterior para refrigerar y recuperación de calor del aire expulsado, así como la pre-refrigeración nocturna de los edificios; ventilación natural mediante ventanas operables en sustitución de equipos de aire acondicionado, que permite reducir enfermedades respiratorias y los síntomas del “síndrome del niño sacudido”; y el incremento del aislamiento térmico de los edificios, junto con el empleo de ventanas de eficiencia térmica, permite reducir costes de climatización y logra satisfacer la demanda térmica [19].

La importancia de este proyecto reside en las numerosas ventajas expuestas anteriormente, tanto económicas como sociales, productivas y para la salud. A partir de una correcta caracterización de un inmueble, es posible comprender qué partes de este son ineficientes y qué medidas se han de aplicar para poder mejorarlo. Este tipo de mejoras deben ser estudiadas con detalle con el fin de obtener un mayor rendimiento del capital empleado. De esta forma, el incremento progresivo de la eficiencia energética de los edificios conllevará una transformación incremental de los hábitos de consumo y conciencia medioambiental, así como de cambios en la forma de gestionar los activos de las empresas generadoras, que deberán buscar la eficiencia como método de competitividad.

### 1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos planteados en este proyecto son:

- Caracterizar energéticamente un inmueble. Se realizará una selección de un inmueble sobre el que se realizará un estudio de sus características a través de la información disponible.
- Análisis de medidas de eficiencia energética, tanto eléctricas como térmicas. Se valorará a través de la caracterización el estado del inmueble para poder determinar distintas medidas de eficiencia energética, en busca de conseguir reducciones de la demanda energética y de su suministro.
- Análisis económico de las medidas. Tras valorar las medidas propuestas y decidir cuáles serán las modificaciones correspondientes, se realizará una valoración económica de las medidas para poder determinar cuánto ahorro se produce por introducir dichos cambios.
- Búsqueda de alternativas de financiación. Se estudiarán varios mecanismos de financiación, a través de capital propio o *equity*, deuda o subvenciones. Para ello será necesario introducir un modelo de valoración por descuento de flujo de caja. Se calcularán los valores actuales netos y las tasas internas de retorno, tanto desde el punto de vista del proyecto como del *equity*.

### 1.4. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el proyecto, se seguirá la siguiente metodología:

- Caracterización energética del inmueble. En primer lugar, se debe realizar una descripción energética de la vivienda en la que se detalla las características de construcción como materiales empleados, composición de cerramientos, número de huecos o aislamientos empleados. Con esta descripción, se puede conocer el grado de pérdidas térmicas del inmueble. Por otra parte, se caracterizan la demanda y los consumos que se producen en un año. La demanda

eléctrica se obtiene a partir de la potencia nominal de los equipos disponibles en el inmueble, su rendimiento eléctrico y un factor de utilización que está relacionado con los hábitos de consumo de los usuarios de la vivienda. La demanda térmica, sin embargo, se conoce a partir de la superficie a climatizar y la zona climática. Los consumos de la vivienda se extraen de la recopilación de facturas y recibos a lo largo del año de referencia, 2018, tanto eléctrica como de combustible para calefacción y agua caliente sanitaria. Estos valores de demanda y consumo son vitales para el estudio y desarrollo de las medidas a instalar, debido a que permiten estimar el ahorro de energía y económico que se puede lograr.

- Análisis técnico de medidas de ahorro y eficiencia energética. En este apartado, se proponen algunas de las medidas disponibles en el mercado para mejorar el comportamiento energético del inmueble. Estas medidas deben ser elegidas según un criterio que permite normalizarlas para su comparación: el ahorro energético producido y la facilidad de instalación. Para ello, se realiza una explicación de la tecnología y su funcionamiento, clasificándolas en medidas que afectan a la demanda energética de la vivienda y medidas que se aplican sólo al abastecimiento de energía. Una vez detalladas estas medidas, se analiza el ahorro que pueden lograr cada una de estas medidas en la vivienda y cuál es la dificultad de instalación. Con estos dos parámetros, se realiza una clasificación de cada una de ellas para establecer qué alternativas deben ser instaladas y cuál es su prioridad.
- Análisis económico-financiero de medidas de ahorro y eficiencia energética. Tras haber seleccionado los candidatos a instalación del análisis técnico, se valora económica y financieramente la viabilidad de estas propuestas. Primero, se debe definir los costes de adquisición e instalación de cada una de las medidas candidatas. Una vez calculados estos costes, se puede determinar cuál es la inversión inicial necesaria para llevar a cabo el proyecto de rehabilitación energética. Se debe estudiar, además, qué subvenciones o ayudas están disponibles para este tipo de proyectos, de cara a reducir los costes iniciales de las medidas. Para poder realizar un análisis financiero, se debe establecer unos indicadores que permitan estudiar y valorar financieramente cada una de las propuestas. Con el análisis financiero es posible conocer los flujos de caja de las medidas, con los ahorros económicos esperados y su coste anual, y, junto con un estudio de las distintas alternativas de financiación y sus modificaciones a estos flujos de caja, se realiza una nueva selección de candidatos a partir de los indicadores, revisando así la selección inicial del apartado técnico y estableciendo qué medidas deben ser instaladas finalmente en el proyecto.
- Resultados y conclusiones. Para el cierre del proyecto, se realiza un breve resumen del análisis expuesto en la memoria con los resultados obtenidos, así como una breve discusión acerca de las posibles actuaciones futuras en el inmueble.

A continuación, se muestra en la Figura 2 un cronograma orientativo con los plazos asignados a las distintas tareas previstas.

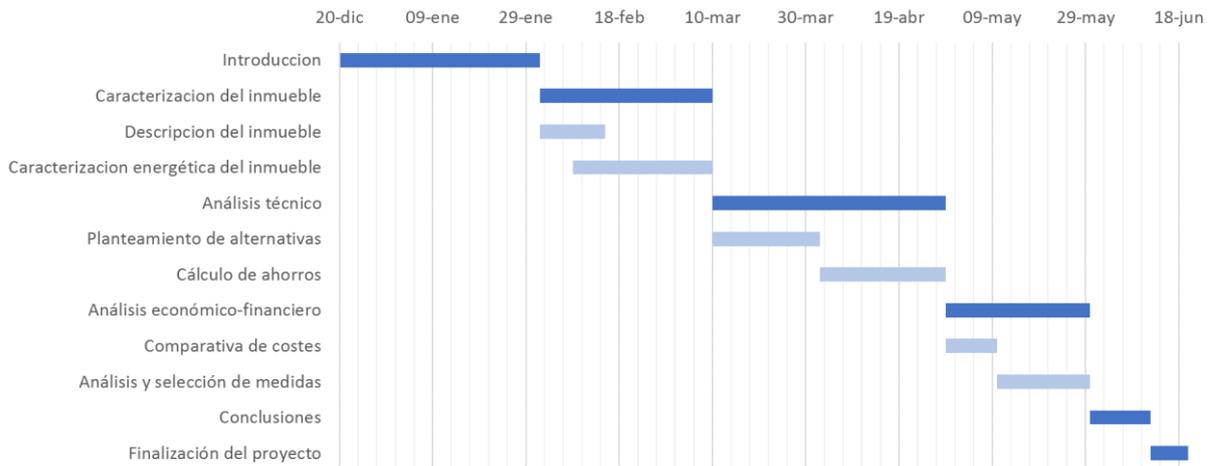


Figura 2. Diagrama Gantt del proyecto.

### 1.5. RECURSOS A EMPLEAR

El proyecto se realizará utilizando los siguientes recursos:

- Internet. Se hará uso del buscador de artículos (IEEE Xplore) y los permisos de acceso a publicaciones de distintas bibliotecas online proporcionado por la Universidad Pontificia de Comillas.
- Microsoft Office Excel. Alojará los parámetros energéticos y financieros del proyecto y permitirá realizar los cálculos pertinentes y desarrollar el análisis de sus resultados de salida.

## 2. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL INMUEBLE

El análisis de eficiencia energética del inmueble comienza por la caracterización del propio inmueble. Esta caracterización tiene como objetivo conocer las distintas características constructivas del inmueble, teniendo en cuenta su localización, tipo de construcción o clima, así como una caracterización energética que permita conocer el gasto del inmueble tanto eléctrico como térmico. La importancia de este ejercicio reside en el condicionamiento de esta caracterización para las medidas que se estudian más adelante. Características como el emplazamiento geográfico determinan las horas de luz solar que recibe la propiedad, la temperatura media del ambiente y por, consiguiente, la climatización e iluminación necesaria. Asimismo, las horas de luz solar también son un factor clave para la posible instalación de paneles fotovoltaicos en el tejado del inmueble.

### 2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL INMUEBLE

El inmueble objeto de estudio es una vivienda unifamiliar en forma de chalé adosado de construcción en 1986. El chalé tiene 280 m<sup>2</sup> construidos, con 250 m<sup>2</sup> útiles. Tiene 3 plantas, con 3 habitaciones, 4 aseos, sótano y terraza. Por su carácter adosado, es colindante con otras dos viviendas habitadas y climatizadas, que limitan la transferencia de calor a las fachadas posterior y anterior, el tejado y los diferentes forjados.

Las fachadas se encuentran orientadas al norte y al sur. Sin embargo, para la consideración de la orientación de la vivienda se utiliza como condición el número de horas de rayos solares a lo largo del año. De esta forma, la fachada que más horas de luz recibe es la fachada sur, por lo que ésta será la orientación del inmueble para los cálculos.

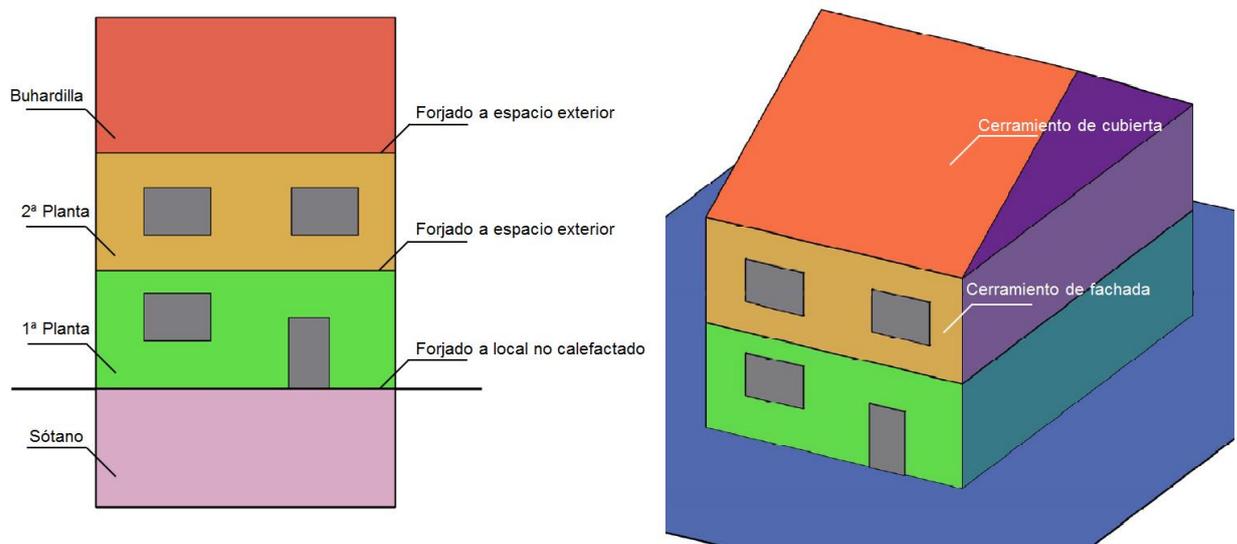


Ilustración 1. Vista frontal y en perspectiva de la vivienda.

### 2.1.1. CLIMA DE LA ZONA

El inmueble está localizado en la periferia de Madrid, en la zona noroeste de la Comunidad de Madrid. Esta comunidad presenta distintos climas en función de la zona en la que nos situemos, con diferencias entre la capital, la Sierra Oeste, la Sierra de Guadarrama o la zona sur de la Comunidad. La mayoría del territorio está sometido a climas de tipo mediterráneo, mientras que en la zona noroeste (Ilustración 2), por su proximidad a la sierra de Guadarrama, se tiene un clima más continental. Este clima se caracteriza por inviernos fríos y veranos secos y con temperaturas ligeramente más frescas, con un marcado contraste térmico.

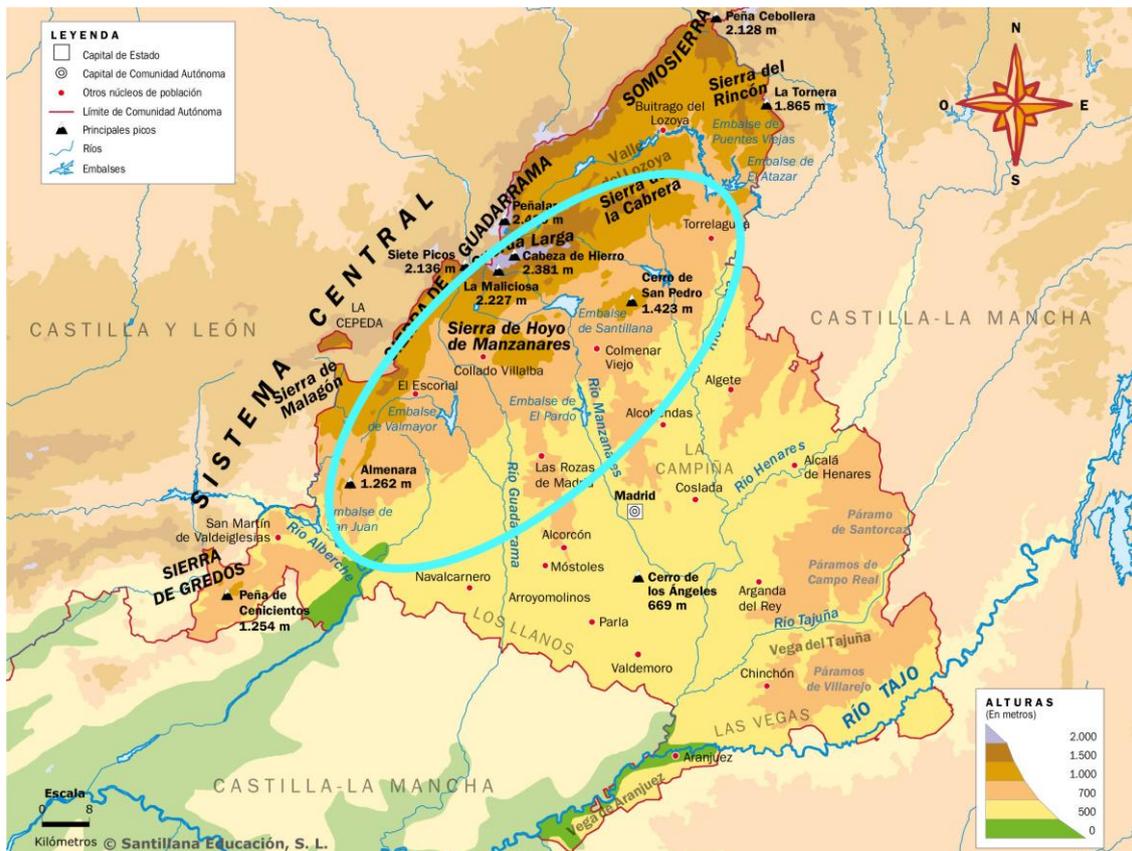


Ilustración 2. Zona noroeste de la Comunidad de Madrid.

Las temperaturas en la zona donde se encuentra el inmueble son frías en invierno, con unos pocos días de heladas en los meses de diciembre y enero, pero con una temperatura que se mantiene casi siempre por encima de los 0°C. La primavera y el otoño presentan temperaturas suaves, y se caracterizan por ser meses lluviosos, mientras que en verano la temperatura asciende hasta alcanzar los 35-36°C, valores ligeramente inferiores a los de la capital. En cuanto a las precipitaciones, la gran mayoría se concentra en los meses de primavera y otoño, y también en algunos meses de invierno. El verano, por su parte, es seco y apenas tiene precipitaciones. Por otra parte, no se suelen producir nevadas intensas en esta zona debido a que la altura a la que se encuentra es de unos 700 metros sobre el nivel del mar, y pese a su proximidad a la sierra, no recibe grandes nevadas. Todos los datos climáticos han sido extraídos de la

web *Meteoblue*. En la Figura 3 se muestra un gráfico con las temperaturas y precipitaciones recogidas para la zona en la que se encuentra el inmueble en el año 2018.

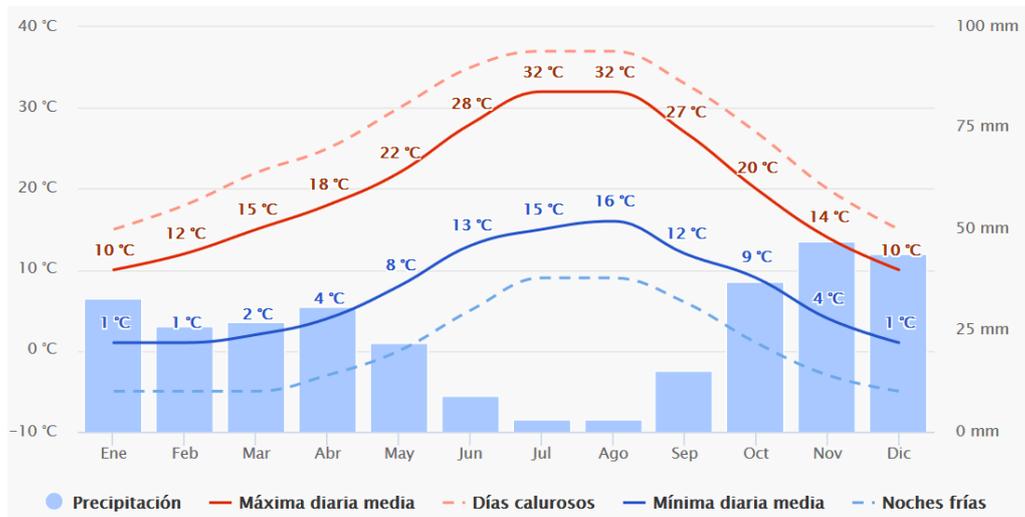


Figura 3. Temperaturas y precipitación de la localización del inmueble. Fuente: *Meteoblue*.

### 2.1.2. DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

El Código Técnico de la Edificación define en el Documento Básico que se corresponde con el Ahorro de Energía la función de la envolvente térmica como un elemento para limitar la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico que se desee, dadas unas características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar. Estos valores dependen de la zona climática y pertenecen a unos rangos aceptables. De esta forma, la envolvente térmica debe ser capaz de limitar las transferencias térmicas entre espacios de un inmueble para evitar grandes diferencias de confort térmico entre ellos.

Para definir la envolvente térmica de la construcción, se estudia el comportamiento energético de los cerramientos opacos, como muros, suelos y cubiertas; huecos, como vidrios y marcos; y los puentes térmicos. El comportamiento energético de cada uno de ellos depende de sus características geométricas, composición, propiedades características, como espesor, densidad, conductividad o calor específico, objetos que proyectan sombra sobre los cerramientos opacos, y permeabilidad, factor solar y absorptividad de vidrios y marcos.

Según el CTE, las zonas opacas de muros, cubiertas y suelos que formen parte de la envolvente térmica del edificio no deben superar unos valores de transmitancia térmica, para limitar descompensaciones en edificios. Estos valores dependen de la zona climática de invierno donde se encuentre el inmueble, distinguiendo distintas zonas en el mapa de España en función de la diferencia de altura que exista entre dicha localidad y la altura de referencia de la capital de su provincia. En este caso, al estar situado en la

provincia de Madrid, el inmueble es considerado de zona D3 ([20], *Tabla D.1, Apéndice D*).

Los cálculos de los parámetros característicos de los diferentes elementos que componen la envolvente térmica del inmueble se realizan a partir de los métodos simplificados detallados en el documento de apoyo [21]. Con estos procedimientos se calcula la transmitancia térmica en cerramientos. El CTE hace una distinción en el cálculo de la resistencia térmica entre cerramientos en contacto con el aire exterior y cerramientos en contacto con el terreno. Sin embargo, con el fin de simplificar el cálculo, se ha considerado que todos los cerramientos del inmueble están en contacto con el aire exterior.

La transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

siendo  $R_T$  la resistencia térmica total del componente constructivo. Esta resistencia térmica total se calcula como la suma de las resistencias térmicas de cada capa térmicamente homogénea y las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

La resistencia térmica de una capa homogénea viene definida por la expresión:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

siendo  $e$  el espesor de la capa en metros y  $\lambda$  la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, en  $W/m \cdot K$ . En el inmueble propuesto, se estudian los espesores y materiales de los cerramientos para obtener la resistencia térmica de la envolvente térmica y poder calcular un coeficiente de transmitancia térmica.

Los cerramientos de fachada del inmueble están compuestos de 11,5 cm de ladrillo macizo, seguido de un enfoscado de cemento de 1,5 cm, una cámara de aire de 2 cm, un aislamiento de poliuretano expandido en cámara de 4 cm de espesor, 4,5 cm de ladrillo hueco y 1,5 cm de guarnecido de yeso negro maestreado, sumando un total de 25 cm de espesor de pared.

El cerramiento en sótano se compone de 1,5 cm de guarnecido de yeso negro maestreado, 4,5 cm de tabique hueco sencillo, un aislamiento de poliuretano expandido de 2 cm de espesor, un muro de hormigón armado de 25 cm, 0,5 cm de tela impermeable y 1,5 cm de enfoscado de cemento.

El cerramiento a local no calefactado (garaje y trastero) lo compone 3 cm de guarnecido de yeso con perlita y 11.5 cm de ladrillo hueco doble.

Por su parte, la cubierta del inmueble está compuesta de 1,5 cm de guarnecido de yeso negro maestreado, 46 cm de forjado cerámico, 12 cm de aislamiento de fibra de vidrio en cámara, una cámara de aire de 2 cm y una cubierta de teja de tipo mediterráneo.

Los suelos de la vivienda son de dos tipos: a espacio exterior, localizado en la primera y la segunda planta y a local no calefactado, localizado en la planta baja, que da al sótano. De esta forma, el forjado a espacio exterior tiene 1 cm de moqueta, 2 cm de solera de cemento, 2 cm de aislamiento de poliuretano expandido, 23 cm de forjado cerámico, una cámara de aire de 4 cm de espesor y un empanelado de madera de 1.5 cm.

El forjado a local no calefactado está compuesto por 2 cm de tarima sobre rastreles, 2 cm de aislamiento de poliuretano expandido, 23 cm de forjado cerámico y 1.5 cm de guarnecido de yeso negro maestreado.

Los coeficientes de conductividad térmica de los cerramientos se recogen en las siguientes tablas.

FACHADA			
Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia (m <sup>2</sup> ·K/W)
Ladrillo macizo	11.5	0.65	0.177
Enfoscado	1.5	1.2	0.013
Cámara de aire	2	-	0.190
Aislamiento	4	0.029	1.379
Ladrillo hueco	4.5	0.42	0.107
Yeso	1.5	0.26	0.058
Resistencia Térmica Superficial	-	-	0.2
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>	<b>2.559</b>	<b>2.124</b>

Tabla 1. Coeficientes de conductividad térmica en fachada.

CUBIERTA			
Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia (m <sup>2</sup> ·K/W)
Yeso	1.5	0.26	0.058
Forjado cerámico	23	0.657	0.350
Aislamiento fibra de vidrio	12	0.032	3.750
Cámara de aire	2	-	0.190
Forjado cerámico	23	0.657	0.350
Cubierta de teja	-	-	-
Resistencia Térmica Superficial	-	-	0.17
<b>TOTAL</b>	<b>61.5</b>	<b>1.606</b>	<b>4.868</b>

Tabla 2. Coeficientes de conductividad térmica en cubierta.

## SÓTANO

Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia (m <sup>2</sup> ·K/W)
Yeso	1.5	0.26	0.058
Tabique hueco sencillo	4.5	0.42	0.107
Aislamiento	2	0.029	0.690
Muro hormigón armado	25	1.4	0.179
Tela impermeable	0.5	0.16	0.031
Enfoscado de cemento	1.5	1.2	0.013
Resistencia Térmica Superficial	-	-	0.13
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>	<b>3.469</b>	<b>1.207</b>

Tabla 3. Coeficientes de conductividad térmica en sótano.

A LOCAL NO CALEFACTADO			
Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia (m <sup>2</sup> ·K/W)
Yeso + perlita	1.5	0.16	0.094
Ladrillo hueco doble	11.5	0.42	0.274
Yeso + perlita	1.5	0.16	0.094
Resistencia Térmica Superficial	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>14.5</b>	<b>0.74</b>	<b>0.461</b>

Tabla 4. Coeficientes de conductividad térmica en cerramiento a local no calefactado.

FORJADO A LOCAL NO CALEFACTADO			
Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia (m <sup>2</sup> ·K/W)
Tarima sobre rastreles	2	0.12	0.167
Aislamiento entre rastreles	2	0.029	0.690
Forjado cerámico	23	0.657	0.350
Yeso	1.5	0.26	0.058
Resistencia Térmica Superficial	-	-	0.4
<b>TOTAL</b>	<b>28.5</b>	<b>1.066</b>	<b>1.664</b>

Tabla 5. Coeficientes de conductividad térmica en forjado a local no calefactado.

FORJADO A ESPACIO EXTERIOR			
Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia (m <sup>2</sup> ·K/W)
Moqueta	1	0.04	0.250
Solera de cemento	2	1.1	0.018
Aislamiento	2	0.029	0.690
Forjado cerámico	23	0.657	0.350
Cámara de aire	4	-	0.240
Empanelado de madera	1.5	0.12	0.125
Resistencia Térmica Superficial	-	-	0.26
<b>TOTAL</b>	<b>33.5</b>	<b>1.946</b>	<b>1.933</b>

Tabla 6. Coeficientes de conductividad térmica en forjado a espacio exterior.

Los valores de transmitancia térmica calculados se recogen en la Tabla 7.

TRANSMITANCIA TÉRMICA (W/m <sup>2</sup> ·K)	
Fachada	0.47
Cubierta	0.21
Sótano	0.83
A local no calefactado	2.17
Forjado a local no calefactado	0.60
Forjado a espacio exterior	0.52

Tabla 7. Resumen de transmitancias térmicas.

## 2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA

La caracterización energética del inmueble se divide en dos apartados, uno referente a la demanda eléctrica y otro dedicado a la demanda térmico de energía.

### 2.2.1. DEMANDA ELÉCTRICA

Para la caracterización eléctrica del inmueble es necesario conocer el equipamiento del inmueble, esto es, qué electrodomésticos se encuentran instalados y su potencia, el número de luminarias, número de equipos de aire acondicionado y tipo y otro tipo de dispositivos de gran consumo de electricidad.

Los electrodomésticos de la casa que se han considerado son el frigorífico, el lavavajillas, la vitrocerámica, el horno, la campana extractora, la lavadora y la televisión. La potencia agregada de estas demandas suma un total de 7322 W, y representa la mayor demanda del inmueble con un 61% del total.

Para el apartado de la iluminación, se realizó una sustitución de algunas luminarias por otras de tipo LED, por lo que, de 39 luminarias en el inmueble, 12 son de tipo LED con una potencia media de 8 W, mientras que el resto son de tipo halógeno, sumando un total de 1541 W.

La climatización del inmueble se realiza de dos maneras: con equipos de aire acondicionado y con una caldera de gasóleo. Como la calefacción en el período de invierno la produce mayoritariamente la caldera, sólo se ha considerado los equipos de aire acondicionado para refrigeración en verano, aunque tienen capacidad de calefacción también. En este caso, el inmueble cuenta con tres equipos de 585 W, 735W y 1310 W, que suman un total de 2630 W.

Por último, se han considerado otros dos consumos que también se producen en paralelo a los anteriormente mencionados. Uno de ellos se trata de una puerta de garaje motorizada, cuya potencia es de 200 W. El otro es un ordenador de sobremesa que demanda una potencia de 400 W.

El reparto de la demanda eléctrica del inmueble se muestra en la Figura 4. Para obtener la contribución a la demanda eléctrica anual de cada equipo, se ha estimado las horas de funcionamiento de cada uno de ellos, así como el número de días que se utiliza al

año. Los electrodomésticos como el frigorífico o la vitrocerámica son los que mayor número de horas de funcionamiento tienen al año, por lo que su contribución a la demanda eléctrica es elevada. La campana extractora, el horno o el lavavajillas son electrodomésticos de uso ocasional o de poco tiempo, por lo que no demandan una gran potencia a lo largo del año. Otros dispositivos como los de iluminación tienen un factor de utilización que reduce la potencia demandada debido a que se ha considerado que no se conectan todas las luminarias de la vivienda de forma simultánea, sino que aproximadamente, un 10% de ellas está en funcionamiento. El aire acondicionado también tiene un factor de utilización de un 40%, ya que la potencia considerada para el estudio es la nominal, pero en la realidad la potencia demandada por el equipo depende fuertemente de las condiciones de temperatura de la estancia y la temperatura deseada.

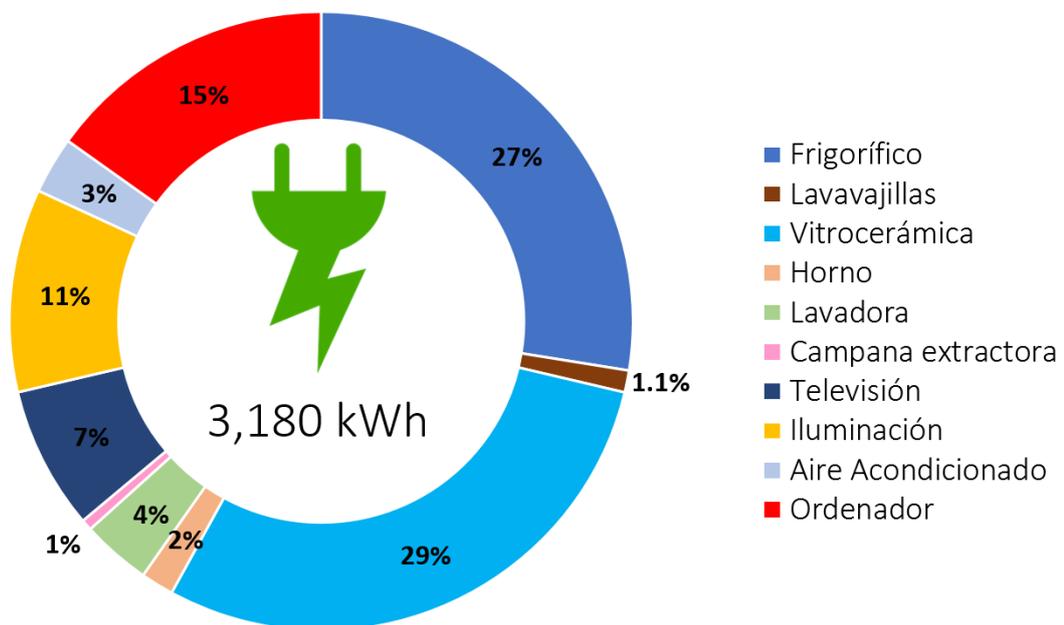


Figura 4. Reparto de demanda eléctrica del inmueble.

### 2.2.2. DEMANDA TÉRMICA

La caracterización térmica del inmueble está relacionada con los sistemas de climatización de la propiedad y las necesidades térmicas que tiene, tanto de frío como de calor. En este sentido, el primer paso para la caracterización consiste en explicar qué sistema de calefacción se encuentra instalado.

El sistema adoptado para la calefacción es el individual bitubo con circulación forzada. La caldera es un grupo térmico mixto de la marca Ferroli que es productor de agua caliente sanitaria y de calefacción con una potencia nominal de 27.33 kW y con un rendimiento de la caldera del 85%, siendo la potencia útil de 23.26 kW, que utiliza gasóleo como combustible. Lleva incorporado quemador, vaso de expansión, bomba de circulación de caudal regulable, válvula mezcladora de tres días y depósito de agua

caliente de 150 litros. Para su regulación y control estos grupos van equipados con mando electrónico compuesto de doble termostato, programación con reloj y termómetro ambiente. Para la calefacción de las zonas se disponen unos radiadores de chapa de acero con purgador.

La refrigeración del inmueble se realiza por medio de 3 equipos de aire acondicionado situados en las habitaciones y el salón. Estos equipos son bombas de calor reversible con una potencia de 585 W, 735W y 1310 W respectivamente.

Las necesidades caloríficas de las distintas zonas del inmueble se han calculado de manera aproximada según la superficie de éstas, la orientación del inmueble, la zona climática en la que se encuentra situado y el nivel de aislamiento existente. En función de estas características, y como la altura de todas las estancias de la vivienda es menor de 2.5 m, se obtienen unos coeficientes que, multiplicados a la superficie a calentar y considerando un requisito mínimo de 85 W/m<sup>2</sup>, tiene como resultado el requerimiento calorífico de cada espacio.

ZONA CLIMÁTICA		ORIENTACIÓN		AISLAMIENTO	
A	0.88	Norte	1.12	Bueno	0.93
B	0.95	Sur	<b>0.92</b>	Sencillo	<b>1</b>
C	1.04	Este	1	Sin Aislamiento	1.1
D	<b>1.12</b>	Oeste	1		
E	1.19				

*Tabla 8. Coeficientes de cálculo calorífico.*

En la Tabla 8 se muestran en negrita los coeficientes empleados para el cálculo de los requisitos caloríficos. La zona climática se corresponde con la distinción que realiza el CTE en el DB H1, en el que divide el país en diferentes zonas climáticas mediante una letra en la división de invierno y un número en verano; en el caso del inmueble a estudiar está en zona D. La orientación del inmueble depende de la posición de sus fachadas con respecto a los rayos solares; la fachada que más horas de sol recibe al año es la fachada orientada al sur por lo que ésta será la orientación considerada. Por último, el nivel aislamiento viene determinado por una serie de características que se resumen en tres tipos: buen aislamiento, con ventanal doble y tabique doble; aislamiento sencillo, con ventanal sencillo y tabique doble o ventanal doble y tabique sencillo; y sin aislamiento, con ventanal sencillo y tabique sencillo. Como se ha descrito en el punto 2.1.2, la vivienda se corresponde con un nivel de aislamiento sencillo.

La Tabla 9 recoge los resultados del cálculo realizado. Las estancias de mayor superficie necesitan una mayor potencia de calefacción para alcanzar las condiciones de confort térmico, que el CTE sitúa en 18-22°C. La potencia calorífica total necesaria en las estancias habitables es de 13.22 kW, por lo que la caldera instalada es capaz de cumplir con este requisito adecuadamente.

ZONA	SUPERFICIE (m2)	REQUISITO (W)
Cocina	8.28	725
Sala de estar	23.6	2,067
Aseo Invitados	2.72	238
Pasillo Entrada	7.48	655
Dormitorio 1	10.24	897
Dormitorio 2	7.83	686
Dormitorio 3	18.12	1,587
Aseo Dormitorio 3	6.51	570
Aseo Distribuidor	3.68	322
Buhardilla	62.5	5,474
<b>TOTAL</b>		<b>13,222</b>

Tabla 9. Requisito calorífico de las estancias.

Otro factor fundamental de la demanda térmica de la vivienda es el agua caliente sanitaria (ACS). El ACS es el agua calentada potable que se destina al consumo de las personas, entre los que se incluye sanitarios y usos de limpieza. Debido a la propia naturaleza de esta agua, la demanda de ACS en una vivienda depende de las costumbres de sus propietarios, su estilo de vida y la instalación de agua del inmueble. Para facilitar el cálculo, se ha optado por utilizar el valor de referencia indicado en el CTE DB-HE-4, tabla 4.2., en el que se establece que las necesidades de ACS en una vivienda serán de 28 litros al día, por lo que, en nuestro caso, dos personas conforman una demanda de 56 litros al día, o 20,440 litros al año.

La Figura 5 muestra un resumen de la demanda térmica anual anteriormente estimada.

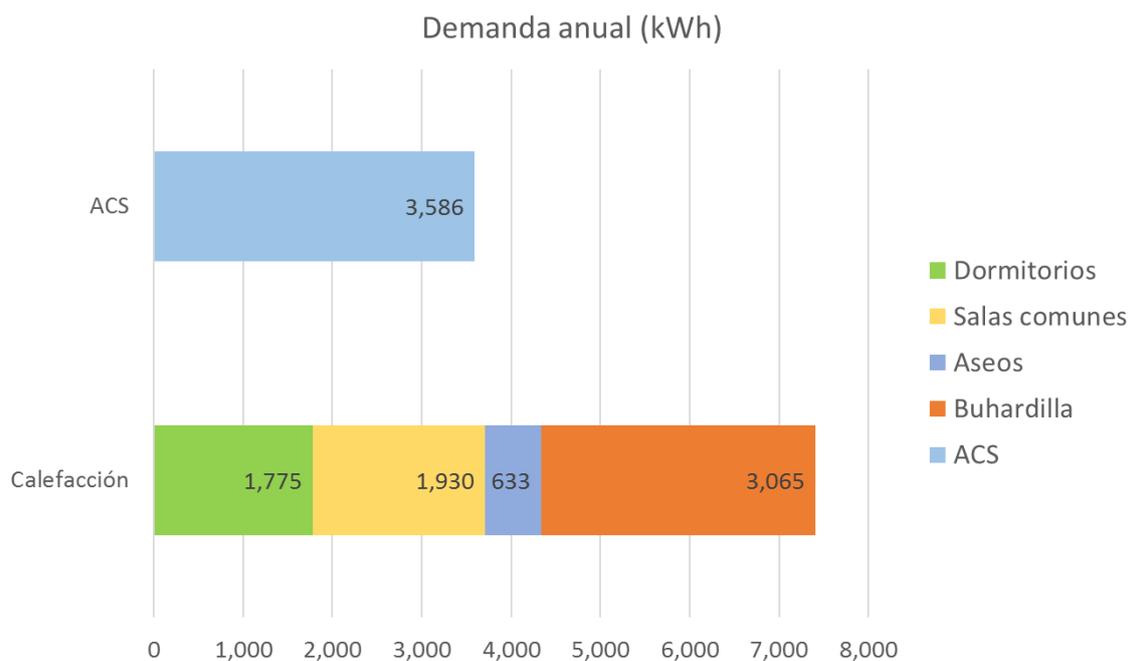


Figura 5. Resumen de la demanda térmica anual.

## 2.3. CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO

### 2.3.1. CONSUMO ELÉCTRICO

Otra parte importante de la caracterización eléctrica del inmueble es el gasto que tiene durante el año, tanto en kWh como en euros. Se ha recogido el consumo eléctrico y el precio final de la factura a lo largo del año 2018 en la Figura 6. En esta figura se ha representado con barras amarillas el gasto eléctrico mensual medido en potencia consumida y en la línea roja el precio final de la factura eléctrica, tras aplicar las correspondientes tarifas asociadas al peaje de acceso a la potencia, la comercialización, el impuesto sobre la electricidad, el alquiler de los equipos de medida y el coste de la propia energía consumida.

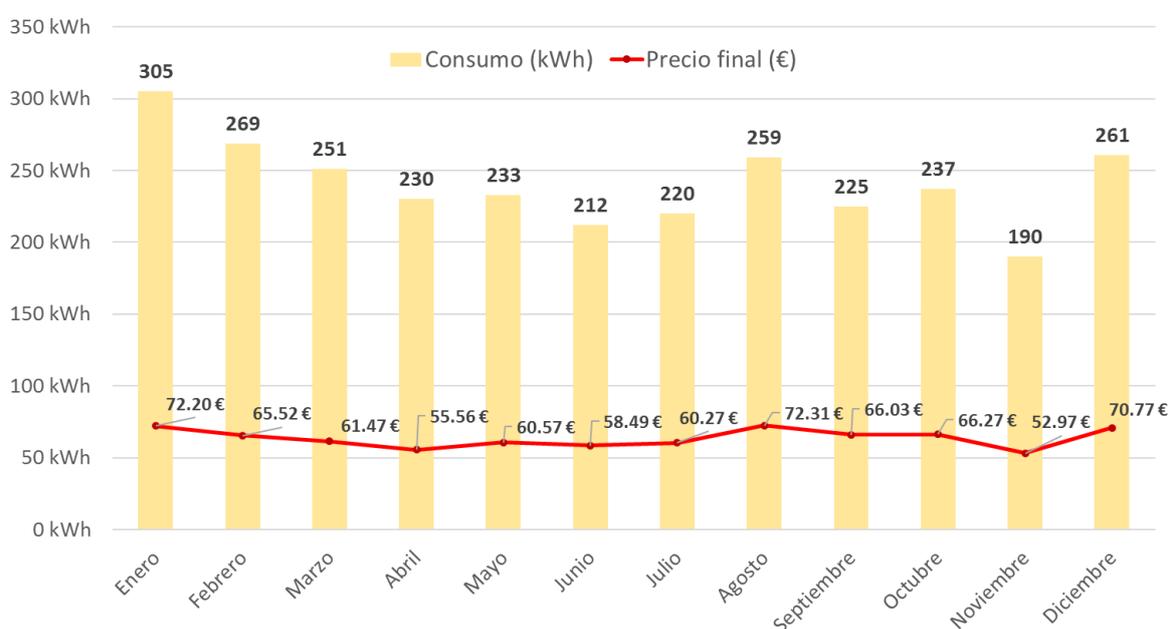


Figura 6. Consumo eléctrico y precio final de la electricidad, 2018.

El consumo eléctrico que se produce a lo largo del año está muy relacionado con la caracterización de la demanda eléctrica realizada en el apartado 2.2.1. Este consumo depende de las horas de funcionamiento de los equipos y su potencia nominal, y en general, no tiene grandes variaciones debido a que el rendimiento eléctrico de los electrodomésticos y demás dispositivos es muy elevado, por lo que las pérdidas que se producen por efecto joule o por conversión AC-DC son prácticamente despreciables. El desajuste que se produce entre el consumo y la demanda prevista se debe a alteraciones de las condiciones de funcionamiento estimadas, bien porque las horas de funcionamiento reales no coinciden con las estimadas o porque la potencia consumida de ciertos equipos no ha sido la esperada, lo que provoca que el consumo eléctrico real del inmueble sea ligeramente inferior al estimado.

### 2.3.2. CONSUMO TÉRMICO

El consumo de gasoil y el precio de éste se muestra en la Figura 7. En barras azules se ha representado el consumo de gasóleo en litros, medido en pasos a final de cada mes, mientras que la línea roja representa el precio final de la factura, calculado como el consumo de combustible multiplicado por el precio en cada mes.

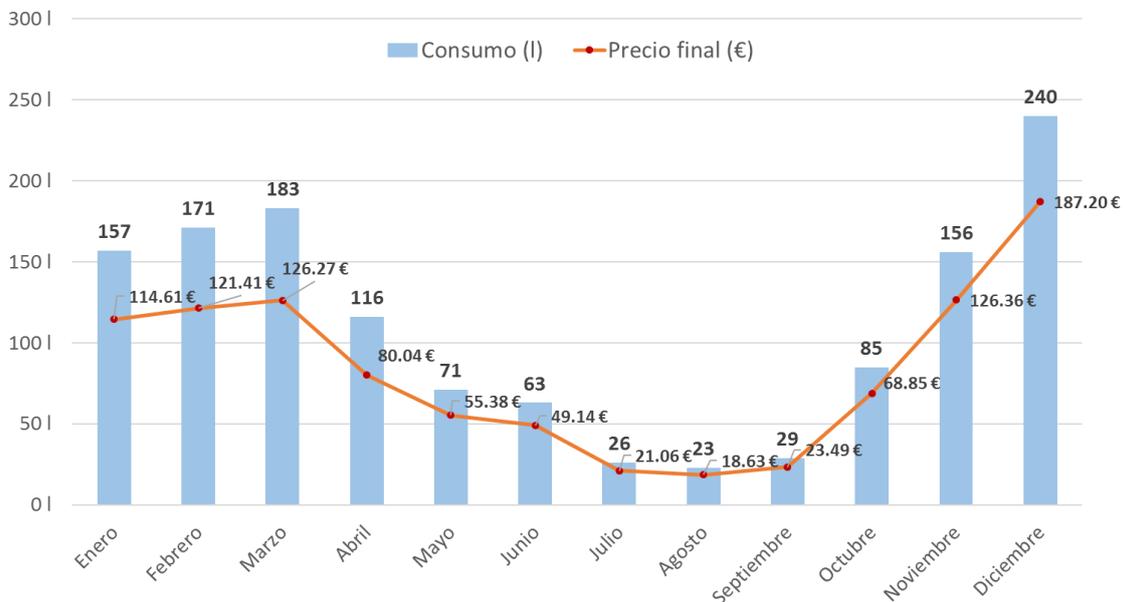


Figura 7. Consumo de combustible y precio final, 2018.

La cantidad de energía demandada y el gasto final en 2018 se muestran en la Figura 8. La potencia térmica equivalente del gasóleo consumido se calcula haciendo uso de la tabla de conversión de energía del IDAE [22]. Conocido que una *tonelada equivalente de petróleo (tep)* corresponde con 1,150 litros de gasóleo, y que tiene una potencia de 13,020 kWh/tep, se puede calcular el consumo térmico de la vivienda en kWh.

En esta figura se observa que la demanda eléctrica es muy similar, debido a los altos rendimientos de los equipos eléctricos y las escasas pérdidas que se producen, siendo la diferencia entre la demanda y el consumo real producido muy pequeña, provocada por ligeras desviaciones en las horas de funcionamiento estimadas comparadas con las obtenidas en 2018. Sin embargo, la demanda térmica, tanto de ACS como de calefacción, es bastante diferente. Este hecho se debe al rendimiento de la caldera, que es de un 85%, y de los elementos radiadores instalados, por lo que se consume una mayor cantidad de combustible para poder satisfacer las necesidades térmicas de la vivienda, así como las numerosas pérdidas que se producen a lo largo de toda la envolvente térmica, bien por fachadas y cerramientos, como en ventanas, marcos y cubierta. Por otra parte, en cuanto al gasto económico que se produce anualmente, el gasto térmico es equiparable al eléctrico, siendo de un 45% y 55% respectivamente. Como se estudiará más adelante, un cambio de tarifa podría contribuir a reducir el gasto térmico y/o eléctrico reduciendo la parte correspondiente al consumo de energía.

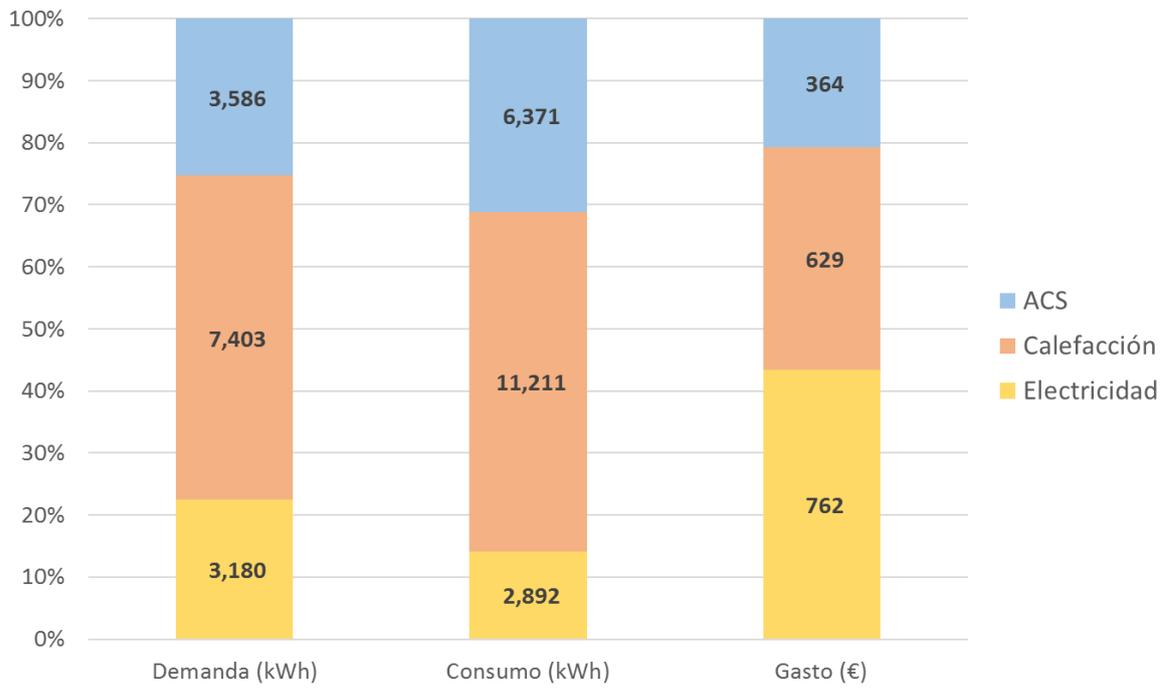


Figura 8. Consumo y gasto anual de la vivienda.



### 3. ANÁLISIS TÉCNICO DE MEDIDAS DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

Tras caracterizar energéticamente el inmueble, es conocida la energía que consume dicho inmueble durante un año, tanto en forma de electricidad con iluminación, electrodomésticos o climatización, como en forma de gasóleo en su calefacción.

El objetivo de este proyecto consiste en reducir la demanda energética del inmueble, o mejorar su rendimiento. Generalmente, los dispositivos y equipos que se emplean en una vivienda suelen tener un aprovechamiento energético elevado, por lo que las mejoras que se producen al cambiar los equipos por unos de una mayor calificación energética no resultan una medida suficiente, siempre y cuando estos equipos no estén obsoletos debido a su gran antigüedad. Este capítulo se centra en la reducción del consumo de energía del inmueble mediante diversos sistemas que pueden ser instalados con mayor o menor complejidad y que producen un impacto significativo en el consumo final de energía.

Estas medidas aplicadas pueden ser de dos tipos: *demand-side* o del lado de la demanda y *supply-side* o del lado del abastecimiento o generación.

Las medidas de tipo *demand-side* son aquellas que se centran en reducir el pico de demanda de los equipos para alcanzar un menor consumo. Este tipo de medidas se clasifica en dos categorías: programas de reducción de energía, en los que se aplican unos procesos que permiten reducir la demanda eléctrica de los equipos; y programas de gestión de la carga, que modifican el patrón de carga del edificio, esto es, cuándo se producen los distintos consumos, para reducir la demanda en las horas de punta.

Por su parte, las medidas de tipo *supply-side* están orientadas a mejorar la eficiencia de la generación, transmisión y distribución. Debido a que el objeto de estudio es una vivienda privada, sólo se tendrán en cuenta aquellas medidas que afecten a la generación de energía y a los canales de distribución. Son acciones de este tipo la búsqueda de nuevas formas de abastecimiento y utilización de recursos energéticos, como nuevas tecnologías de carbón limpio o combustibles menos contaminantes; cambios en la generación y conversión de energía, con mejoras en la operación de los equipos y procesos e instalación de generación distribuida; y mejoras en la transmisión y distribución de electricidad, mediante la sustitución de la infraestructura o modificaciones en la forma de operación para reducir las pérdidas energéticas.

#### 3.1. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS Y MEJORAS DE EFICIENCIA TIPO DEMAND-SIDE

Los cambios en la demanda energética que se producen en el lado de la demanda plantean numerosos beneficios, como la reducción del consumo energético, la modificación de la curva de demanda y un menor precio en la factura final. Sin embargo, estas medidas no sólo aportan mejoras en el lado del consumidor, sino que también

favorecen al sistema eléctrico en cuanto a que aportan flexibilidad de la demanda, lo que permite hacerla más manejable y predecible, siendo capaz de utilizar el precio de la electricidad como una señal para mover la franja del día en la que se producen los consumos.

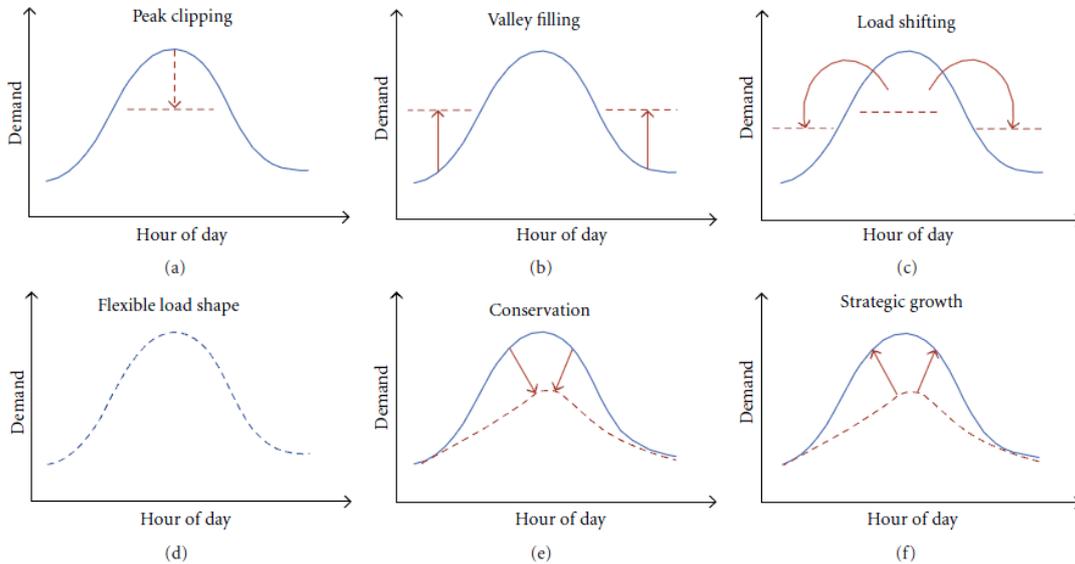


Ilustración 3. Tipos de flexibilidad en la demanda. Fuente: [23]

Actualmente, las medidas disponibles en el tipo *demand-side* son las más expandidas dentro del ámbito de la eficiencia energética. Existen numerosos dispositivos que se pueden instalar, cambios que realizar en equipos y nuevas políticas que las apoyan e incentivan. Por este motivo, el estudio se hará identificando las características generales de cada una de las propuestas, seleccionando qué parámetros son de mayor interés de cara a una valoración técnica en el apartado 3.3.

### 3.1.1. CONTADORES INTELIGENTES

Los contadores inteligentes o *smart meters* son unos contadores de teledatada y telegestión que miden de forma remota el consumo de energía realizado cada hora en la instalación eléctrica. Entre sus características principales destaca que permiten al usuario monitorizar su consumo y en qué horas se produce en tiempo real a través de la página web de su distribuidora o de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC).



Ilustración 4. Contador inteligente de la marca PRIME.

Estos contadores además hacen uso de la infraestructura de comunicación disponible, bien utilizando el cableado de cobre de la instalación, sistema PLC, o sin cables, *wireless*, utilizando la red móvil, el sistema *Wi-Fi*, redes *ad hoc* u otros sistemas como *Zigbee* o *Wi-SUN*. Esta comunicación es dual entre la compañía distribuidora y el propio dispositivo. Gracias a estos sistemas, los contadores incorporan discriminación horaria en los precios, siendo capaces de comunicar al consumidor el precio de cada hora según la tarifa contratada.

En España, la adopción de contadores inteligentes por parte de los usuarios ha sido forzada a través del BOE-A-2007-22458. En este documento [24] se recogen las leyes que regulan el apartado de las tarifas eléctricas que ofrecen actualmente las compañías distribuidoras. Desde 2008, el BOE recoge en su disposición que se debe realizar una sustitución progresiva de los contadores analógicos por contadores electrónicos, siendo el 31 de diciembre de 2018 la fecha límite para finalizar esta sustitución. De esta manera, aunque la instalación de un contador electrónico ya no sea una opción para el consumidor, puesto que se ha alcanzado prácticamente el 100% de usuarios, es necesario mencionarlo debido a que en esta tecnología se apoyan otros tipos de medidas que se pueden aplicar para mejorar la eficiencia energética del inmueble.

### 3.1.2. INSTALACIÓN DE DOMÓTICA

Uno de los objetivos de las medidas que afectan al lado de la demanda es un mayor control de su consumo. Para poder realizar este control, las casas domóticas o automatizadas disfrutaban de una ventaja inherente en su diseño ya que están planteadas con este objetivo desde su concepción. Sin embargo, este tipo de viviendas no están aún generalizadas, debido al elevado precio de éstas y la escasa comunicación entre equipos de distintos fabricantes, que plantea problemas de eficiencia en su operación. En la actualidad, las viviendas domóticas suponen un 6.7% del parque inmobiliario, según [25], por lo que la gran mayoría de viviendas en España resulta “analógicas”.

El control de los equipos de las viviendas que no presentan automatización se puede lograr a partir de unos dispositivos que se instalan entre las tomas de fuerza del inmueble y las tomas de los propios equipos. Estos dispositivos se sincronizan con una unidad central, desde la cual se puede controlar el encendido y apagado de los equipos, la potencia suministrada e incluso programar su actividad.

Las características principales de estos dispositivos son:

- *Son universales.* Permiten conectar cualquier tipo de equipo y presentan compatibilidad con cualquier toma normalizada.
- *Ofrecen control remoto.* Se pueden sincronizar con otros controladores para poder controlarlos, o bien pueden vincularse a una estación central que gestiona todos los dispositivos que tenga conectados y realizar así el control por medio de un teléfono móvil.
- *Control por sensores.* Tienen la capacidad de conectarse a sensores existentes en la vivienda, como un detector de presencia o un sensor fotosensible, para optimizar el control.
- *Control del voltaje.* Algunos de estos dispositivos ofrecen un control del voltaje de la toma de forma que se puede reducir el pico de energía que se produce en algunos equipos durante su arranque, así como graduar el brillo de las lámparas LED compatibles con este tipo de control.
- *Personalización.* La unidad central ofrece un alto grado de personalización al poder controlar independientemente cada dispositivo y permite guardar distintas configuraciones predeterminadas por el usuario para poder intercambiar según se desee.

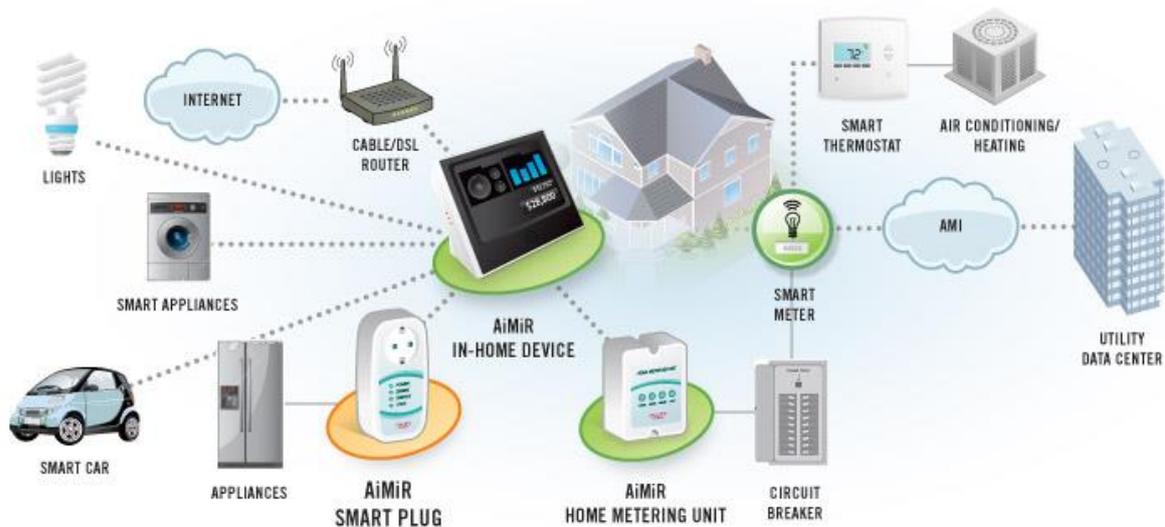


Ilustración 5. Esquema de comunicación con la unidad central.

### 3.1.3. ILUMINACIÓN DE BAJO CONSUMO

La iluminación de la vivienda representa un consumo importante en la factura final de electricidad, ya que ésta tiene un gran factor de utilización y tiene un número de horas de funcionamiento elevado.

Tradicionalmente, la mayoría del alumbrado de una vivienda se realiza con bombillas incandescentes. Este tipo de luminaria tiene una vida útil de aproximadamente 1000 horas, y su uso está extendido debido a su bajo precio y el color cálido de su iluminación. En el inmueble analizado, se han contado 39 puntos de luz, de los cuales 27 son bombillas incandescentes, con un consumo de entre 40 y 60 W.

Debido a los avances producidos en la tecnología LED de iluminación, ésta se presenta como una solución eficaz para reducir el consumo eléctrico de una vivienda sin realizar grandes inversiones y a corto plazo. Este tipo de luminarias es altamente eficiente, siendo su rendimiento luminoso de 100 lm/W frente a los 15 lm/W que se consiguen con una lámpara incandescente. Además, su duración es de unas 15000-35000 horas y, debido a su construcción, es inherentemente controlable, por lo que resulta muy conveniente para lograr sinergias entre dispositivos instalados en el hogar. El resumen de características se recoge en la Tabla 10.

Tipo de Luminaria	Rendimiento	Vida Útil	Consumo	Controlable	Precio
Incandescente	10-15 lm/W	1000 horas	25-60 W	No	1-3 €
LED	100 lm/W	15000-35000 horas	5-15 W	Sí	6-20 €

Tabla 10. Resumen comparativo entre luminarias.

Para la sustitución de las luminarias de la vivienda es necesario conocer los requisitos lumínicos de cada estancia del inmueble, de forma que se pueda dimensionar correctamente el alumbrado de los espacios de la vivienda y conseguir a su vez una iluminación adecuada al uso de éstos. En la Tabla 11 se muestra una valoración del flujo luminoso necesario para iluminar los distintos tipos de estancia de la casa. Estos valores han sido calculados en función de la iluminación anteriormente instalada y tienen cierto grado de subjetividad en cuanto al nivel de iluminación percibida y la temperatura de color. A partir de estos valores, se puede calcular el flujo luminoso necesario de cada punto de luz, teniendo en cuenta la superficie a iluminar.

Estancia	Nivel de iluminación (lux)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Requerimiento (lúmenes)	Puntos de luz	Luminosidad de lámpara (lúmenes)
Cocina	200	8	1600	2	800
Sala de estar	100	24	2400	4	600
Sótano	200	-	600	3	200
Escalera	100	-	300	3	100
Aseo Invitados	200	3	600	1	600
Aseo Distribuidor	200	4	800	2	400
Aseo Sótano	200	-	200	1	200
Aseo Dormitorio	200	6.5	1300	3	433

Habitación 1	100	10	1000	1	1000
Habitación 2	100	8	800	1	800
Habitación 3	100	18	1800	2	900
Buhardilla	100	62.5	6250	2	3125
Rellano PB	50	11	550	2	275
Rellano P1	50	7.5	375	1	375

Tabla 11. Cálculo de las lámparas necesarias.

#### 3.1.4. SUSTITUCIÓN DE EQUIPOS POR OTROS DE MAYOR EFICIENCIA

Otra medida para reducir el consumo de electricidad en el inmueble es la sustitución de los equipos presentes en la vivienda por otros de mayor eficiencia energética. Según se ha descrito en el apartado 2.2.1, la demanda eléctrica se compone en un 61% por la potencia demandada por electrodomésticos y un 22% por los equipos de aire acondicionado.

Actualmente, los electrodomésticos y demás equipos de uso en viviendas poseen un etiquetado explicativo que indica la eficiencia energética del electrodoméstico de forma rápida y sencilla. Esta etiqueta contiene una escala de clasificación con letras y colores, siendo la A en verde la clasificación de equipos más eficientes hasta la D en rojo, con la peor eficiencia. También aparecen tres niveles adicionales A+, A++ y A+++ que denotan una mayor eficiencia frente a la etiqueta A.

Este etiquetado energético aplica para todos los apartados de la Unión Europea que dispongan de un requisito o reglamento de etiquetado energético. Con esta etiqueta, se persigue que los consumidores opten por comprar productos de menor consumo energético y anima a las empresas a invertir en el desarrollo de productos de bajo consumo [26]. Los productos que requieren este etiquetado son:

- Aparatos de aire acondicionado
- Cocinas (de uso doméstico)
- Lavavajillas (de uso doméstico)
- Radiadores y calentadores de agua
- Bombillas (direccionales y LED)
- Bombillas (de uso doméstico)
- Bombillas (fluorescentes)
- Aparatos de calefacción local
- Aparatos de refrigeración (de uso doméstico)
- Aparatos de refrigeración (de uso profesional)
- Calderas de combustible sólido
- Televisores
- Secadoras
- Aspiradoras
- Unidades de ventilación (residenciales)
- Lavadoras (de uso doméstico)

La mayoría de los electrodomésticos y demás equipos presentes en la vivienda tienen relativamente poca antigüedad ya que fueron renovados hace unos años buscando ahorros en su consumo eléctrico y nuevas funcionalidades. Sin embargo, electrodomésticos como el horno, el lavavajillas o la vitrocerámica son modelos antiguos o descatalogados por los fabricantes cuya etiqueta energética es de clasificación baja, por lo que la sustitución de equipos se centrará en este tipo de electrodomésticos, ya que son los que mayor potencia demandan para su funcionamiento y su cambio tiene la oportunidad de producir un ahorro mayor.

### *3.1.5. SUSTITUCIÓN DE VENTANAS*

Uno de los sumideros de potencia térmica de los inmuebles son los huecos, principalmente vidrios y marcos. En estos elementos se produce una variación de la uniformidad de la construcción, lo que provoca que elementos constructivos de diferente conductividad minoren la resistencia térmica del cerramiento. La importancia de conseguir un buen aislamiento en estos elementos radica en una reducción considerable de las pérdidas por conducción térmica de la vivienda, y se traduce en un menor consumo de calefacción y aire acondicionado. Según el IDAE, la instalación de unas ventanas de calidad puede reducir hasta en un 70% las pérdidas energéticas del hogar.

Una ventana se compone de dos elementos: el cristal y el marco. El aislamiento de la ventana depende de la elección de los materiales y composición de estos elementos, y su eficacia aumenta con una buena combinación de marco y vidrio.

Los marcos de ventana más generalizados en el mercado son principalmente de PVC, aluminio y madera. Los marcos de PVC son los que poseen la composición con mayor aislamiento térmico, y logran hasta un 50% más de ahorro que los otros tipos de ventana, aunque no es viable para aberturas muy amplias y sufren un mayor deterioro con el paso de tiempo, comparado con las de aluminio o madera. Las ventanas de aluminio son las más difundidas debido a su relación calidad-precio, personalización y durabilidad. Tienen un rendimiento térmico peor que las de PVC, aunque se ha comenzado a aplicar una técnica conocida como rotura de puente térmico que permite alcanzar una mayor capacidad de aislamiento térmico, aunque encarece el producto. Por último, las ventanas de marco de madera tienen un aislamiento térmico medio, aportan sensación de calidez al hogar y ofrecen un gran aislamiento acústico, pero requieren de mantenimiento específico y periódico.

El acristalamiento de las ventanas puede ser simple (una hoja) o doble (dos hojas separadas por una cámara de aire). Es el acristalamiento doble el que mayor aislamiento térmico ofrece, y son el tipo y grosor de vidrio y la superficie de cámara de aire los factores que determinan la condición aislante de la ventana. Los vidrios de las ventanas pueden ser de varios tipos. Los vidrios básicos son la solución más habitual, aunque tienen prestaciones aislantes bajas. Los vidrios bajo emisivos ofrecen un aislamiento térmico mayor debido a que cuentan con un tratamiento especial que actúa como un espejo frente a la radiación solar. A este tratamiento se le puede sumar otro de control

solar que reduce la penetración de rayos ultravioletas en la vivienda, especialmente indicado para localizaciones con mucha exposición solar. Por último, existen vidrios con tratamiento acústico que consiste en varias láminas de butiral de polivinilo acústico que potencia la atenuación acústica del acristalamiento. La capacidad de aislamiento térmico del vidrio se mide mediante el valor numérico  $U$ . Un factor  $U$  bajo reduce las pérdidas térmicas en cerramientos y consigue un buen ahorro de calefacción y aire acondicionado.

En la Ilustración 6 se muestra la transmitancia térmica  $U$  de los distintos tipos de acristalamiento. Ante una mayor superficie, las ganancias producidas en  $U$  por el acristalamiento tienen mayor repercusión que aquellas alcanzadas por el marco.



Ilustración 6. Transmitancia térmica de los acristalamientos. Fuente: Saint Gobain – SGG CLIMALIT

Tras la elección del cristal y los marcos de la ventana, es importante la elección del tipo de cierre. Existen numerosos tipos de cierre, como corredera, abatible, batiente, oscilo batiente, pivotante etc. Para conseguir un mayor nivel de hermeticidad y lograr total estanqueidad al agua, viento, frío y calor, se recomienda la instalación de ventanas abatibles para mejorar el aislamiento, debido a que su sistema de cierre y bloqueo es por presión de las juntas de caucho contra el marco, cerrando completamente la ventana en todo su perímetro.

Las ventanas actualmente instaladas en el inmueble son ventanas correderas de doble acristalamiento de la marca Climalit, con 4 mm de cámara de aire y sobre carpintería de aluminio. Se pueden encontrar 14 ventanas entre las que se incluyen 5 ventanas normales, 3 ventanales con puertas correderas, 2 ventanucos o ventanas de pequeña dimensión y 4 ventanas de buhardilla o cubierta.

### 3.1.6. MEJORA DE AISLAMIENTOS

El aislamiento térmico de fachadas, cerramientos y cubiertas es una opción vital para conseguir grandes ahorros en calefacción y refrigeración de las estancias. El cambio o

mejora de aislamiento en estos lugares conlleva una mejora de la transmitancia calculada en el apartado 2.1.2, lo que reduce las pérdidas de calor en los puntos críticos. Según [27], los puntos críticos y la pérdida de calor estimada en cada uno de las partes de la vivienda se muestran en la Ilustración 7.

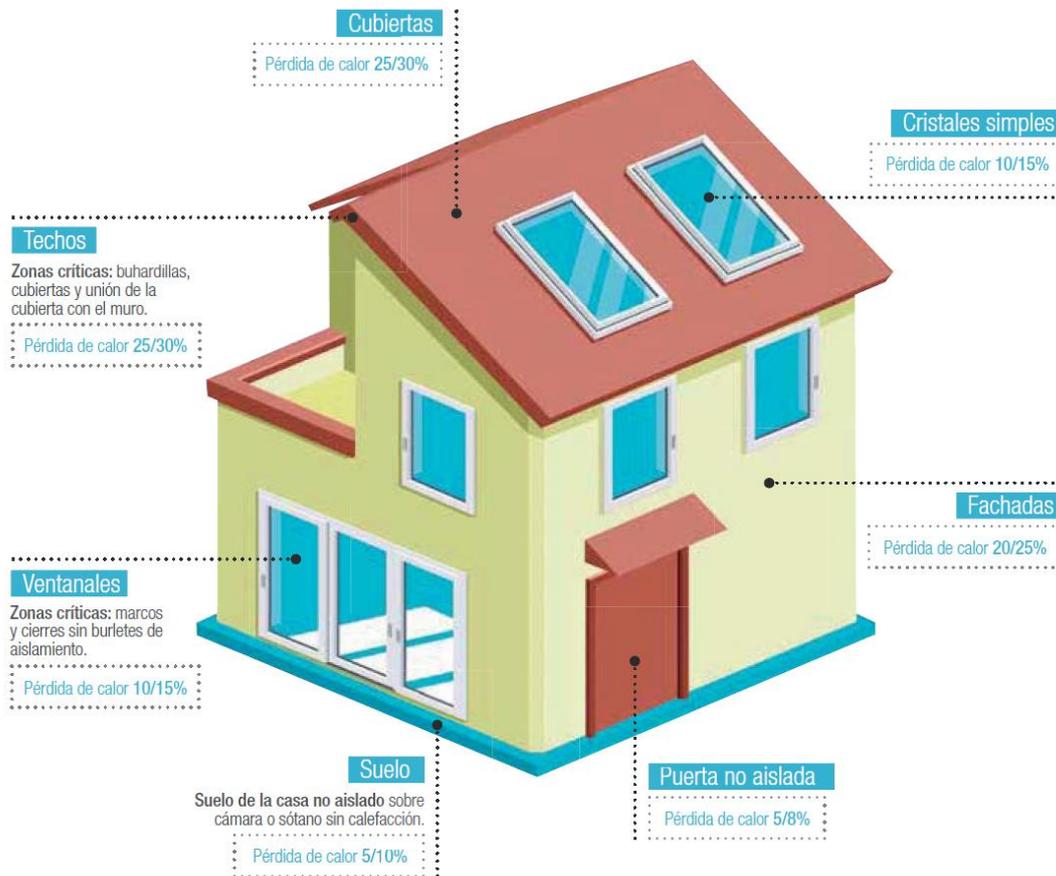


Ilustración 7. Puntos débiles del aislamiento. Fuente: Leroy Merlin

Los lugares donde se producen mayores pérdidas por transmisión de calor son los techos y cubiertas y fachadas. Estos elementos son de grandes dimensiones y poseen mayor superficie de transmisión, por lo que el aislamiento térmico de éstos consigue una reducción considerable de la potencia de calefacción necesaria para climatizar el hogar. En total, se puede alcanzar pérdidas del 30% del consumo de calefacción, que en términos económicos supone hasta 200 € de la factura de calefacción de la vivienda analizada.

La mejora del aislamiento del inmueble no es una solución global, sino que debe realizarse de forma específica en cada una de las áreas estructurales. De esta forma, se valoran las acciones a llevar a cabo en cada elemento estructural:

- **Fachadas.** Se puede mejorar su capacidad de aislamiento desde el exterior, el interior o inyectando una solución aislante en el interior del muro. Las medidas que afectan al exterior de las fachadas utilizan un aislante de material inalterable al agua, o una cámara de aire que permita el drenaje y ventilación de aislante, y

se instala bajo una cubierta de paneles. Las soluciones desde el interior no modifican la fachada, sino que aprovechan las cámaras de ventilación sin aislamiento o se aplican mediante la construcción de un nuevo tabique con un aislante.

- **Paredes o tabiques.** Incluye las paredes de carácter divisorio en el espacio interior, y utilizan lana mineral y aislantes térmicos ecológicos como corcho o geotextil debido a que no se encuentran en contacto con el agua.
- **Cubiertas.** Depende del tipo de cubierta, si es inclinada o plana y también se puede realizar desde el exterior, colocando un aislante bajo las tejas, o desde el interior. Es importante la utilización de materiales impermeables.
- **Suelos.** El aislamiento térmico se coloca en el forjado de hormigón, y entre el aislante y mortero se coloca una lámina de material plástico para impermeabilizarlo.

Por su parte, los materiales empleados para aislar los cerramientos pueden ser minerales, sintéticos, ecológicos o reflexivos.

#### Aislamientos minerales:

- *Lana de roca.* Se fabrica con roca volcánica fundida y es indicado para suelos, paredes interiores y fachadas ventiladas sin contacto con el agua.
- *Fibra de vidrio.* Se fabrica a partir de arena fundida y su uso varía en función de la densidad, siendo los rollos de menor densidad indicados para paredes interiores, falsos techos y bajo cubiertas y los de mayor densidad para fachadas y suelos.

#### Aislamientos sintéticos:

- *Poliestireno expandido.* Es un material versátil apto para fachadas, paredes, suelos y techos debido a su capacidad impermeable. Es ligero y económico y resulta de fácil instalación.
- *Poliestireno extruido.* Se usa en cubiertas y fachadas por su carácter impermeable y resistencia al peso y a la deformación.

#### Aislamientos ecológicos y reciclados:

- *Corcho.* Se usa en paredes y suelos. Tiene gran durabilidad y capacidad aislante, además de otras características como ser antiestático, hipoalergénico y estéticamente agradable por lo que no necesita ser cubierto.
- *Geotextil.* Se fabrica con materiales textiles reciclados. Tiene buena durabilidad, también sirve como aislante acústico y posee gran resistencia a tracción y desgarro.

### Aislamientos reflexivos.

- *Reflexivo multicapa y burbuja.* Se trata de un material aislante que se compone de una o varias capas, formado por guatas y espumas o burbujas de polietileno revestidas de aluminio. Posee un espesor muy reducido y se utiliza bajo friso, en estructuras de cartón yeso y bajo cubiertas inclinadas.

En 2014, entró en vigor una revisión del Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación en el que se modificó el espesor de aislante térmico necesario en fachadas, cubiertas y suelos, con el fin de mejorar la eficiencia energética de los edificios. De esta forma, en el Apéndice E del DB-HE1 "Limitación de la demanda energética" se muestran unos valores orientativos de los parámetros característicos de la envolvente térmica. Estos valores son distintos en función de la zona climática, y servirán como guía para el estudio de los aislamientos térmicos a instalar. La Tabla 12 muestra los espesores mínimos para lana de roca y fibra de vidrio en centímetros, en función de la zona climática y el elemento estructural al que se aplican.

Zona Climática	Cubiertas	Fachadas	Suelos
A	4 a 6	2 a 4	4 a 6
B	5 a 7	6 a 8	5 a 7
C	7 a 11	9 a 12	5 a 8
D	11 a 16	13 a 17	7 a 11
E	11 a 17	16 a 21	8 a 11
F	13 a 20	16 a 21	8 a 13

Tabla 12. Espesores mínimos de aislante térmico.

### 3.1.7. SUSTITUCIÓN DE ELEMENTOS RADIADORES

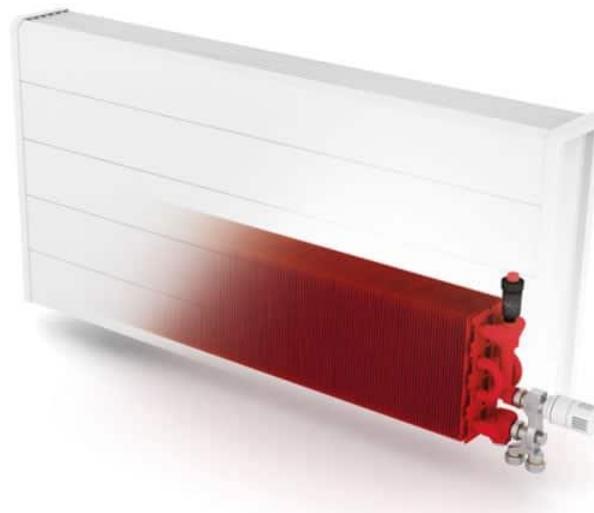
La actuación sobre radiadores de calefacción es una medida que también contribuye a la mejora de la eficiencia energética del inmueble y al ahorro en calefacción. Su importancia radica en las mejoras tecnológicas producidas en estos elementos, que mejoran su rendimiento y aumentan la capacidad de control sobre éstos.

Los radiadores instalados en el inmueble son de gran antigüedad y poseen una válvula convencional. Este tipo de válvulas solo abre o cierra el paso de agua al radiador, pero no puede regular el caudal ni controlar la temperatura.

Los radiadores en la actualidad utilizan una válvula de equilibrado que asegura que el caudal que circula por cada uno de ellos es el adecuado, siendo capaces de corregir desequilibrios que se pueden dar en los radiadores distribuidos por columnas, en los que circula mayor caudal por los primeros radiadores y menos por los últimos. Además, este tipo de válvulas se encuentran equipadas con cabezales termostáticos que permiten regular la temperatura que se desea en la estancia. Este cabezal es habitualmente manual, y se fija en una posición en función de la temperatura deseada, aunque también existen equipos electrónicos capaces de programar la temperatura, el horario y periodos de ausencia.

El ahorro en estos radiadores se produce por la sustitución de los radiadores antiguos por unos más avanzados que permitan un mayor control sobre el flujo de agua que circula por ellos, su programación y la temperatura deseada, de forma que se pueda alcanzar sinergia con el resto de los dispositivos de domótica y poder tener un control centralizado de todos ellos.

Otra opción para el ahorro en estos elementos es la instalación de radiadores de baja temperatura. Estos radiadores funcionan con agua a una temperatura menor de 45°C, frente a los 70°C-75°C de los radiadores convencionales, permitiendo cumplir la exigencia de la temperatura de entrada al radiador de 60°C del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) [28]. La difusión del calor por parte de un radiador convencional se reparte en aproximadamente 80% convección y 20% radiación. Sin embargo, los radiadores de baja temperatura aseguran que casi el 100% de la transferencia de calor se realice a través de convección. Al trabajar con una temperatura menor, es necesaria una mayor superficie de intercambio para emitir la misma energía térmica. De esta forma, la batería es de cobre con unas aletas de aluminio y consecuentemente, el tamaño del radiador es mayor (Ilustración 8). No obstante, para reducir este tamaño, algunos fabricantes incluyen ventiladores en su radiador que favorecen la convección y permiten mantener un tamaño más reducido. Además, incluyen controles electrónicos para detectar cambios en la temperatura ambiente y activarse cuando se produzcan variaciones.



*Ilustración 8. Batería de intercambio de un radiador de baja temperatura. Fuente: Nergiza.*

Este tipo de radiadores genera ahorros debido a que, cuando la temperatura de retorno del agua es menor, la eficiencia de los generadores térmicos, como la caldera, aumenta, y se producen menos pérdidas térmicas debido a un menor gradiente térmico entre la temperatura de convección y la temperatura ambiente.

### 3.2. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS Y MEJORAS DE EFICIENCIA TIPO SUPPLY-SIDE

A diferencia de las medidas que se centran en la demanda, las medidas del lado de generación o abastecimiento son generalmente soluciones más costosas, que requieren una modificación de la infraestructura y técnicamente son más complejas. En este apartado, el enfoque está puesto en el análisis de medidas que afecten a la forma de producir la energía necesaria para la vivienda, ya que actualmente no es posible modificar los canales de distribución de electricidad o gasóleo en el inmueble, y estas modificaciones no consiguen grandes ahorros en el consumo, debido a que las pérdidas por transmisión de la energía en los cables de cobre o las pérdidas de carga en tuberías de combustible son despreciables, por lo que este tipo de enfoque no resulta coste-eficiente.

Como alternativas de generación, se estudia la combinación de paneles fotovoltaicos junto con un dispositivo de almacenamiento de energía. Este conjunto es de gran interés debido a que brinda numerosas posibilidades para el usuario, como la posibilidad de generar la energía que se consume durante el día y almacenarla en las baterías para su uso en horas donde el precio de la electricidad sea elevado; produce sinergia con la programación horaria de los equipos de domótica que se instalan en el inmueble y adapta la instalación eléctrica de la vivienda para la posibilidad futura de vender el excedente de energía producida al sistema eléctrico a través de las redes de distribución, si el marco legislativo y regulatorio lo permitiese. Sin embargo, en la actualidad se debe disponer de dispositivos de vertido 0, que evitan que se vierta el excedente de electricidad producida a la red, evitando así un cargo adicional por verter energía al sistema.

En cuanto a la generación térmica, la instalación y mejora de los aislamientos térmicos del inmueble provoca que, aunque la demanda térmica sea la misma, el consumo de energía necesario para alcanzar el confort térmico sea menor. Así, se plantean alternativas a la caldera de gasóleo instalada por otras más eficientes como calderas de gas, acumuladores eléctricos, bombas de calor o suelo radiante.

#### 3.2.1. PANELES FOTOVOLTAICOS

Una forma de reducir el consumo de electricidad en el inmueble es mediante la generación de ésta para cubrir parcial o totalmente la demanda que se produce. Esta forma de generación se conoce como autoconsumo, y con ella, el usuario reduce la energía demandada de la red.

La instalación de paneles fotovoltaicos ofrece numerosas ventajas para el consumidor, como la posibilidad de reducir el consumo eléctrico y producir ahorros en la factura final. Adicionalmente, existen otras ventajas implícitas en su instalación que lo convierten en una opción muy atractiva como alternativa de *supply-side*:

- *Retornos a largo plazo.* Debido al número de horas de funcionamiento y el nivel de radiación solar en España, la instalación fotovoltaica es capaz de generar

energía durante 25 años aproximadamente sin apenas mantenimiento, por lo que los ahorros que se producen durante este tiempo son beneficiosos, ya que blindan al consumidor de las subidas de precio de la tarifa de electricidad, lo que lo convierten en un riesgo bajo.

- *Aumento de la rentabilidad anual.* Según Enel en su “Enel Strategic Plan 2019”, el precio de la electricidad continuará aumentando durante los próximos tres años hasta 2021 en un 10%. Como la inversión en un panel fotovoltaico no cambia durante su vida útil, el ahorro que se produce cada año es mayor, por lo que la rentabilidad anual de la inversión mejora durante los años en que se produzcan subidas.
- *Rentabilidad libre de impuestos.* Con la derogación del “impuesto al sol” en enero de 2019 por la Comisión Nacional de Mercados y la Competencia (CNMC), el autoconsumo no tiene carga impositiva por la generación de electricidad, por lo que el uso de este tipo de tecnología goza de una rentabilidad libre de impuestos.
- *Incentivos fiscales.* Recientemente, la Comunidad de Madrid ha aprobado una ayuda en forma de bonificación para las instalaciones de sistemas de aprovechamiento de energía solar, por la cual se producen deducciones en el Impuesto de Bienes Inmuebles (IBI) a los usuarios que utilicen sistemas de generación eléctrica por medio solar para autoconsumo [29]. Además, también se ha abierto una convocatoria de solicitudes para una subvención del 30% del importe incentivable, cuya suma asciende hasta 15,000 €, en los que se incluye coste de los materiales, obra civil necesaria, documentación técnica y mano de obra [30].
- *Aumento de valor de la vivienda.* La instalación de paneles fotovoltaicos en una vivienda incrementa su valor, mejora su certificado energético e incrementa su precio de reventa.

Estas ventajas aplican a cualquier tipo de instalación fotovoltaica, siempre y cuando se cumplan los requisitos de cada uno de ellos como potencia de la instalación, comunidad autónoma y otras garantías para acceder a las subvenciones y beneficios fiscales.

La tecnología empleada para los paneles fotovoltaicos puede ser de distintos materiales, con una oferta que da lugar a gran variedad de productos. Principalmente, los paneles fotovoltaicos pueden ser de tres tipos: monocristalinos, policristalinos y de capa fina, como se muestra en la Ilustración 9.



*Ilustración 9. Tipos de paneles fotovoltaicos.*

Los paneles monocristalinos están compuestos de células monocristalinas de silicio, obtenidas a partir de un lingote de un único cristal de silicio en forma cilíndrica que posteriormente se corta en obleas. Su principal ventaja es una mayor eficiencia debido a que se realizan a partir de un cristal de silicio de mayor calidad, siendo su eficiencia típicamente de 15-20%. Además, debido a que su rendimiento es mayor, el espacio necesario para generar una potencia determinada es menor. Sin embargo, este tipo de paneles tiene un coste mayor y presenta un problema de pérdida de generación si aparecen sombras parciales en su superficie. Por otra parte, el pico de eficiencia de este tipo de paneles se alcanza en climas templados, por lo que su rendimiento empeora conforme aumenta la temperatura, aunque su resistencia al calor es mayor.

Los paneles policristalinos, por su parte, están compuestos por células policristalinas, procedentes de un bloque de silicio formado por pequeños cristales de este material que se corta en obleas de 200 micras de espesor. Como su proceso de fabricación es más simple, su coste es menor que el de los monocristalinos. La eficiencia de estos paneles se encuentra alrededor de 13-16% y tienden a ocupar una mayor superficie. La pérdida de eficiencia a temperaturas altas es menor que en paneles monocristalinos, por lo que producen más energía en esas condiciones. Además, sufren una menor degradación por exposición a la luz solar, prolongando su vida útil.

Existe un tercer tipo de paneles fotovoltaicos denominados de capa fina, en el que se instalan una o varias capas de espesor muy fino con material fotovoltaico encima de un sustrato. Para ello, se emplean materiales como silicio amorfo, telururo de cadmio, un semiconductor formado por cobre, indio, galio y selenio o células fotovoltaicas orgánicas. Estos módulos tienen una eficiencia menor, de entre 7 y 13%, y su principal ventaja es el coste, ya que resultan los módulos más baratos de fabricar. Son una opción viable en situaciones donde el espacio no es un problema, y tienen elevada flexibilidad,

por lo que abren el futuro a nuevas aplicaciones. Sin embargo, este tipo de paneles no es considerado para este estudio debido a que su aplicación en viviendas no es adecuada, principalmente por la superficie necesaria para generar una potencia útil.

En la Tabla 13 se muestra un cuadro comparativo de los tipos de panel fotovoltaico con sus características principales, señalando en verde las características más favorables de cada uno.

	Monocrystalino	Policristalino	Capa fina
<b>Eficiencia</b>	15-20%	13-16%	7-13%
<b>Coste</b>	Alto	Medio	Bajo
<b>Superficie ocupada</b>	Baja	Media	Alta
<b>Otras características</b>	Mayor resistencia al calor Longevidad Fragilidad	Menor pérdida de eficiencia con la temperatura Vida útil inferior a monocristalinos	Son flexibles Rápida degradación

Tabla 13. Cuadro comparativo de tipos de paneles fotovoltaicos.

### 3.2.2. BATERÍAS DE ALMACENAMIENTO DE ELECTRICIDAD

La instalación de paneles fotovoltaicos resulta una opción muy ventajosa para el usuario, consiguiendo la generación de su propia energía y habilitando así el autoconsumo en la vivienda o inmueble. Sin embargo, la generación por medio de radiación solar cesa cuando el día se acaba, o cuando se forman nubes en el cielo que tapan los rayos solares. Este fenómeno da lugar a intermitencias en la producción de electricidad, y si el sistema no se encuentra conectado a la red eléctrica, la desconexión de los equipos.

Ante este problema de intermitencia, la solución consiste en instalar un sistema de almacenamiento que permita almacenar el excedente de producción de los paneles fotovoltaicos para poder utilizarlo en los momentos donde no se puede suplir el consumo con esta generación. Estas baterías suelen ser instaladas en conjunto con los paneles fotovoltaicos, y proporcionan un nivel constante e ininterrumpido de energía durante su descarga, por lo que son útiles para satisfacer una demanda de forma temporal incluso cuando se produce un incidente en el sistema eléctrico y se interrumpe el abastecimiento.

Existen tres factores determinantes para la elección de una batería de almacenamiento de electricidad: la capacidad de almacenamiento, la vida útil y el controlador de carga.

La capacidad de almacenamiento indica cuánta energía es capaz de almacenar el dispositivo en amperios/hora (Ah). Es importante estimar la capacidad de la batería, ya que una mayor potencia almacenada conseguirá un mayor número de horas de funcionamiento durante la descarga de la batería. Además, esta potencia descargada debe ser lo suficientemente alta como para suplir el pico de demanda que se produce en el inmueble.

La vida útil de una batería está directamente relacionada con los ciclos de carga que es capaz de mantener. Un ciclo de carga consiste en la carga y descarga total de la energía almacenada. Estos ciclos de carga se ven afectados por factores como el nivel de carga o tensión a la que se someten las celdas de la batería durante la carga y descarga, o la temperatura a la que se encuentra este dispositivo.

El controlador de carga regula la velocidad a la que se carga la batería y la protege contra las sobrecargas. Controla el estado de carga y modifica la intensidad de carga para alargar su vida útil. Mediante el control de la corriente, evita que se produzcan sobrecargas o sobredescargas en la batería.

Las baterías utilizadas para almacenar energía solar pueden ser de dos tipos:

- *Baterías de plomo ácido.* Son una tecnología madura, y tienen un coste bajo. Su carga es relativamente rápida y no presentan pérdidas notables, pero su capacidad de almacenamiento es baja y su vida útil es inferior a otras alternativas, por lo que son adecuadas solo para sistemas en los que no se necesite almacenar grandes cantidades de energía.
- *Baterías de ión de litio.* Tienen un coste más elevado, pero son la opción más atractiva para el sector residencial debido a su bajo mantenimiento, alta densidad energética, baja tasa de autodescarga y larga vida de ciclo. Son más compactas, más seguras y permiten su carga en cualquier nivel de carga sin reducir su vida útil, como se muestra en la Figura 9.

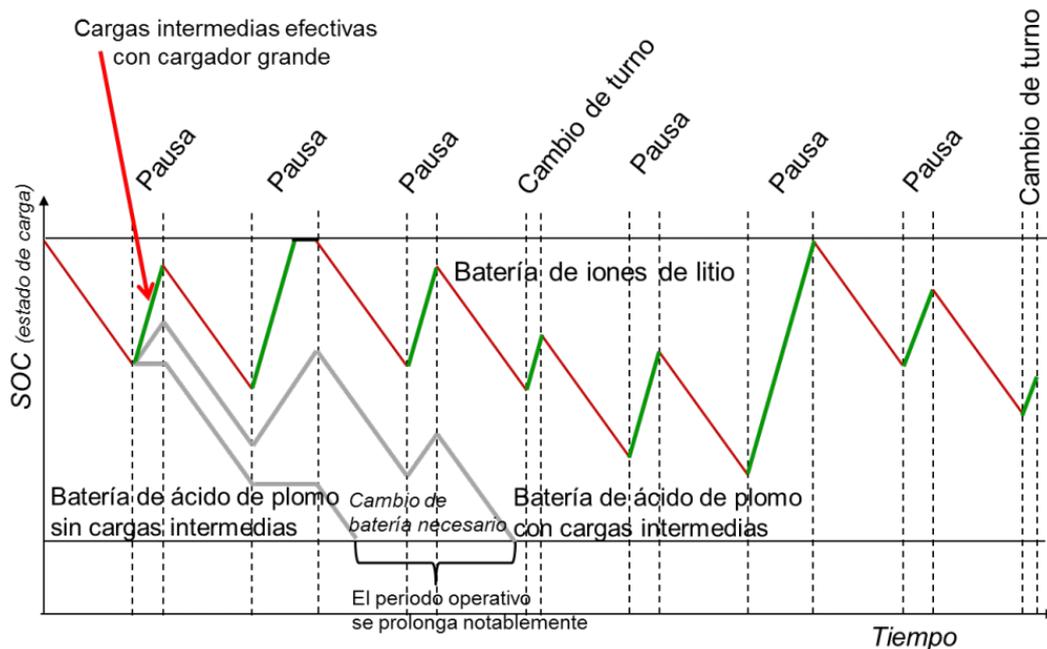


Figura 9. Perfil energético de las baterías de plomo-ácido e ión de litio. Fuente: Intralogística

Para la elección de alternativas, se considerará la instalación únicamente de baterías de ion de litio, ya que son la solución más generalizada entre los fabricantes y la que mayores ventajas presenta para el usuario final.

### 3.2.3. SUSTITUCIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN

El sistema de calefacción presente en la vivienda puede ser reemplazado por otro tipo de sistema de mayor eficiencia si se consigue disminuir el consumo necesario para satisfacer la demanda térmica de las distintas estancias. Como se ha analizado en el apartado 3.1.6, una mejora de los aislamientos de los elementos estructurales del inmueble disminuye su transmitancia térmica, lo que produce menores pérdidas térmicas. Esta mejora provoca que, ante una misma demanda térmica, se precise de un menor consumo para alcanzar las condiciones de confort. De esta manera, puede ocurrir que la caldera de gasóleo instaladas tenga una potencia muy superior a la necesaria para climatizar la vivienda, y pueda ser sustituida por otros sistemas de menor consumo y mayor rendimiento.

Los sistemas de calefacción disponibles para instalación en viviendas son calderas de combustión y radiadores, acumuladores eléctricos, bombas de calor y suelo radiante.

Las calderas de combustión se clasifican en función del combustible que utilizan:

- *Calderas de gas.* Es uno de los sistemas más utilizados en hogares. Pueden utilizar gas natural, gas propano o gasóleo C. Tienen una elevada eficiencia calorífica y, junto con una caldera de condensación de hasta 98% de rendimiento, pueden ahorrar hasta un 30% de consumo energético. Si no existe una canalización de gas previamente para suministro, la instalación de la caldera y el suministro pueden suponer un gran coste.
- *Calderas de gasóleo.* Es la que se encuentra actualmente instalada en la vivienda. Se encuentra conectada a un depósito común para la comunidad de vecinos. Está indicada para viviendas de grandes dimensiones y con climas fríos. Su instalación y el combustible es relativamente barato pero su eficiencia es baja, siendo su rendimiento de aproximadamente 60-70%.

Los acumuladores eléctricos son otro sistema de calefacción en el que se emplean unos radiadores que consumen electricidad durante las horas valle del precio de la electricidad para producir y almacenar calor, de forma que éste pueda ser irradiado durante el día. Es vital para su funcionamiento la complementación de este sistema con una tarifa de discriminación horaria. Su eficiencia es elevada debido al uso de este tipo de tarifas, no precisan de mantenimiento, su coste de instalación es reducido y permite regular la temperatura de las estancias de forma independiente. Sin embargo, los equipos necesarios para este sistema son caros, y si se utiliza durante el día, el consumo se encarece considerablemente.

Los acumuladores eléctricos pueden ser de dos tipos:

- *Acumulador de calor estático.* Es el tipo de acumulador de calor más sencillo y está formado por un sistema de aislamientos térmicos. El calor se difunde a través de radiación o convección, pero solo el 25% del calor descargado es controlable por el usuario, debido a la gran cantidad de pérdidas que se producen debido a las entradas de aire en el acumulador, que enfrían la carga.

- *Acumulador de calor dinámico.* Poseen un aislamiento térmico mejorado que garantiza el aprovechamiento de alrededor de un 85% del calor acumulado. Este acumulador controla el calor descargado por medio de termostatos, y éste difunde a través de una turbina que se deriva a los acumuladores.

Todo acumulador eléctrico se compone de cinco partes básicas para su funcionamiento. El acumulador, que consiste en unos ladrillos de refracción térmica que acumulan el calor obtenido; las resistencias, por las que circula la corriente eléctrica y generan calor por efecto Joule, a la vez que distribuyen de forma uniforme el calor por todo el acumulador; el aislamiento térmico, que impide que el calor se transmita al exterior si no está en funcionamiento, y limita la temperatura del equipo a 90° C; limitador o controlador, que actúa como un termostato que regula la temperatura de la estancia y un sistema de seguridad que evita que se produzcan fallos o errores ante temperaturas muy elevadas. En la Ilustración 10 se muestra un esquema de sus componentes y su funcionamiento.

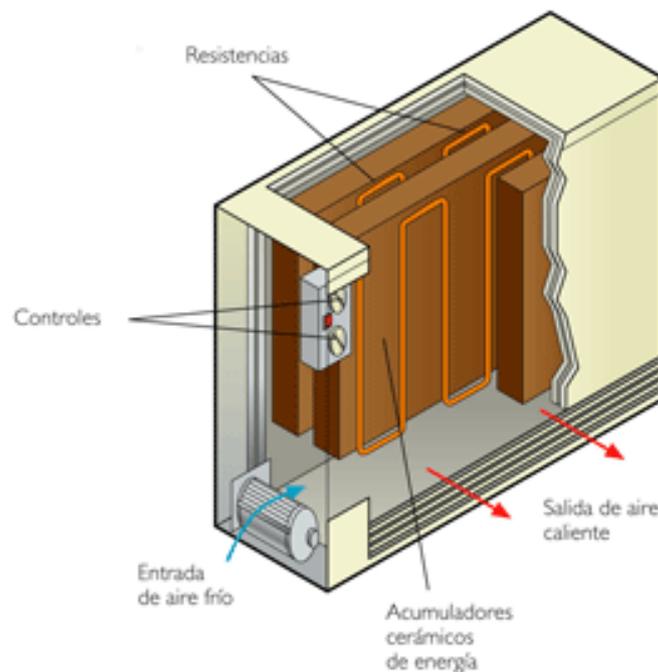


Ilustración 10. Componentes de un acumulador eléctrico. Fuente: Kalipedia.

Las bombas de calor son un sistema de calefacción capaz de producir refrigeración para las estancias. La obtención de agua caliente sanitaria se obtiene mediante un termo eléctrico. Son uno de los sistemas más eficientes debido a su alto rendimiento, siendo capaces de aportar hasta 3 kWh térmicos por cada kWh eléctrico consumido. Son equipos compactos que se instalan en las estancias de forma individual, aunque también existe la posibilidad de conectar todas las estancias a una única unidad de tratamiento de aire exterior y difundir el aire ya climatizado a todas las estancias a través de conductos.

Los tipos de bomba de calor existentes se distinguen en función de la fuente térmica y el mecanismo de distribución del calor:

- *Aeroterminia*. Utiliza el aire exterior como fuente térmica. Puede utilizarse para calentar aire en las bombas de calor aire-aire o transferirse a un circuito de agua en el caso de las bombas de calor aire-agua. Son sistemas de doble función altamente indicados para climas con inviernos suaves, debido a que su consumo es muy elevado cuando se necesita calentar estancias en inviernos fríos, empeorando su rendimiento cuando las temperaturas externas son muy bajas.
- *Geoterminia*. El calor se extrae de la tierra y se cede a un circuito de agua. La eficiencia es mayor debido a la estabilidad de las temperaturas del suelo durante todo el año. La prospección geológica para la instalación de los intercambiadores de calor puede ser horizontal, a una profundidad baja, donde se requiere una gran superficie de terreno para calentar el agua, o vertical, generalmente utilizando pilares o cimentaciones del inmueble, por la cual circulan dos tuberías en circuito cerrado que extraen calor del subsuelo y los transfieren a la bomba de calor (ver Ilustración 11). Existe la posibilidad de agotar el suelo debido a la reducción de la temperatura del terreno por el intercambio de calor con agua cada vez más fría, por lo que se debe invertir la función de este sistema en verano para garantizar el equilibrio entre extracción de calor y calentamiento natural del suelo.

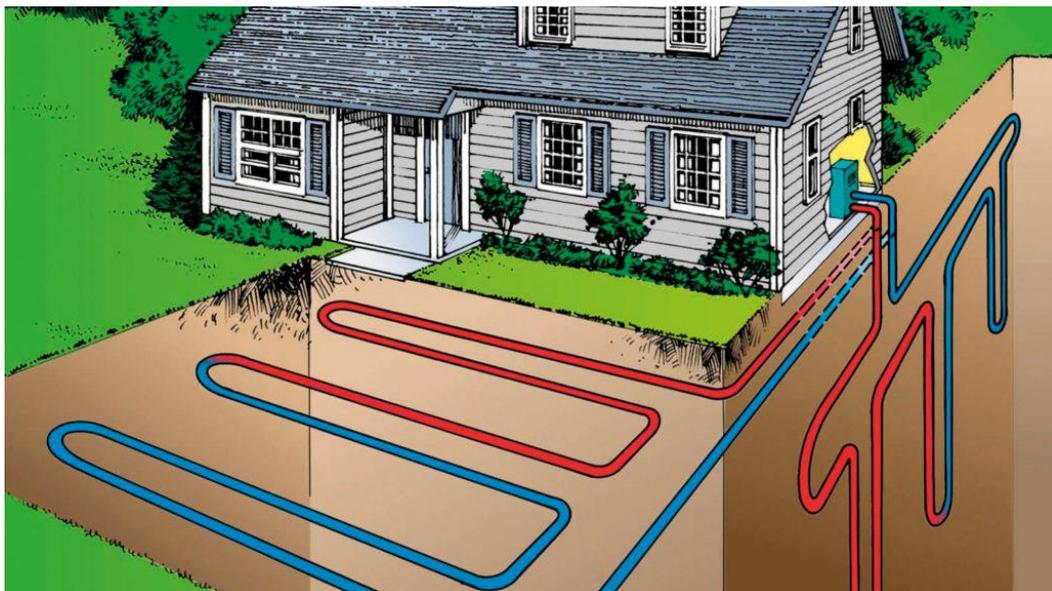


Ilustración 11. Intercambiadores de calor geotérmico horizontales y verticales. Fuente: Sustentia.

- *Hidrotermia*. Aprovecha un curso de agua o depósitos naturales subterráneos como fuente de calor. Esta última opción requiere la perforación de dos pozos y se trata de un sistema abierto donde se bombea agua de un pozo a la bomba de calor, donde intercambia su energía, para ser devuelta a una menor temperatura al segundo pozo.

Los sistemas de calefacción por suelo radiante no son un sistema de calefacción principal, sino que pueden ser utilizados en combinación con alguno de los sistemas anteriores. Este tipo de instalación puede ser de dos tipos:

- *Eléctrico*, a través de una estructura serpenteante o una malla con el cableado bajo el suelo que trasfiere calor a la estancia. Se instala bajo el revestimiento del suelo y es diferente según el tipo de suelo (cerámico o madera). No es posible instalarlo en cocinas o aseos por razones de seguridad. Este sistema consume una potencia de entre 120 y 150 W por m<sup>2</sup>, por lo que produce ahorro energético y sensación de calor a baja temperatura, sin necesidad de una caldera.
- *Por agua*, la configuración más habitual, a través de una red de tuberías por la que circula agua previamente calentada por otro sistema de calefacción, como una caldera de condensación o una bomba de calor. Este último tiene una elevada eficiencia ya que no necesita alcanzar una temperatura tan alta como en otros tipos de calefacción, siendo la temperatura de circulación del agua de unos 35-45°C frente a los 75-80°C necesarios para alcanzar la misma temperatura de estancia por medio de radiadores.

Este sistema es invisible y distribuye de forma homogénea el calor en las estancias. Su instalación es costosa y requiere de una gran obra en la que se modifican los suelos de la vivienda. Además, presenta ahorros de hasta un 30% debido a que no se calientan techos o paredes, como se muestra en la Figura 10, donde se muestra el ahorro producido en una vivienda de 100 m<sup>2</sup> frente a una instalación de calefacción por gas.

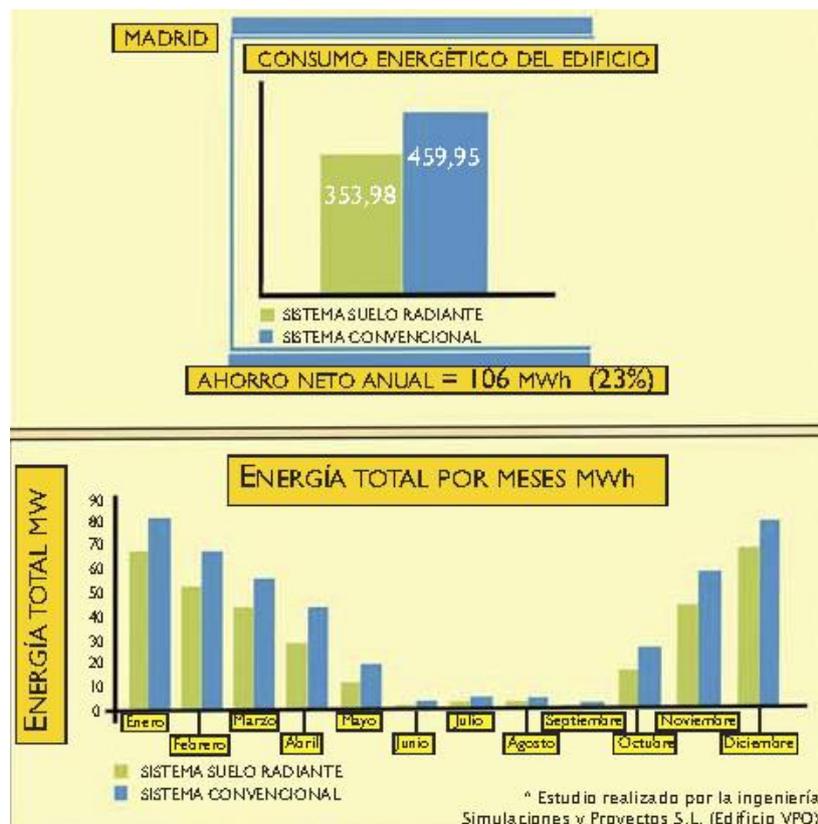


Figura 10. Ahorro por suelo radiante. Fuente: FENERCOM, UPONOR, Comunidad de Madrid.

### 3.3. ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Una vez planteadas las alternativas que se pueden instalar para mejorar la eficiencia energética del inmueble, tanto en el lado de la demanda como en el lado de la generación de energía, se debe analizar cada una de ellas para poder clasificarlas y elegir cuáles se instalarán finalmente. Inicialmente, todas las medidas son válidas para el inmueble, y se pueden instalar en la vivienda. Sin embargo, se debe realizar una clasificación de todas las medidas para establecer cuáles producen los mayores ahorros, qué coste asociado tienen y otro tipo de características que se deben estudiar mediante unos indicadores, de forma que, mediante un criterio general, se puedan deducir qué medidas son las más adecuadas.

Para el estudio de las distintas tecnologías, se puede valorar cada una de las propuestas bajo dos indicadores: ahorro energético producido y facilidad de instalación-operación. El indicador de ahorro energético mide, en porcentaje, cuánto ahorro produce la instalación y uso de esa alternativa en el consumo final de energía. Este ahorro puede ser global o particular para el elemento al que afecta, por lo que se debe referir los ahorros a magnitudes globales, bien valorando las horas de funcionamiento, en iluminación, electrodomésticos y otros equipos, o el porcentaje que representa del total que representa, como es el caso de los aislamientos y ventanas en la envolvente térmica. Por su parte, la facilidad de instalación y operación describe, en una escala del 1 o menor facilidad para instalar u operar hasta al 5, donde la medida resulta muy fácil de instalar u operar. Con estos indicadores, se puede elaborar un gráfico comparativo en el que se encuentran representadas las alternativas planteadas y cada una de las tecnologías, y se puede decidir tanto la prioridad de las medidas, así como elegir una variante dentro de una misma tecnología.

El estudio de los indicadores se realizará distinguiendo las medidas del lado de la demanda y las del lado de la generación.

#### 3.3.1. MEDIDAS TIPO DEMAND-SIDE

- ❖ Instalación de domótica

##### Ahorro energético:

El ahorro que se produce por este tipo de dispositivos es debido principalmente al desplazamiento del consumo a horas donde la tarifa de electricidad tiene un precio menor, si existe discriminación horaria, y a la reducción del pico de consumo de los equipos e iluminación, permitiendo desconectar los equipos que se encuentren en *standby* o inactivos pero que siguen consumiendo una parte pequeña de energía, y regulando otras funcionalidades, como la intensidad de la iluminación en función de la variación de la luz solar, control sobre toldos y persianas o apagado de luces cuando la vivienda se encuentra vacía. Su capacidad de control también permite programar y secuenciar la puesta en marcha de electrodomésticos con programación horaria, gestión de su consumo y desconexión de circuitos no prioritarios para evitar alcanzar la potencia máxima contratada. Si este tipo de dispositivos se instala en cada uno de los elementos

receptores sujetos a ineficiencias, como televisores, consolas, ordenadores, altavoces, impresoras, equipos de aire acondicionado, electrodomésticos como la vitrocerámica, lavavajillas o lavadora, o ventiladores de techo, los ahorros pueden alcanzar unos 630 kWh al año (ver [31]).

También es posible instalar un termostato inteligente con el que se regula la temperatura del inmueble en función de la temperatura exterior, hora del día o zona de la casa. Estos termostatos permiten el control por el usuario a través de una red inalámbrica, por medio de un *smartphone*, *tablet* u ordenador. En combinación con radiadores con válvula termostática, se puede regular la temperatura según las necesidades térmicas de cada estancia, y el *feedback* de comportamiento de este dispositivo animan al usuario a elegir configuraciones de mayor eficiencia energética. Esto permite lograr ahorros de hasta 6 MMBtu o 1,750 kWh en calefacción, lo que supone un ahorro del 16% de la energía empleada en climatización en el inmueble ([31]).

#### Facilidad de instalación-operación:

Los dispositivos de control de equipos o domótica que se pueden instalar en una vivienda son de muy fácil instalación, consistiendo la mayoría de ellos en un equipo o unidad central que se conecta a la red inalámbrica y una serie de enchufes que se conectan entre los equipos que se quiere controlar y la toma de fuerza, que posteriormente se sincronizan en la unidad central. La configuración de estos equipos suele ser sencilla, permitiendo sincronizar los distintos dispositivos con la pulsación de un botón, y el control de ellos se puede realizar a través de un teléfono móvil u ordenador. La unidad central, en función de la marca elegida, dispone de una aplicación móvil con una interfaz sencilla de utilizar en la que aparecen cada uno de los dispositivos que se han sincronizado y muestra su estado, encendido o apagado. Además, la programación horaria permite seleccionar a qué hora se produce el encendido y apagado del equipo deseado, y se puede guardar configuraciones predeterminadas por el usuario, como un modo “vacaciones” en el que se desconectan los equipos para un período largo fuera de casa o el modo “noche” en el que se gradúa la intensidad de la iluminación, se cambia la temperatura de algunas estancias y se encienden algunos equipos.

Los termostatos inteligentes también tienen una instalación sencilla, debido a su conexión y manejo por vía Wi-Fi. Generalmente, estos termostatos se instalan en sustitución de otro previamente instalado, y suele instalarse en la pared, utilizando el cableado existente. De la misma manera que los dispositivos de domótica, también se puede controlar mediante un *smartphone* u ordenador la temperatura de la vivienda, incluso pudiendo conectarse a la unidad central de domótica para realizar un control centralizado desde la misma aplicación.

## ❖ Iluminación de bajo consumo

### Ahorro energético:

Las lámparas de bajo consumo se instalan en sustitución de las lámparas instaladas en la vivienda, cumpliendo con los requisitos de iluminación de cada estancia de forma que se consiga el mismo nivel de iluminación que se tenía antes del cambio. Para cuantificar los ahorros producidos, es necesario comparar el rendimiento luminoso de ambas tecnologías, incandescente y LED. El rendimiento luminoso expresa la relación entre el flujo luminoso emitido por la fuente, medido en lúmenes, y la potencia eléctrica consumida para emitirlo, medido en vatios. De esta manera, se puede comparar el rendimiento o eficiencia de una lámpara y estimar, en función de éste, los ahorros de energía producidos por su sustitución, para las mismas condiciones de uso y horas de funcionamiento.

De 39 puntos de luz localizados en el inmueble, 12 fueron sustituidos con anterioridad por lámparas de tipo LED, por lo que sólo se considerará el ahorro producido por las 27 lámparas restantes, que son de tipo incandescente. Como se mostró en la Tabla 10, el rendimiento de una lámpara incandescente es de 10-15 lm/W, frente a los 100 lm/W que alcanzan las lámparas tipo LED.

Para calcular el ahorro, se ha elegido unas bombillas LED estándar de tipo regulable del catálogo de Philips [32]. Se ha procurado cumplir los requisitos luminosos de cada estancia, eligiendo un tipo de bombilla similar al previamente instalado. Como se calculó en el apartado 3.1.3, algunas de las estancias tienen una iluminación mayor de la necesaria para el confort de las personas, por lo que se aprovecha la oportunidad para reducir ese nivel de iluminación. Las estancias se han dividido en tres tipos: el tipo 1 o estancias principales, que incluyen cocina, sala de estar, dormitorios, buhardilla y otras salas de interés; el tipo 2, que incluye rellanos, pasillos y escaleras; y el tipo 3, formado por los aseos. De esta manera, se recoge el ahorro producido por la instalación de estas bombillas en la Tabla 14.

Estancia	Puntos de luz	Flujo luminoso incandescente (lm)	Flujo luminoso LED (lm)	Potencia incandescente (W)	Potencia LED (W)	Ahorro
Tipo 1	13	1200	1055	60	11	82%
Tipo 2	7	410	470	40	5	88%
Tipo 3	7	520	470	55	6	89%
TOTAL	27	-	-	1445	220	85%

Tabla 14. Ahorro por iluminación de bajo consumo.

### Facilidad de instalación-operación:

La sustitución de bombillas incandescentes por otras de menor consumo como las de tipo LED es muy sencilla y ocupa poco tiempo. Como se ha propuesto, las bombillas LED de tipo regulable permiten graduar la intensidad de brillo y, de esta manera, la potencia que consumen. Sin embargo, es necesaria la instalación de unos reguladores en los

pulsadores para poder realizar este control. Debido a que este tipo de interruptores tienen un precio alto, sólo se instalará en las estancias de tipo 1, utilizando los pulsadores anteriores para las estancias de tipo 2 y 3, con la posibilidad en un futuro de instalar más reguladores. Esta instalación también es sencilla, y es posible sincronizar los reguladores con la unidad central de domótica para controlar el brillo de la iluminación en cada instancia que disponga de ellos.

- ❖ Sustitución de equipos por otros de mayor eficiencia

### Ahorro energético:

Los electrodomésticos representan un 58% de la potencia eléctrica instalada en el inmueble. Entre ellos se ha incluido por aquellos de mayor tamaño, como el frigorífico, lavavajillas, vitrocerámica, horno o lavadora, ya que son los que mayores oportunidades de ahorro ofrecen. Los electrodomésticos de menor tamaño como microondas, tostador o cafetera tienen una potencia establecida en función de las necesidades de su programa y no presentan grandes consumos en el inmueble debido a su escaso factor de utilidad.

Dentro de los electrodomésticos de gran tamaño, se ha analizado la sustitución de aquellos de mayor antigüedad, ya que son los que más ineficiencias presentan debido a los avances en su tecnología y pérdidas de rendimiento. Estos electrodomésticos son el lavavajillas, la vitrocerámica y el horno.

El lavavajillas instalado es un MIELE EUROSTAR SC, actualmente descatalogado. Este equipo consume una potencia por cada ciclo de lavado de aproximadamente 2.6 kWh/ciclo, repartidos entre la potencia de la bomba, motor y controles, el calentamiento de agua y el ciclo de secado. En sustitución, se han considerado los lavavajillas de la marca Neff, que es una de las marcas mejor valoradas para este tipo de electrodomésticos según una encuesta sobre fiabilidad, nivel de satisfacción y prestaciones realizada por la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU) (ver [33]). Un lavavajillas de esta marca con clasificación energética de A+++ tiene un consumo de 0.93 kWh por ciclo de lavado, lo que supone un 36% de la potencia consumida con el electrodoméstico anterior.

La vitrocerámica tiene un consumo medio de 1700W, con uno de los fogones capaces de alcanzar los 6800 W. Este tipo de cocinas es más barato, rápido de instalar y fácil de limpiar, pero resulta ineficiente debido a la elevada pérdida de calor residual. De esta manera, las placas de inducción son una solución más eficiente debido a que el calentamiento de los utensilios de cocina se realiza por medio de inducción electromagnética, que genera una corriente en las resistencias del utensilio para calentarlo. Esta tecnología tiene un coste elevado, y requiere de utensilios específicos para su uso, pero permite conseguir ahorros de aproximadamente 30-40% [34] en la factura eléctrica debido a que su consumo eléctrico es menor.

La clasificación energética más alta de los hornos existentes en el mercado es A+, ya que es uno de los electrodomésticos de mayor consumo. Dentro de los distintos tipos, el más eficiente es el horno eléctrico de convección, ya que favorece la distribución uniforme de calor. Como referencia, el horno TEKA HSB 635 P consume una potencia de 0.88 kWh/ciclo, frente a los 1.36 kWh/ciclo que consume el actualmente instalado, lo que supone un 35% de ahorro energético.

#### Facilidad de instalación-operación:

Los electrodomésticos son, generalmente, equipos fácilmente instalables, donde sólo es necesario conectar las tomas que necesiten, tanto de agua como de electricidad, para su funcionamiento, sin necesidad de hacer obra. En el caso de la instalación de la placa de inducción, ésta es más compleja debido a que su conexión a la red eléctrica se realiza de una forma específica, según fabricante, y puede requerir trabajos de carpintería o marmolería para acoplarla al mueble.

#### ❖ Sustitución de ventanas

#### Ahorro energético:

Los ahorros que se pueden conseguir en la sustitución de ventanas dependen de varios factores, como la elección de un marco adecuado, el tipo de cristal elegido, y el nivel de hermeticidad. Con estos factores, la transmitancia térmica del hueco cambia, así como los puentes térmicos del inmueble, y en función de la superficie que ocupa, el impacto en el consumo final de calefacción o refrigeración varía. De esta forma, el elemento más importante a la hora de maximizar los ahorros es el cristal, ya que es el que supone la mayor superficie de la ventana. Se debe conseguir una transmitancia térmica lo suficientemente baja para conseguir ahorros significativos. Después, se debe lograr un buen nivel de permeabilidad al aire, vigilando que la permeabilidad conseguida se mantenga durante toda la vida útil de la ventana. Por último, se debe estudiar la transmitancia térmica del marco, aunque este influye en menor medida en las pérdidas de calor y por tanto, logra un ahorro menor en el consumo energético.

Las ventanas actualmente instaladas están formadas por una hoja de 4 mm, una cámara de aire de 6 mm y otra hoja de 4 mm. Todas las ventanas presentan un marco de aluminio de 5 cm, excepto las situadas en la buhardilla, cuyo marco es de 4 cm de madera. La transmitancia térmica  $U$  considerada para todos los huecos es de  $5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . El CTE estima en el DB-HE-1 ([20]) que la transmitancia térmica máxima de vidrios y marcos en un inmueble en zona climática D es de  $3.50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , reflejado en la Tabla 15, por lo que el valor actual no es válido y debe ser mejorado.

<b>Cerramientos y particiones interiores</b>	<b>ZONAS A</b>	<b>ZONAS B</b>	<b>ZONAS C</b>	<b>ZONAS D</b>	<b>ZONAS E</b>
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con espacios <i>no habitables</i> , primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno <sup>(1)</sup> y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos <sup>(2)</sup>	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas <sup>(3)</sup>	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

<sup>(1)</sup> Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m

<sup>(2)</sup> Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de cámaras sanitarias, se consideran como suelos

<sup>(3)</sup> Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de desvanes no habitables, se consideran como cubiertas

Tabla 15. Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U en  $W/m^2 \cdot K$ .

Para estimar los ahorros, se utiliza como guía el catálogo de Guardian [35], en el que se muestra su gama SunGuard Extra Selective SNX 60. Este tipo de ventanas son de doble acristalamiento con una hoja de 6 mm, cámara de aire de 16 mm y otra hoja de 4 mm. El valor de transmitancia térmica del cristal es  $1.0 W/m^2 \cdot K$ . Por su parte, si se elige un perfil de PVC de 2 cámaras, la transmitancia térmica es de  $2.2 W/m^2 \cdot K$ , estimación según la norma UNE-EN ISO 100077-1. Con estos datos, se puede calcular la transmitancia térmica de las nuevas ventanas y el porcentaje de ahorro con respecto a las ventanas anteriores. Estos cálculos se recogen en la Tabla 16. Sólo se ha considerado la sustitución del cristal y el marco por otros de las mismas dimensiones, sin tener en cuenta otros efectos que influyen positivamente en el ahorro como el efecto producido por reducir el tamaño del marco de la ventana, la mejora de la permeabilidad o el factor solar del vidrio. La combinación de estos efectos aumenta el ahorro considerablemente, pudiendo alcanzar un 10-15% en términos globales.

Tipo	Ventana (m2)	Cristal (m2)	Marco (cm)	% Cristal	% Marco	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	Ahorro (%)
1	125x160	115x150	5	86%	14%	1.17	77%
2	210x160	200x150	5	89%	11%	1.13	77%
3	125x190	115x180	5	87%	13%	1.15	77%
4	210x190	200x180	5	90%	10%	1.12	78%
5	120x160	110x150	5	86%	14%	1.17	77%
6	105x65	95x55	5	77%	23%	1.28	74%
7	130x70	122x62	4	83%	17%	1.20	76%

Tabla 16. Estimación de la transmitancia térmica en cada tipo de ventana.

El porcentaje de ahorro medio por sustitución de todas las ventanas por otras de mayor eficiencia es del 77%. Como los huecos de las ventanas suponen una superficie total de  $18 m^2$ , el ahorro estimado se debe multiplicar por el porcentaje de la envolvente térmica que suponen estas ventanas. En este caso, fachadas, cerramientos y forjados suman en total una superficie de aproximadamente  $227 m^2$ , por lo que el ahorro global estimado sobre el consumo de calefacción es de 6.5%.

### Facilidad de instalación-operación:

La instalación de unas ventanas nuevas en sustitución por las ya existentes tiene una dificultad media, ya que requiere de trabajos de carpintería debido a que las medidas de los huecos no son medidas estándar, por lo que se necesita de un trabajo a medida para su instalación y hermeticidad, lo que resulta en un coste superior en el precio final de la ventana.

- ❖ Mejora de aislamientos

### Ahorro energético:

El ahorro producido por la mejora de aislamientos de los cerramientos del inmueble se estudia de la misma manera que la sustitución de ventanas. Dentro de los distintos tipos de aislamiento y formas de instalación, se ha decidido instalar únicamente medidas de rehabilitación de aislamientos, como el aislamiento interior en fachadas y cubierta, debido a que su instalación es más fácil, no modifica el exterior de la vivienda, por lo que no crea problemas de estética en la comunidad, y es una solución que genera ahorros significativos debido a que fachadas y cubierta son los elementos donde mayor pérdida de calor se produce.

Para la mejora del aislamiento de la fachada, se ha optado por la solución basada en insuflar lana de roca a granel en una perforación en la pared, para ocupar las cámaras de aire vacías. Este material aislante se reparte por toda la cámara y permite tener un sistema de aislamiento sin puentes térmicos. Con esta solución, se introduce un aislante ROCKWOOL ROCKIn S [36], con un coeficiente de conductividad térmica de 0.037 W/m·K, por lo que la resistencia térmica de la fachada aumenta como se muestra en la Tabla 17.

FACHADA			
Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia (m <sup>2</sup> ·K/W)
Ladrillo macizo	11.5	0.65	0.177
Enfoscado	1.5	1.2	0.013
Aislamiento Lana de Roca	2	0.037	0.541
Aislamiento	4	0.029	1.379
Ladrillo hueco	4.5	0.42	0.107
Yeso	1.5	0.26	0.058
Resistencia Térmica Superficial	-	-	0.2
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>	<b>2.596</b>	<b>2.474</b>
<b>Transmitancia Térmica (W/m<sup>2</sup>·K)</b>	<b>0.40</b>		

Tabla 17. Transmitancia térmica de las fachadas tras aplicar el aislamiento.

El cambio de la transmitancia térmica de 0.47 W/m<sup>2</sup>·K a 0.4 W/m<sup>2</sup>·K supone una disminución del 15% de la transferencia de calor a través de las fachadas.

La mejora de aislamiento en cubierta se realiza mediante la instalación de paneles de lana de roca ROCKWOOL ROCKCIEL-E-444 [37]. Esta lana de roca es de características similares a la utilizada en la fachada, con un coeficiente de conductividad térmica de 0.036 W/m·K, buen aislamiento acústico, doble densidad para poder soportar cargas en la cubierta, hidrófobo y no higroscópico, sistema de cubierta ventilada para evitar condensaciones e instalación continua para evitar puentes térmicos. Con este aislamiento, la resistencia y transmitancia de la cubierta quedan reflejados en la Tabla 18. La transmitancia térmica de la cubierta con el nuevo aislamiento disminuye en un 48%.

CUBIERTA			
Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia (m <sup>2</sup> ·K/W)
Aislamiento Lana de Roca	14.5	0.036	4.028
Yeso	1.5	0.26	0.058
Forjado cerámico	23	0.657	0.350
Aislamiento fibra de vidrio	12	0.032	3.750
Cámara de aire	2	-	0.190
Forjado cerámico	23	0.657	0.350
Cubierta de teja	-	-	-
Resistencia Térmica Superficial	-	-	0.17
TOTAL	76	1.606	8.896
Transmitancia Térmica (W/m <sup>2</sup> ·K)	0.11		

Tabla 18. Transmitancia térmica de la cubierta tras aplicar el aislamiento.

Para los forjados o suelos, se ha optado por unos paneles PST de lana de roca de la marca ISOVER [38]. Estos paneles son de rápida instalación y ofrecen resistencia al fuego y mecánica. Debido a sus características, no son hidrófilos ni higroscópicos, y se adaptan con facilidad a los elementos estructurales, siendo su instalación adecuada para los solados de parquet presentes en el inmueble. Su conductividad térmica es de 0.039 W/m·K. La transmitancia de los nuevos forjados se muestra en la Tabla 19 y la Tabla 20.

FORJADO A LOCAL NO CALEFACTADO			
Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia (m <sup>2</sup> ·K/W)
Tarima sobre rastreles	2	0.12	0.167
Aislamiento entre rastreles	2	0.029	0.690
Forjado cerámico	23	0.657	0.350
Yeso	1.5	0.26	0.058
Aislamiento Lana de Roca	2.2	0.039	0.564
Resistencia Térmica Superficial	-	-	0.4
TOTAL	30.7	1.105	2.228
Transmitancia Térmica (W/m <sup>2</sup> ·K)	0.45		

Tabla 19. Transmitancia térmica del forjado a local no calefactado tras aplicar el aislamiento.

FORJADO A ESPACIO EXTERIOR			
Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia (m <sup>2</sup> ·K/W)
Moqueta	1	0.04	0.250
Solera de cemento	2	1.1	0.018
Aislamiento	2	0.029	0.690
Forjado cerámico	23	0.657	0.350
Aislamiento Lana de Roca	2.2	0.039	0.564
Empanelado de madera	1.5	0.12	0.125
Resistencia Térmica Superficial	-	-	0.26
<b>TOTAL</b>	<b>31.7</b>	<b>1.985</b>	<b>2.257</b>
Transmitancia Térmica (W/m <sup>2</sup> ·K)	0.44		

Tabla 20. Transmitancia térmica del forjado a espacio exterior tras aplicar el aislamiento.

De esta manera, el ahorro global producido por el aislamiento de fachadas y cubierta se calcula sobre el porcentaje de la envolvente térmica que ocupan, consiguiendo así un ahorro del 3% en fachadas, 15% en cubiertas y 11% en forjados, lo que supone un ahorro combinado de un 29% sobre el consumo final de energía.

#### Facilidad de instalación-operación:

Las medidas de aislamiento adoptadas resultan las más sencillas a la hora de rehabilitar térmicamente fachadas y cubierta, puesto que la obra requerida es escasa y se obtienen buenos resultados.

El insuflado del aislamiento en fachadas se realiza desde varios puntos del exterior de la vivienda, tras una serie de medidas previas. Se hace una perforación de unos 25 mm de diámetro a través de la cual se inyecta la lana de roca dentro de la cámara de aire, controlando la densidad insuflada. Posteriormente, se sellan las perforaciones. Esta obra tiene un tiempo de duración de 1-2 días.

La solución constructiva para la cubierta es más compleja que la de aislamiento de fachadas debido a la necesidad de construir un espacio de buhardilla formado por tabiques que retenga la lana de roca, puesto que la cámara de aire de la cubierta no puede contener el producto. Una vez equipado el acceso a la buhardilla con un marco de madera y una trampilla para retener la lana, se efectúa el soplado del producto de la misma manera que se hace en el aislamiento de fachadas.

- ❖ Sustitución de elementos radiadores

#### Ahorro energético:

La Directiva 012/27/UE de eficiencia energética del Parlamento Europeo y del Consejo obliga a instalar sistemas de medición individual en los sistemas de calefacción, por lo que el RITE establece que es obligatorio la instalación de válvulas o llaves con cabezal

termostático. La instalación de estas válvulas en todos los radiadores permite ahorros de entre 5-15% de energía.

Sin embargo, la solución de uso de radiadores de baja temperatura permite conseguir ahorros de hasta un 41% en calefacción y un 27% en energía primaria [39] si se combinan con un intercambiador de calor FTX [40]. No obstante, el ahorro puntual de la sustitución de los radiadores es muy reducido, siendo necesario un reequipamiento de la instalación para conseguir ahorros notables.

#### Facilidad de instalación-operación:

La sustitución de las válvulas de los radiadores, así como la instalación de unos nuevos resulta muy sencilla y económica, y el mantenimiento es sencillo, bien a base de purgas en los radiadores convencionales con la nueva válvula o la posibilidad de abrir la carcasa de los radiadores de baja temperatura para realizar una limpieza del intercambiador de calor y sus aletas.

Su operación también es sencilla, ya que ambas tecnologías cuentan con controles automáticos que regulan de forma autónoma la temperatura del radiador, con capacidad para conectarse con un termostato inteligente y programar su funcionamiento.

### 3.3.2. MEDIDAS TIPO SUPPLY-SIDE

#### ❖ Paneles fotovoltaicos

#### Ahorro energético:

Los paneles fotovoltaicos instalados en un inmueble son elementos de ahorro explícito, debido a que la generación de electricidad que producen contribuye a reducir la demanda eléctrica de la vivienda, supliendo una parte o la mayoría del consumo, por lo que el balance neto es nulo o menor que sin los paneles.

Para poder caracterizar el ahorro que producen estos paneles, se ha de elegir un tipo de entre los analizados en el apartado 3.2.1. Debido a su elevada eficiencia, un coste menor y una relación superficie ocupada-generación óptima, se ha optado por unos paneles fotovoltaicos policristalinos para el estudio de los ahorros. En concreto, se ha elegido unos paneles solares de la marca Canadian Solar, que es una compañía canadiense y china dedicada a la fabricación de módulos solares y sistemas de energía solar fotovoltaica.

La elección de la potencia de estos paneles se realiza en función de la potencia contratada. Actualmente, el inmueble tiene una potencia contratada de 5.5 kW, que raramente se sobrepasa. Estimando las horas de funcionamiento de los distintos equipos eléctricos, iluminación y otros dispositivos, el consumo pico de la vivienda no suele superar los 3.5 kW. Con este dato, los paneles elegidos son el panel MAXPOWER C56U [41] de 330 Wp, cuya tabla de características se muestra en la Tabla 21.

Parámetro	Valor
Potencia máxima a STC (W)	330
Tensión de circuito abierto (V)	45.6
Tensión en punto de máxima potencia (V)	37.2
Intensidad de cortocircuito (A)	9.45
Intensidad en punto de máxima potencia (A)	8.88
Rendimiento (%)	16.97
Coeficiente de temperatura de Isc (%/°C)	0.05
Coeficiente de temperatura de Voc (%/°C)	-0.31
Coeficiente de temperatura de Pmax (%/°C)	-0.40
Medidas (mm)	1960 x 992 x 35

Tabla 21. Características técnicas de los paneles fotovoltaicos.

Estos paneles se instalan sobre la cubierta, en el tejado que tiene orientación sur, debido a que es el que más horas de radiación solar recibe al día. Con 10 paneles, la potencia instalada es de 3.3 kWp. Según el fabricante, el rendimiento de estos paneles es de 16.97% y a los 25 años, la pérdida de rendimiento es del 80%.

La estimación de la irradiación de la zona y la generación de estos paneles se realiza a través de una herramienta de simulación *online* de la Comisión Europea [42]. Esta herramienta estima, en función de la geolocalización, la irradiación de la zona en la que se encuentran instalados los paneles, con modelos numéricos de predicción de clima corregidos por estaciones meteorológicas. La producción de electricidad se simula a partir de la tecnología instalada, en este caso cristal de silicio, la potencia pico instalada y las pérdidas del sistema. También se le pueden añadir otras entradas como el tipo de montaje, el ángulo de inclinación o de acimut y el precio de la electricidad.

Con esta simulación, se recogen los resultados de producción anual, pérdidas y producción mensual, en la Tabla 22 y la Figura 11.

Entrada		Salida	
Base de datos	PVGIS-CMSAF	Producción anual (kWh)	3150
Tecnología	Cristal de silicio	Irradiación anual (kWh/m <sup>2</sup> )	1260
Potencia instalada (kWp)	3.3	Variabilidad anual (kWh)	50.7
Pérdidas del sistema (%)	14	Pérdidas totales (%)	23.9
Ángulo de inclinación (°)	35	Variación por ángulo de incidencia (%)	-5.3
Ángulo de acimut (°)	-135	Variación por temperatura y baja irradiación (%)	-6.9

Tabla 22. Datos de simulación.

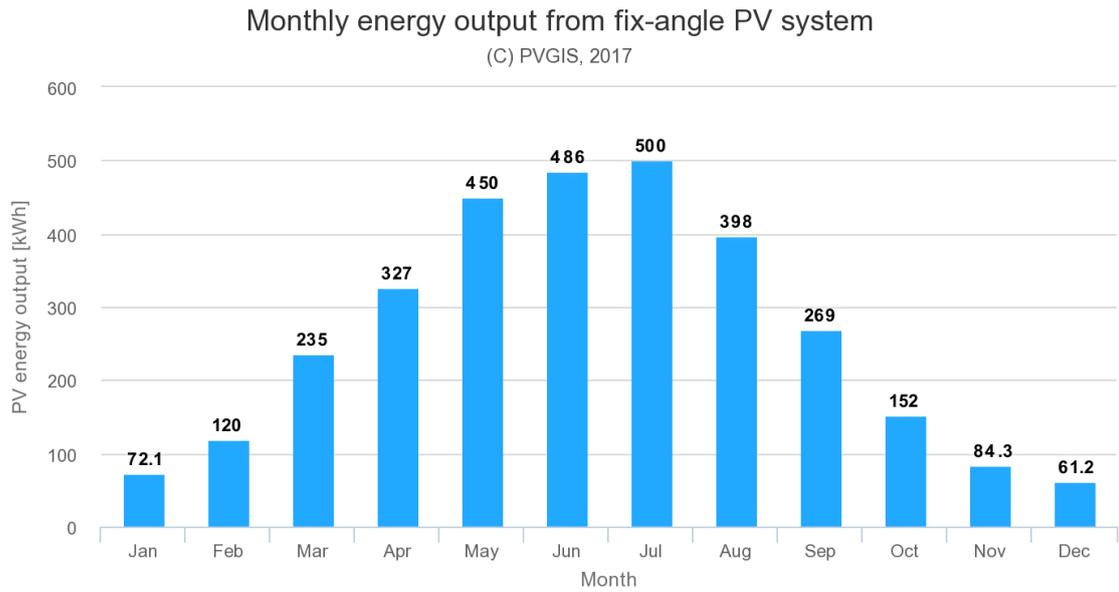


Figura 11. Producción mensual de los paneles fotovoltaicos.

Si se compara la Figura 11 con la Figura 6, se observa que, desde abril hasta septiembre, la demanda eléctrica del inmueble en 2018 podría ser satisfecha en su totalidad, reduciendo en los demás meses la demanda en gran medida. En la Figura 12 se refleja esta diferencia:

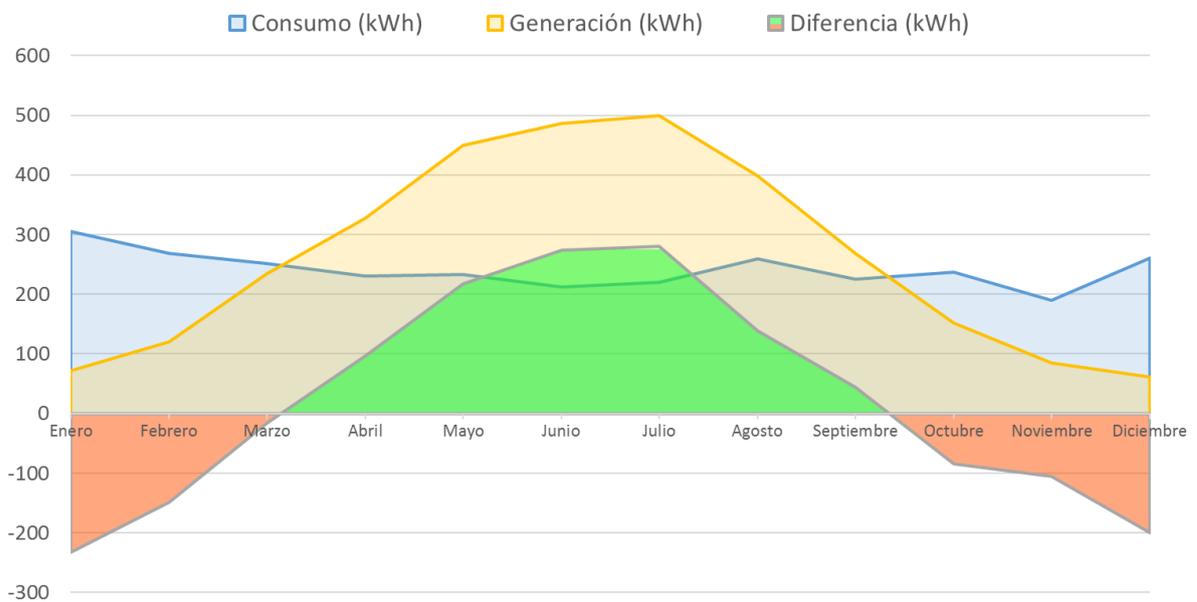


Figura 12. Generación frente al consumo eléctrico de 2018.

Sin baterías de almacenamiento, el superávit de generación eléctrica que se produce durante los meses de primavera-verano no es aprovechable y debe ser vertido a la red. Este hecho limita los ahorros potenciales por esta tecnología, por lo que siempre se suelen instalar con una batería capaz de absorber la energía generada que no ha sido

consumida para poder utilizarlo en otros períodos. El ahorro estimado por la instalación de estos paneles fotovoltaicos, y teniendo en cuenta el consumo de energía eléctrica de 2018, es de aproximadamente un 73%, siendo el consumo final de 788.4 kWh con los paneles instalados, frente a los 2,892 kWh que se consumieron en 2018.

Facilidad de instalación-operación:

El montaje e instalación de los paneles fotovoltaicos se realiza en la cubierta, en el tejado con orientación suroeste. Esta instalación tiene una dificultad media, debido a que consiste en un montaje de los paneles en una estructura metálica que sirve de soporte y fija su orientación; un inversor que convierte la electricidad generada en corriente continua a corriente alterna; el cableado de la instalación para conectar los paneles fotovoltaicos a la red eléctrica de la vivienda; tubos flexibles donde se guían los cables; fusibles e interruptores automáticos que garantizan la protección frente a cortocircuitos y otras faltas; una puesta a tierra para despejar corrientes de defecto y un contador inteligente que mide la producción de los paneles (Ilustración 12). La posición de los paneles sobre la cubierta se muestra en la Ilustración 13.

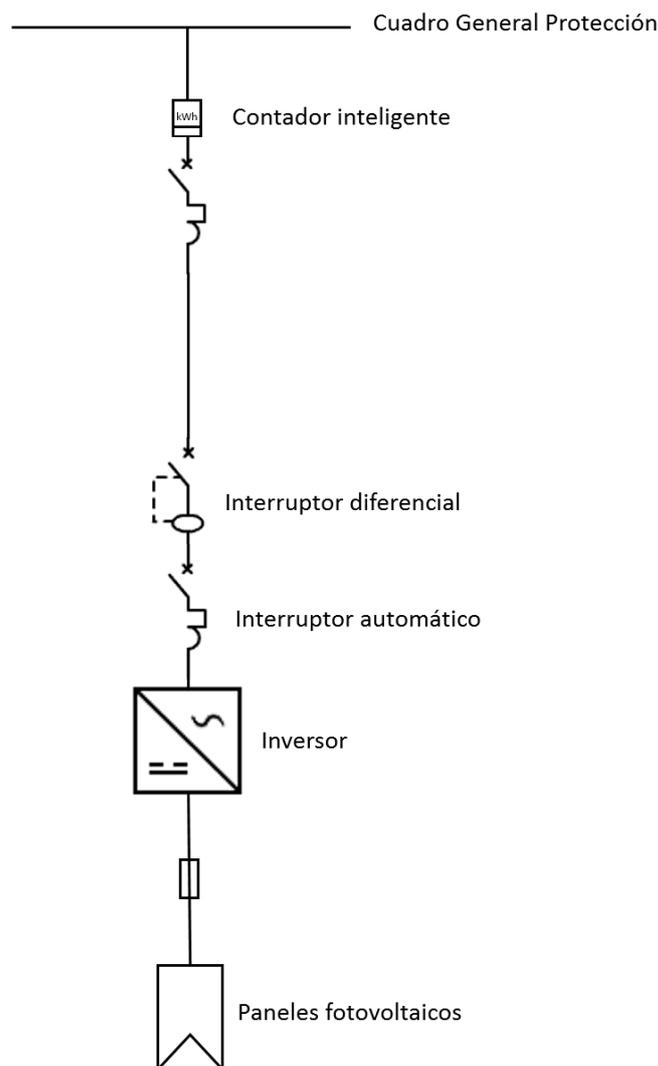


Ilustración 12. Esquema unifilar de la instalación fotovoltaica.

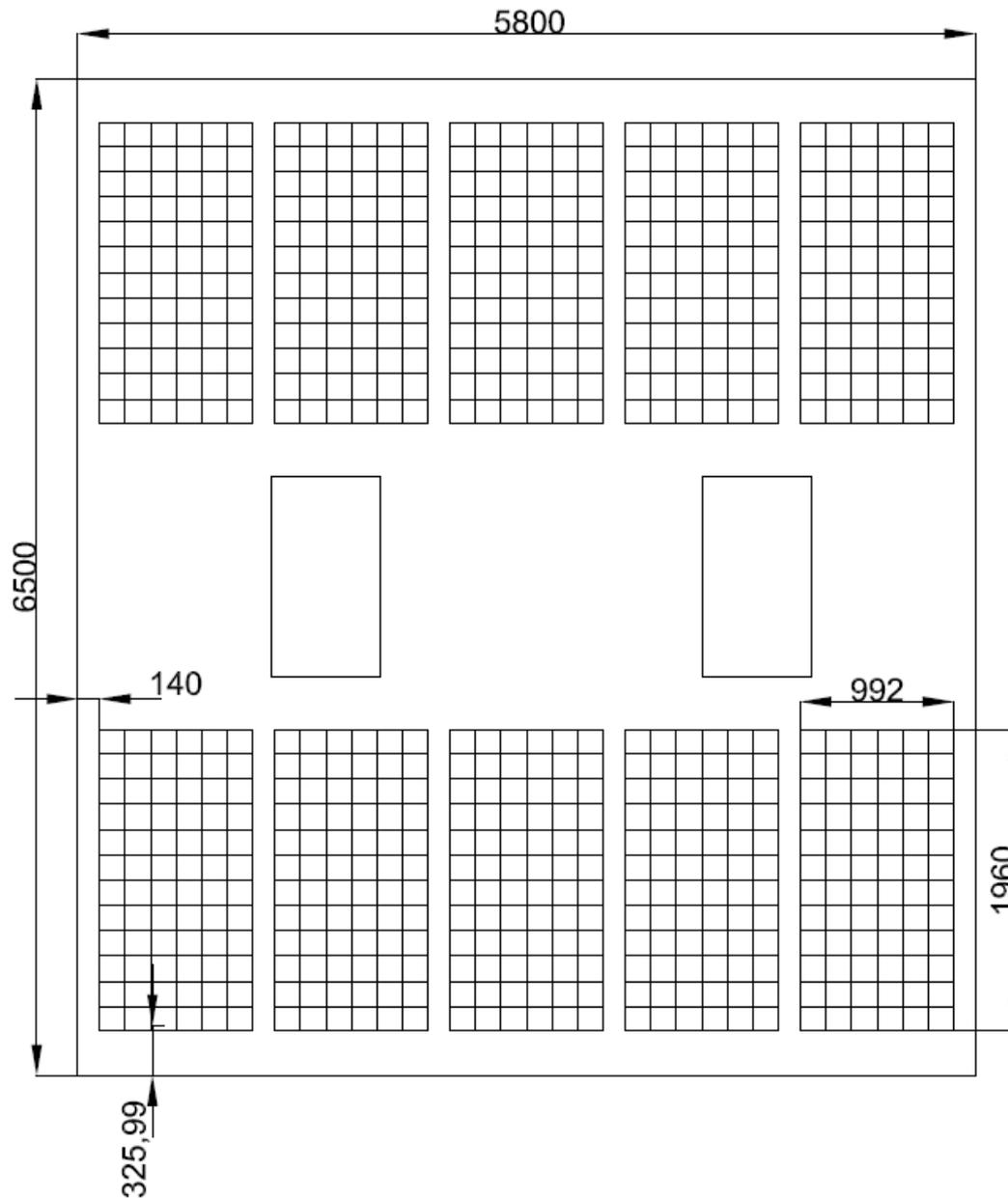


Ilustración 13. Posición de los paneles fotovoltaicos sobre el tejado.

❖ Baterías de almacenamiento de electricidad

Ahorro energético:

Aunque las baterías de almacenamiento de electricidad no ofrecen grandes ahorros por el momento cuando se instalan solas, es posible utilizarla para almacenar electricidad en períodos de precio bajo y utilizarla en aquellas franjas horarias en las que el precio de la electricidad es mayor, produciendo un ahorro como resultado de esta diferencia de precios. Sin embargo, la maximización de los ahorros en la factura eléctrica se logra a través de una sinergia entre los paneles fotovoltaicos y una batería de almacenamiento. Esta batería tiene la capacidad de absorber el excedente de producción de los paneles fotovoltaicos para conseguir dos objetivos: reducir o eliminar

los vertidos a la red eléctrica y almacenar la energía para su utilización en otras franjas horarias.

Este sistema de almacenamiento sólo tiene sentido cuando se produce un exceso de generación significativo, y no es apto para instalaciones de generación renovable con poco exceso de producción. En el caso del inmueble analizado, si se opta por instalar los paneles fotovoltaicos analizados anteriormente, se puede llegar a producir un exceso de aproximadamente 280 kWh durante los meses de verano, siendo una gran cantidad de energía aprovechable que puede cubrir en su totalidad la demanda de esos meses.

Para la instalación, se ha optado por un sistema POWERWALL de la marca TESLA [43], cuyas especificaciones se muestran en la Tabla 23.

Parámetro	Valor
Capacidad (kWh)	13.5
Eficiencia (%)	90
Potencia (kW)	7 pico / 5 continuo
Medidas (mm)	1150 x 755 x 155

Tabla 23. Especificaciones de la batería de almacenamiento.

Conocido el consumo anual de electricidad del inmueble para 2018, se estima un consumo diario medio de aproximadamente 7.92 kWh, aunque este consumo varía entre los periodos de invierno y verano, en los cuales el consumo puede ser diferente en hasta un 30%. Por lo tanto, la capacidad de este sistema de almacenamiento es adecuada para abastecer el consumo diario del inmueble durante casi dos días en caso de desconexión de la red y pérdida de la generación fotovoltaica.

La estimación del ahorro producido por la batería se realiza a partir de la suposición de que los paneles fotovoltaicos permiten la carga de esta batería durante todo el año y que ésta se carga y descarga en su totalidad en los ciclos de uso, por lo que se estima una reducción de la demanda de electricidad de la vivienda de un 95%. Con estas suposiciones, la descarga de esta batería se producirá en los meses donde la generación fotovoltaica no es capaz de cubrir la totalidad de la demanda, ayudando a la reducción del consumo durante el día y realizando la carga necesaria en las horas valle donde el precio de la electricidad es menor.

#### Facilidad de instalación-operación:

La batería de almacenamiento elegida aprovecha la instalación eléctrica fotovoltaica, utilizando el inversor que necesitan los paneles fotovoltaicos para transformar la corriente continua en corriente alterna. Además, se debe instalar un controlador de carga que regule la intensidad de carga de la batería para preservar su vida útil y controlar su estado. Si, por otro lado, se opta por instalar la batería sin los paneles, es necesario instalar un inversor particular para la batería, además de las protecciones pertinentes como fusibles y otros dispositivos de protección frente a sobrecargas. El esquema de conexión con paneles fotovoltaicos se muestra en la Figura 13.

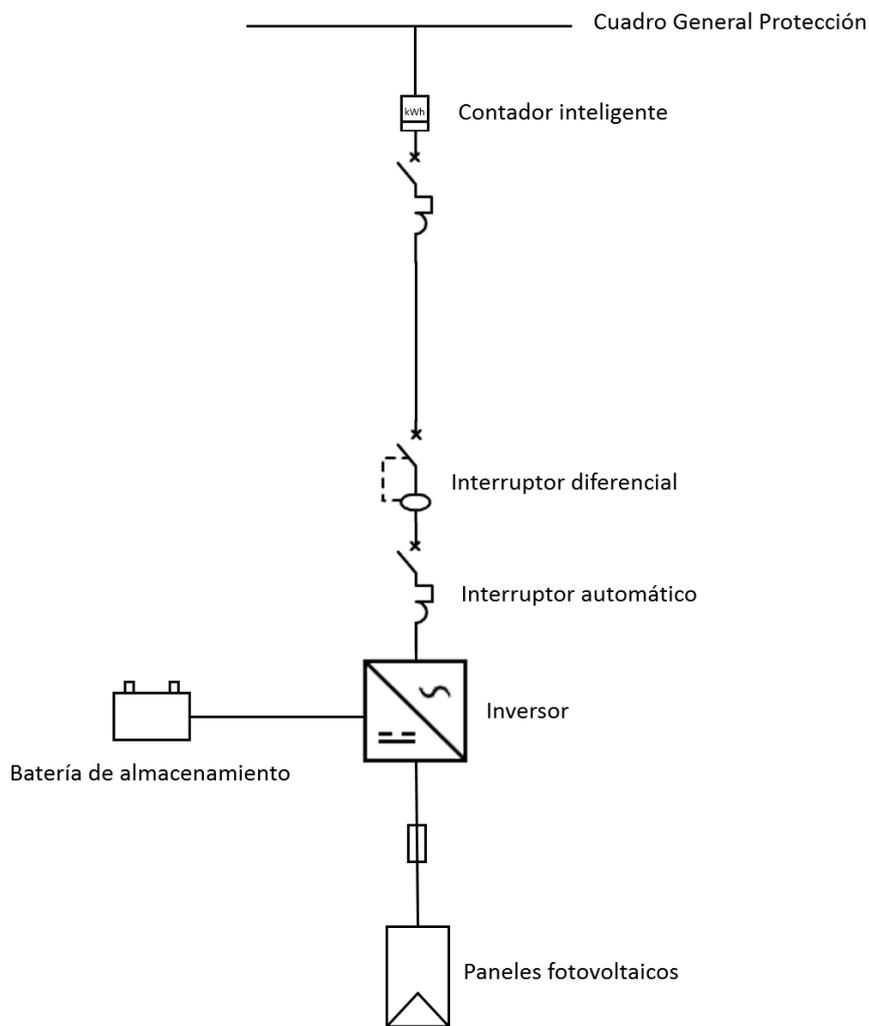


Figura 13. Esquema unifilar de la instalación fotovoltaica con batería de almacenamiento.

❖ Sustitución del sistema de calefacción

Ahorro energético:

El estudio de este apartado se realiza analizando los ahorros producidos por los distintos tipos de tecnologías planteadas en el apartado 3.2.3.

La primera opción es la sustitución de la caldera. Actualmente, no es posible cambiar el tipo de combustible que recibe la caldera para su funcionamiento, ya que ésta se encuentra conectada mediante una canalización a un depósito común para toda la comunidad de vecinos que opera con gasóleo, por lo que sólo se descarta la instalación de una caldera de gas u otro tipo de combustible. Sin embargo, debido a la antigüedad de esta caldera, es posible sustituirla por otra del mismo tipo, pero con tecnología más moderna. Estas calderas alcanzan una eficiencia de hasta un 95% en carga para un salto de temperaturas de 80/60°C, mientras que las calderas de condensación llegan al 97%. Comparado con el rendimiento del 85% de la caldera actual, el ahorro inmediato en el consumo de combustible para el calentamiento de agua y calefacción es de un 10-15%.

Los acumuladores eléctricos, al sustituir el tipo de calefacción de térmica a eléctrica, pueden lograr también un ahorro considerable en la factura eléctrica. Estos ahorros están sujetos a dos restricciones: la instalación de pocos elementos de este tipo y su utilización en viviendas situadas en zonas de climas suaves o cálidos. La razón de estas restricciones se debe a que la calefacción de tipo eléctrica tiene un coste mayor que la obtenida por combustible, por lo que los ahorros se producirán si se utiliza puntualmente y durante pocas horas o días. Estos acumuladores eléctricos tienen una potencia nominal de entre 0.5 y 1.5 kW. Suponiendo una potencia media de 1.1 kW y sustituyendo los 14 radiadores presentes en el inmueble, para la misma demanda térmica de 13.22 kW, suponiendo 145 días de uso de calefacción (desde mediados de octubre hasta principios de marzo) durante 6 horas, el consumo de electricidad aumenta en casi 13,400 kWh eléctricos al año sólo por la utilización de calefacción eléctrica, frente a los 9,529 kWh térmicos que se utilizaron para calefacción con gasóleo. De esta manera, se demuestra que los acumuladores eléctricos no son óptimos para este inmueble ya que no producen ningún tipo de ahorro.

Las bombas de calor producen sus ahorros debido al gran valor de *COP* o *Coefficient of Performance*, que indica cuánta energía térmica se puede extraer a partir de 1 kWh eléctrico. No obstante, este valor mide la capacidad de transferir energía de un foco caliente a uno frío y viceversa, y no refleja la eficiencia del equipo, que mide la capacidad de transformación de la energía. De esta manera, el valor de *COP* de las bombas de calor depende de las condiciones de temperatura del foco donde se instalan.

Las bombas de calor por aerotermia son generalmente eléctricas, ya que necesitan de un compresor para poder realizar el proceso termodinámico en el condensador y evaporador. De esta manera, la eficiencia de las bombas de calor por aerotermia se ve fuertemente condicionada por la eficiencia del condensador en el ciclo. Para la calefacción del inmueble, se debe instalar bombas de calor en modo *split* en todas las estancias de la vivienda. Como sólo hay una bomba de calor instalada en uno de los dormitorios actualmente, se debe instalar 9 bombas adicionales para disponer de uno de ellos por cada estancia. Si se supone un consumo medio de 0.9 kW en modo calefacción, con una potencia térmica media de 3.2 kWt, bajo las mismas condiciones de calefacción estudiadas en los acumuladores eléctricos, el consumo de electricidad introducido por la calefacción con estas bombas de calor es de 7,830 kWh/año, lo que supone un ahorro del 18%, con respecto al consumo de gasóleo.

No se estudiará el sistema de geotermia ni de hidrotermia debido a que, por localización y construcción, no es posible aplicarlos al inmueble estudiado. El sistema de geotermia necesita una construcción utilizando los pilares y cimentación de la vivienda y una extensión de terreno elevada que entra en conflicto con los límites de terreno disponibles por vivienda en la comunidad de vecinos. Por su parte, la hidrotermia necesita de un depósito de agua subterráneo para su aplicación, y no existe ningún pozo disponible en los alrededores de la vivienda para su funcionamiento.

Por último, se estudian los ahorros que se pueden conseguir con la instalación de suelo radiante en la vivienda. Si se elige la instalación de suelo radiante eléctrico, se estima

que el consumo medio de este tipo de calefacción es de 150 W/m<sup>2</sup>. Teniendo en cuenta los requisitos caloríficos de cada estancia y la superficie a calentar estimados en la Tabla 9, y bajo los supuestos de calefacción anteriormente planteados, el consumo anual en electricidad para producir dicha calefacción es de casi 19,700 kWh/año, por lo que no resulta viable su instalación debido a que no produce ahorros sino sobrecostes en la factura.

Sin embargo, al optar por una instalación de suelo radiante por agua, se aprovecha el sistema de calefacción existente por caldera de gasóleo y se modifica la distribución, eliminando los radiadores y sustituyéndolos por una red de tuberías instalados bajo el forjado. Como este sistema trabaja a una temperatura aproximada de 40°C en invierno y 16°C en verano, funciona de igual manera que los radiadores de baja temperatura, por lo que producirá ahorros similares. Si se estima el salto térmico de la calefacción instalada en unos 40°C, con 60°C de entrada a radiadores y 20°C en el retorno a la caldera, conocido que la caldera acumula aproximadamente 150 litros, de los cuales 98 litros se disponen para calefacción, y utilizando el calor específico del agua, la potencia necesaria para calentar ese volumen de agua es de aproximadamente 4.5 kW en el sistema de radiadores frente a 2.7 kW en suelo radiante por agua. Esto supone un ahorro bruto de un 40% en cuanto a potencia térmica aportada al agua, que en términos de gasóleo supone un 29%, teniendo en cuenta una potencia transferida al agua del 85% y el rendimiento propio de la caldera, que también es de un 85%.

En la Tabla 24 se muestra un resumen del ahorro energético obtenido por cada uno de los sistemas de calefacción, comparados con el gasto en gasóleo producido en 2018.

Sistema	Consumo energético (kWh/año)	Ahorro
Caldera de gasóleo nueva	15,732	11%*
Acumuladores eléctricos	13,398	-41%
Bombas de calor (aeroterminia)	7,830	18%
Suelo radiante eléctrico	19,700	-107%
Suelo radiante de agua	6,786	29%

Tabla 24. Resumen de ahorro por sustitución del sistema de calefacción.

\*Nota: El ahorro energético de la caldera de gasóleo nueva se compara con el consumo de gasóleo en kWh tanto de calefacción como de agua caliente sanitaria, frente al resto de medidas, que únicamente se comparan con el consumo dedicado a las necesidades de calefacción, ya que estas medidas no proporcionan agua caliente sanitaria.

#### Facilidad de instalación-operación:

Generalmente, la sustitución e instalación de nuevos sistemas de calefacción en un inmueble es una tarea de complejidad elevada. Muchos de ellos requieren cambios en canalizaciones, obras de adecuación de las zonas y su instalación dura varios días o semanas.

La sustitución de la caldera por otra tecnológicamente más moderna es la solución más sencilla de instalar, ya que la infraestructura de la caldera existente es aprovechable para la nueva caldera, aunque puede que se requiera de algún cambio adicional en el

sistema de alimentación de gasóleo al quemador o ajustar la potencia de la bomba para trabajar con las temperaturas deseadas.

Los acumuladores eléctricos requieren de un sistema de cableado eléctrico nuevo, ya que sustituyen a los radiadores instalados por equipos eléctricos. Estos acumuladores deben estar conectados a un circuito adicional con sus correspondientes protecciones, que debe estar distribuido en todas las estancias donde se localicen y se debe conectar al cuadro general de protección y mando de la vivienda. Además, si este sistema sustituye completamente al sistema de calefacción previo, se debe retirar toda la canalización de tuberías de agua que llegan desde la caldera hacia los distintos puntos de la vivienda donde se encontraban los radiadores.

Los equipos de bomba de calor son algo más sencillos de instalar. Estos se conectan a la red eléctrica por medio de tomas de fuerza a través de los *split*, y disponen de una unidad exterior. Como trabajan a circuito cerrado con un líquido refrigerante caloportador, no necesitan una conexión al sistema de tuberías de agua ni cambios en el diseño del sistema de calefacción. Su instalación se puede realizar en varias horas.

Por último, el suelo radiante requiere de una obra extensa en la que se debe levantar el forjado de la vivienda. En este sistema se instalan varias capas de materiales, como un *film* antihumedad, un panel aislante térmico, una tubería multicapa de polietileno reticulado y un mortero con aditivos que conforma la base del suelo. Como actualmente el suelo de la vivienda está formado por parqué, para mantener la estética del inmueble se necesita volver a colocar este tipo de pavimento.

En la Figura 14 se presenta un cuadro comparativo en el que se disponen las distintas tecnologías analizadas, tanto del lado de la demanda como del lado de la generación, en función del porcentaje de ahorro que producen y su facilidad de instalación y operación, valorada en una escala del 1 (más difícil) al 6 (más fácil). Con este cuadro, se muestra que tecnologías se deben priorizar en la instalación de medidas para la mejora de eficiencia del inmueble. Aquellas medidas que produzcan buenos ahorros energéticos y, a su vez, sean fáciles de instalar y/u operar serán medidas que deben ser prioritarias ya que permiten conseguir ahorros de manera rápida y pueden ser instalados en poco tiempo.

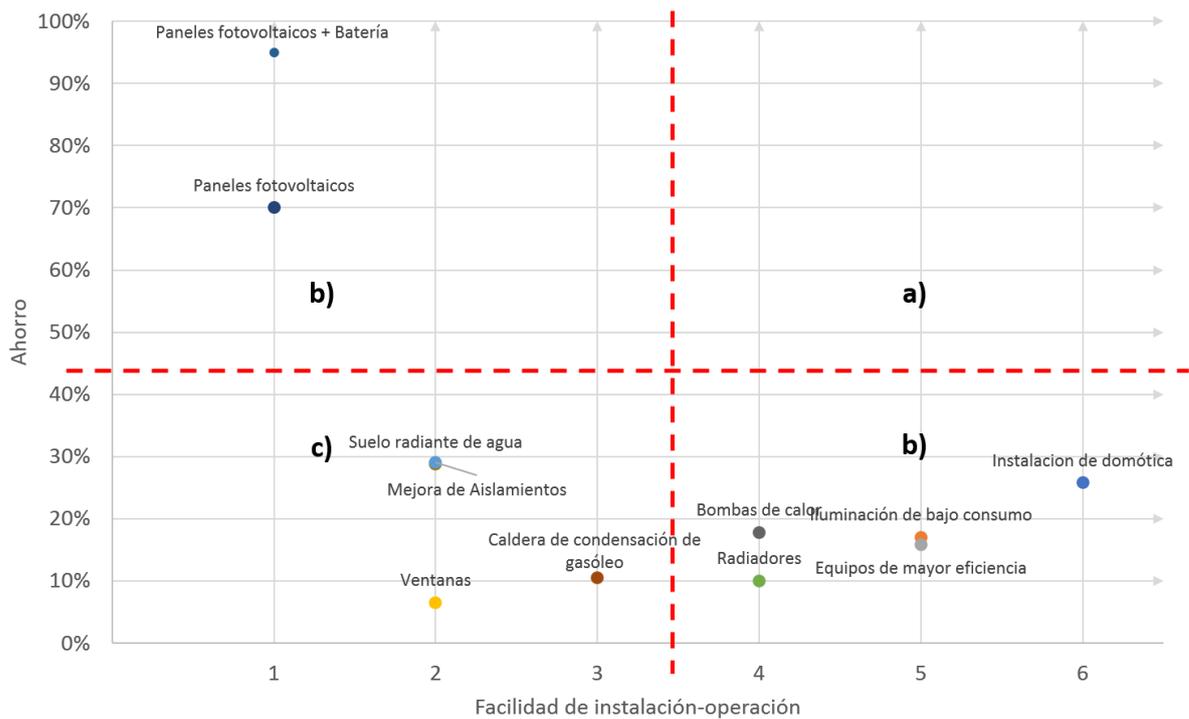


Figura 14. Comparación ahorros frente a facilidad de instalación y operación.

El cuadro se ha dividido en tres zonas, las zonas a), b) y c). Estas zonas señalan qué proporción ahorro-facilidad de instalación tiene cada una de las tecnologías analizadas. La zona a) es la zona óptima y de máxima prioridad. En esta región, las tecnologías producen un ahorro considerable en la factura y además su instalación resulta poco costosa, por lo que se debe instalar de forma prioritaria. Sin embargo, debido a las tecnologías analizadas, ninguna cumple los requisitos para entrar en la zona a). La zona b) es doble debido principalmente a que son tecnologías que, o bien son muy sencillas de instalar u operar y producen un ahorro notable o son tecnologías que producen un gran ahorro, aunque requieran de una estructura más compleja para poder utilizarlas. En estas regiones se encuentran las medidas de carácter eléctrico, debido a que las medidas consideradas pueden ser instaladas por el usuario o por un técnico especializado en poco tiempo, y repercuten levemente en la factura. Por su parte, los paneles fotovoltaicos tienen una instalación compleja debido a que se debe alterar el sistema de circuitos eléctricos de la vivienda, pero generar un impacto muy significativo en el consumo eléctrico de la red. Por último, la zona c) recoge aquellas medidas que no producen unos ahorros considerables para la complejidad de su instalación. La sustitución de ventanas, la mejora de aislamientos en fachadas o el cambio en el sistema de calefacción de la vivienda son medidas que requieren obras importantes de carácter estructural en el inmueble y se realizan en tiempo largo, por lo que son la última prioridad en cuanto a su realización.

Finalmente, los ahorros obtenidos por cada una de las medidas se pueden agregar, con lo que se obtiene una reducción significativa de la demanda final de la vivienda, tanto

térmica como eléctrica. Este cambio en la demanda antes y después de la aplicación de las medidas se muestra en la Figura 15.

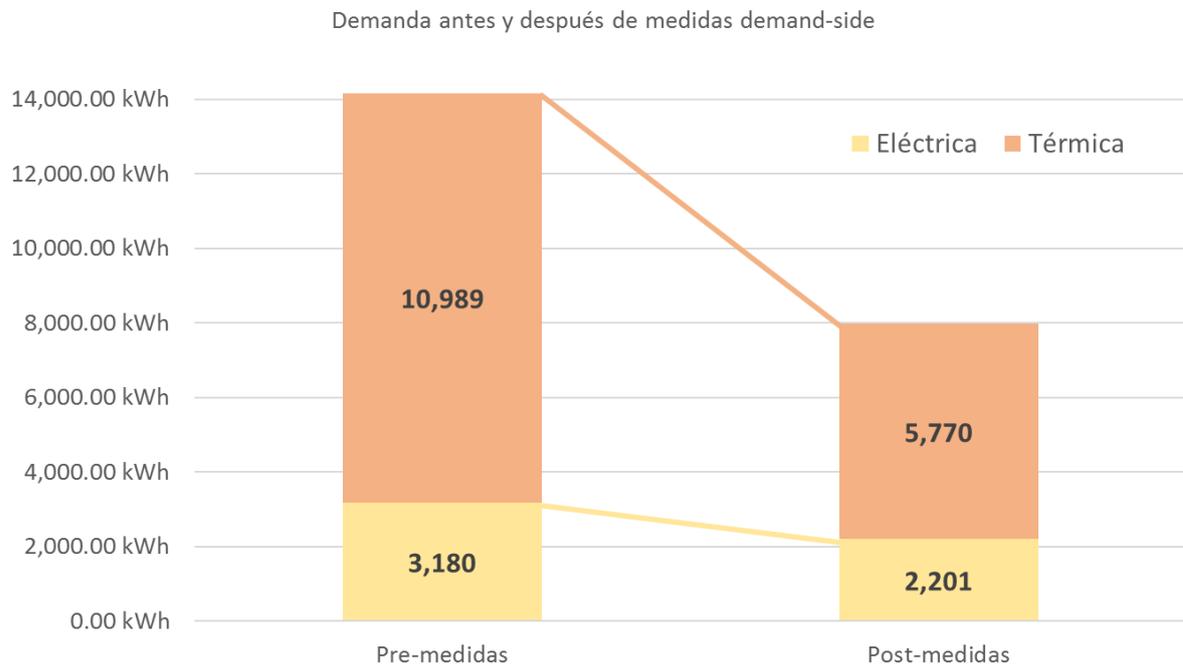


Figura 15. Demanda antes y después de la aplicación de medidas demand-side.

A modo de resumen, se ha recogido todo el análisis anteriormente expuesto en dos tablas, la Tabla 25 que recoge todas las medidas aplicadas en el lado de la demanda y la Tabla 26, que reúne las medidas del lado de la generación o abastecimiento. Estas tablas muestran el tipo de medida, a qué tipo de instalación pertenecen, los valores de demanda antes y después de su aplicación y el ahorro producido por cada una de ellas tanto en términos de energía como en porcentaje del total.

En estas tablas se muestra, además, una columna denominada “Puntuación” en la que se obtiene una puntuación equivalente para cada una de las medidas, con un máximo de 600 puntos. Todas aquellas medidas que presenten una puntuación positiva son candidatas a ser instaladas en el inmueble, y su prioridad se obtiene a partir del orden descendiente de las puntuaciones, siendo la puntuación más alta la primera medida en ser instalada y la última aquella medida con la menor puntuación.

Medidas demand-side									
Tipo de medida	Tipo de instalación	Medida	Demanda pre-medida (kWh)	Demanda post-medida (kWh)	Ahorro (kWh)	Ahorro (%)	Facilidad de instalación	Puntuación	Candidato
Eléctrica	Domótica	Enchufes inteligentes	1,300	965	335	26%	6	155	Sí
	Iluminación	Iluminación de bajo consumo	337	51	286	85%	5	425	Sí
	Electrodomésticos	Equipos más eficientes	1,022	664	358	35%	5	175	Sí
Térmica	Aislamiento en huecos	Ventanas doble acristalamiento + marco PVC	7,403	6,922	481	6.5%	2	13	Sí
	Aislamiento de fachadas	Insuflado de lana de roca	7,403	7,181	222	3%	2	6	Sí
	Aislamiento de cubierta	Paneles de lana de roca	7,403	6,293	1,110	15%	2	30	Sí
	Aislamiento de suelos	Paneles de lana de roca	7,403	6,589	814	11%	2	22	Sí
	Elementos radiadores	Instalación de válvulas termostáticas		7,403	6,663	740	10%	5	50
Radiadores de baja temperatura			7,403	5,552	1,851	25%	4	100	Sí

Tabla 25. Resumen de medidas tipo demand-side.

Medidas supply-side										
Tipo de medida	Tipo de instalación	Medida	Demanda pre-medida (kWh)	Demanda post-medida (kWh)	Ahorro (kWh)	Ahorro (%)	Facilidad de instalación	Puntuación	Candidato	
Eléctrica	Fotovoltaica	Paneles fotovoltaicos	2,201	660	1,541	70%	1	70	Sí	
		Paneles fotovoltaicos + batería	2,201	110	2,091	95%	1	95	Sí	
Térmica	Calefacción + ACS	Caldera de gasóleo nueva	9,356	8,371	985	11%	3	32	Sí	
		Calefacción	Acumuladores eléctricos	5,770	7,628	-1,858	-32%	4	-129	No
			Bombas de calor Aire-Aire	5,770	4,741	1,029	18%	4	71	Sí
			Suelo radiante eléctrico	5,770	13,930	-8,161	-141%	2	-283	No
		Suelo radiante de agua	5,770	4,109	1,661	29%	2	58	Sí	

Tabla 26. Resumen de medidas tipo supply-side.



## 4. ANÁLISIS ECONÓMICO - FINANCIERO DE LAS MEDIDAS DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

Este capítulo aborda el estudio económico y financiero de las medidas planteadas en el capítulo 3. Anteriormente, se analizaron las medidas que se pueden adoptar para mejorar la eficiencia energética del inmueble desde un punto de vista técnico, estudiando su función, las variantes de estas medidas, detalles constructivos, qué tecnología utilizan y qué porcentaje de ahorro se puede alcanzar con su aplicación. El objetivo de este capítulo es analizar económicamente cuál es el coste de estas medidas, que se realiza mediante un estudio de las distintas ofertas en el mercado, de forma que se pueda valorar el ahorro obtenido por su aplicación frente a su coste.

Los costes de las medidas se obtienen de distintas fuentes como catálogos de fabricantes, bases de datos de proveedores y páginas *web* de distribuidores. Debido a que algunas medidas presentan costes muy dispares, se homogeneiza el coste de la medida mediante un repaso de las funcionalidades básicas y una aproximación del precio medio de aquellos elementos que cumplen con las características mencionadas. Además, las medidas que requieren de una instalación por medio de empresas especializadas incluyen en su coste una aproximación del coste de la mano de obra necesaria. Todos estos costes se desglosan en forma de presupuesto para las medidas más complejas.

Posteriormente, se estudian los Indicadores Clave de Rendimiento o *Key Performance Indexes (KPIs)* financieros de estas medidas. Con ellos, se valora si la inversión en ellos es un proyecto que crea o destruye valor, se estima su rentabilidad y permite conocer si es adecuada su instalación para el inmueble. Para determinar la rentabilidad y viabilidad de estas inversiones, se deben calcular el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Período de Retorno (PRI o *payback*) o el Índice de Rentabilidad (IR), indicadores propuestos en [44]. Cada uno de estos términos se detalla a continuación:

- *Valor Actual Neto o VAN*, es un criterio de inversión que permite conocer el valor presente de un flujo de caja futuro, y sirve para conocer si la inversión genera valor o lo destruye.
- *Tasa Interna de Retorno o TIR*, es la tasa de interés o rentabilidad de un proyecto. Se compara con la tasa de descuento de la inversión y permite aceptar o rechazar el proyecto si la tasa de interés es mayor o menor a la tasa de descuento, respectivamente.
- *Período de Retorno o Payback*, es un indicador que permite estimar cuánto tiempo se tarda en recuperar la totalidad de la inversión. Aunque no permite decidir sobre el proyecto, debido a las limitaciones que tiene (no considera la vida útil de las medidas, no permite comparar medidas y no tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo), es útil para conocer la longevidad económica del proyecto.

- *Índice de Rentabilidad*, se calcula como la relación entre los flujos de caja actualizados al presente y el valor de la propia inversión. Si el valor de este cociente es superior a la unidad, la inversión es rentable.

Estos cuatro indicadores permiten decidir tanto las medidas a instalar como el mecanismo de financiación.

Finalmente, se estudia que mecanismos de financiación se pueden aprovechar para cubrir la inversión inicial. En este apartado se estudia la inversión directa o relacionada estrechamente con la construcción e instalación de la medida, e indirecta o asociada a los intereses, impuestos y otras tasas asociadas a la inversión. La financiación se puede realizar mediante el capital propio o capital prestado. Para ello, se valora qué intereses y rentabilidad producen cada uno de ellos, para decidir en qué proporción se cubrirá la inversión con capital propio y cuánto deberá ser solicitado a una entidad financiera. El mecanismo de financiación modifica los indicadores mencionados anteriormente y dan lugar a distintos resultados, en función de parámetros como el porcentaje de capital prestado, el plazo de amortización y el interés pactado.

Una vez analizadas todas las tecnologías tanto económica como financieramente, se selecciona aquellas medidas que consigan un proyecto de gran valor económico y tengan una repercusión positiva en el inmueble frente al desembolso necesario para su consecución.

#### 4.1. COMPARATIVA DE COSTES

El estudio de los costes de cada una de las medidas que se pueden implementar se divide en los dos tipos de medidas planteados anteriormente, *demand-side* y *supply-side*. Dentro de cada una de estas medidas, se utiliza el tipo de medida elegido en el apartado 3.3. Para facilitar el estudio, se ha obtenido un coste representativo de cada una de las tecnologías planteadas. Este coste se puede dividir, a su vez, en coste del activo o materiales y costes de operación y mantenimiento, que componen la inversión inicial y los costes variables de cada medida. Con los costes considerados, se puede determinar qué tecnologías resultan más baratas frente a las más costosas, de cara al cálculo de ahorros y su posterior elección.

##### 4.1.1. MEDIDAS DE TIPO DEMAND-SIDE

###### ❖ *Instalación de domótica*

En el mercado existen numerosos tipos de enchufes inteligentes con capacidad de actuación sobre los equipos que se conectan. La diferencia entre ellos radica en algunas características adicionales que aportan los fabricantes, como pantallas digitales, el desarrollo de *apps* propias, receptores inalámbricos internos o externos al equipo en forma de *hub* o unidad central, o la posibilidad de compra en *packs*. De esta manera, al

tratarse de un mercado muy homogéneo, se puede establecer un coste aproximado de 30€ por dispositivo.

En la vivienda se han contabilizado 13 puntos de interés para su instalación, que incluyen pequeñas lámparas de mesa, televisores, electrodomésticos pequeños como el microondas o la cafetera, ordenadores e impresora. El enchufe inteligente seleccionado es de la marca TECKIN, y se trata de un enchufe inteligente con conectividad Wi-Fi, y con control via *app* propia de la marca, que tiene funciones de programación y temporización, monitorización de consumo y control por voz mediante otros dispositivos como asistentes virtuales. Este enchufe es posible comprarlo en paquetes de 2 unidades por 24.99 €, frente a los 14.99 € unitarios, por lo que se ha optado por 7 paquetes, lo que produce un coste final de 174.93 €.

Por otra parte, la elección de un termostato inteligente para controlar la temperatura desde dispositivos móviles y poder programar la calefacción de la vivienda es necesaria para aumentar los ahorros que se pueden conseguir. El termostato inteligente elegido es de la marca NEST, modelo T3010IT, que incluye sensores de actividad, localización por ubicación de dispositivos móviles, es compatible con todo tipo de sistemas de calefacción y tiene capacidad de ajuste inteligente basado en el tipo de aislamiento y temperaturas internas y externas de la vivienda. El precio de este termostato es de 249 €.

#### ❖ Iluminación de bajo consumo

Las bombillas LED han presentado una reducción de su coste en los últimos años debido a la sustitución progresiva del mercado de bombillas incandescentes por las de este tipo. Tradicionalmente, esta tecnología ha resultado más costosa que sus equivalentes debido a que era una tecnología disruptiva y poco generalizada, por lo que el coste inicial de este producto era elevado. Sin embargo, al tratarse de un estándar en la iluminación de espacios de forma eficiente, se ha producido una bajada drástica de los precios de estas bombillas, siendo el precio de una bombilla LED de 60 W en enero de 2011 de unos \$45-\$50 hasta \$10 en julio de 2018, lo que supone una reducción de aproximadamente un 80% [45]. Actualmente, el precio medio de una bombilla LED en España es de 8€ por bombilla.

Las bombillas seleccionadas para la sustitución de las lámparas incandescentes de la vivienda son de la marca PHILIPS, y son las utilizadas para el estudio del ahorro energético en la Tabla 14. Estas bombillas son regulables, por lo que a través de un interruptor regulador o *dimmer*, es posible graduar la intensidad de su brillo, y, por tanto, la potencia consumida. Las características de estas bombillas se recogen en la Tabla 27.

Estancia	Tipo	Potencia (W)	IRC	Etiqueta energética	Precio unitario (€)
Tipo 1	LED regulable	11	>80	A+	12.95
Tipo 2	LED regulable	5	>80	A+	8.50
Tipo 3	LED regulable	6	>80	A+	6.99

Tabla 27. Características de las bombillas elegidas.

De esta manera, sustituyendo cada uno de los puntos de luz de la vivienda por bombillas de tipo LED, el coste final de esta medida asciende a 276.78 €.

#### ❖ *Sustitución de equipos por otros de mayor eficiencia*

Como se consideró en el apartado 3.3.1, los equipos electrodomésticos que deben ser sustituidos debido a su falta de eficiencia por la antigüedad que tienen son el lavavajillas, el horno y la vitrocerámica. Estos electrodomésticos son de gran tamaño, y tienen un precio elevado comparado con otros electrodomésticos de menor tamaño como microondas o tostadores.

Según el comparador de la OCU, para un electrodoméstico de características similares, el precio es el siguiente:

- *Lavavajillas*. Independiente, con una capacidad de carga de 13 cubiertos completos, programas de lavado a 60 °C y programa ECO. Marca BOSCH SMS68II07E, eficiencia A+++; precio: 501 €.
- *Horno*. Independiente, volumen útil de 66 litros, programas de cocción con resistencias superior e inferior, grill, solera, ventilado y resistencia circular ventilada. Marca ELECTROLUX EOC-3430AAX, precio: 549 €.
- *Vitrocerámica*. Independiente, 3 placas de inducción, panel táctil. Marca BOSCH PID651FC1E/02, precio: 449 €.

El coste final por la sustitución de estos tres electrodomésticos suma 1499 €.

#### ❖ *Sustitución de ventanas*

El coste de la sustitución de las ventanas de la vivienda está compuesto por dos partes: el coste de las ventanas adquiridas y el coste de instalación. Debido a que las nuevas ventanas sustituyen a las anteriores, se instalan en el hueco y deben ser construidas a medida. Además, se necesita un trabajo de carpintería para adaptar el marco de PVC de las ventanas al hueco, y para ello se requiere el trabajo de profesionales.

Para el cálculo del coste de cada ventana, se utiliza la herramienta “*Generador de precios*” de la empresa CYPE Ingenieros, que permite calcular qué procedimientos se emplean para la instalación de las ventanas y el coste asociado a materiales y mano de obra [46]. Esta herramienta presenta un coste aproximado de la instalación final, y puede variar en función del fabricante y la empresa distribuidora.

Los materiales considerados por el programa en la sustitución de las ventanas de las fachadas son del siguiente tipo:

- Ventana de PVC, serie Kömmerling 76MD "KÖMMERLING", dos hojas practicables con apertura hacia el interior, dimensiones 1200x1600 mm, compuesta de marco, hoja y junquillos, acabado foliado en las dos caras, color a

elegir, perfiles de 76 mm de anchura, soldados a inglete, que incorporan seis cámaras interiores, tanto en la sección de la hoja como en la del marco, para mejora del aislamiento térmico; galce con junta central para facilitar el desagüe; con refuerzos interiores, juntas de estanqueidad de EPDM manilla y herrajes; transmitancia térmica del marco:  $U_{h,m} = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ; espesor máximo del acristalamiento: 48 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 4, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase 9A, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C2, según UNE-EN 12210. Garantía de 10 años del fabricante del perfil, para la estabilidad del color, de las dimensiones y de la resistencia al impacto, según UNE-EN 14351-1.

- Doble acristalamiento SGG CLIMALIT PLUS PLANITHERM XN F2 4/10 aire/4 "SAINT GOBAIN", conjunto formado por vidrio exterior PLANITHERM XN de 4 mm, con capa de baja emisividad térmica incorporada en la cara interior, cámara de aire deshidratada con perfil separador de aluminio y doble sellado perimetral, de 10 mm, y vidrio interior PLANICLEAR de 4 mm de espesor; 18 mm de espesor total.
- Cartucho de 310 ml de silicona sintética incolora Elastosil WS-305-N "SIKA" (rendimiento aproximado de 12 m por cartucho)
- Cartucho de 290 ml de sellador adhesivo monocomponente, neutro, superelástico, a base de polímero MS, color blanco, con resistencia a la intemperie y a los rayos UV y elongación hasta rotura 750%.
- Cartucho de 300 ml de silicona neutra oxímica, de elasticidad permanente y curado rápido, color blanco, rango de temperatura de trabajo de -60 a 150°C, con resistencia a los rayos UV, dureza Shore A aproximada de 22, según UNE-EN ISO 868 y elongación a rotura  $\geq 800\%$ , según UNE-EN ISO 8339.
- Kit de cerradura de seguridad para carpintería de PVC.
- Material auxiliar para la colocación de vidrios.

Para las ventanas de la cubierta, los materiales empleados son:

- Lucera de cubierta, sobre espacio no habitable, modelo VLT 1000 "VELUX", con apertura proyectante, de accionamiento manual mediante manilla inferior, de 90x48 cm, realizada en madera de pino nórdico, acabado barnizado, con doble acristalamiento (-00H) (vidrio interior Float de 3 mm, cámara de aire de 10 mm, vidrio exterior Float de 3 mm y separador de acero galvanizado), cerco de estanqueidad y babero de aluminio.

El resumen de costes de la instalación de la ventana se muestra en la Tabla 28. Todos los materiales elegidos y sus costes están extraídos de una base de datos que recopila el programa a partir de los catálogos de los fabricantes.

Tipo de ventana	Materiales	Unidades	Dimensiones (cm)	Precio unitario (€)	Importe (€)
1	Doble acristalamiento "SGG CLIMALIT PLUS"	1	125x160	56.32	56.32
	Ventana de PVC "Kömmerling"	1	115x150	375.2	375.2
				<b>Subtotal</b>	<b>431.52</b>
2	Doble acristalamiento "SGG CLIMALIT PLUS"	1	210x160	58.92	58.92
	Ventana de PVC "Kömmerling"	1	200x150	475.21	475.21
				<b>Subtotal</b>	<b>534.13</b>
3	Doble acristalamiento "SGG CLIMALIT PLUS"	1	125x190	56.32	56.32
	Ventana de PVC "Kömmerling"	1	115x180	398.28	398.28
				<b>Subtotal</b>	<b>454.6</b>
4	Doble acristalamiento "SGG CLIMALIT PLUS"	1	210x190	58.92	58.92
	Ventana de PVC "Kömmerling"	1	200x180	498.29	498.29
				<b>Subtotal</b>	<b>557.21</b>
5	Doble acristalamiento "SGG CLIMALIT PLUS"	1	120x160	52.14	52.14
	Ventana de PVC "Kömmerling"	1	110x150	375.2	375.2
				<b>Subtotal</b>	<b>427.34</b>
6	Doble acristalamiento "SGG CLIMALIT PLUS"	1	105x65	52.14	52.14
	Ventana de PVC "Kömmerling"	1	95x55	305.63	305.63
				<b>Subtotal</b>	<b>357.77</b>
7	Lucera de cubierta "VELUX"	4	130x70	133.06	532.24
				<b>Subtotal</b>	<b>532.24</b>
	Cartucho de 290 ml de sellador adhesivo monocomponente	3		5.29	15.87
	Cartucho de 300 ml de silicona neutra oxímica	2		4.73	9.46
	Cartucho de 310 ml de silicona sintética incolora Elastosil	3		2.47	7.41
				<b>Subtotal</b>	<b>32.74</b>
	Oficial 1ª Cristalero	h		19.85	59.55
	Ayudante Cristalero	h		18.75	56.25

	<b>Subtotal</b>	<b>115.80</b>
<b>TOTAL</b>		<b>3,443.35</b>

Tabla 28. Coste de sustitución de ventanas.

❖ *Mejora de aislamientos*

Los aislamientos considerados para rehabilitar térmicamente la envolvente del inmueble son el insuflado de lana de roca mineral ROCKWOOL para las fachadas y cubiertas, y unos paneles de lana de roca de la misma marca para los forjados a local no calefactado y a espacio exterior.

La herramienta generadora de precios de CYPE Ingenieros ofrece un precio por m<sup>2</sup> de superficie cubierta. En este caso, los materiales empleados para las fachadas son:

- Nódulos de lana de roca, Rockin S "ROCKWOOL", densidad 70 kg/m<sup>3</sup> y conductividad térmica 0,037 W/(m·K), Euroclase A1 de reacción al fuego, capacidad de absorción de agua a corto plazo ≤1 kg/m<sup>2</sup>, calor específico 840 J/kg·K y factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1.
- Mortero de cemento, color gris, compuesto de cemento, áridos seleccionados y aditivos, tipo GP CSIII W2 según UNE-EN 998-1.

Los materiales considerados para la cubierta son:

- Panel rígido de lana de roca volcánica Rockciel -E- 444 "ROCKWOOL", según UNE-EN 13162, no revestido, de 145 mm de espesor, resistencia térmica 4 m<sup>2</sup>·K/W, conductividad térmica 0,037 W/(m·K), densidad 90 kg/m<sup>3</sup>, calor específico 840 J/kg·K y factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1,3.
- Fijación mecánica "ROCKWOOL", formada por tornillos de doble rosca de 25 mm de longitud, para paneles aislantes de lana de roca Rockciel -E- 444.

Finalmente, para los forjados, los materiales que se utilizarán son:

- Panel rígido de lana de roca, revestido por una de sus caras con film de polietileno, Panel PST "ISOVER", según UNE-EN 13162, de 22 mm de espesor, resistencia térmica 0,55 m<sup>2</sup>·K/W, conductividad térmica 0,039 W/(m·K).
- Cinta autoadhesiva para sellado de juntas.

También se consideran los gastos en maquinaria para el insuflado, así como de la mano de obra. Los costes de la mejora del aislamiento de los cerramientos se muestran en la Tabla 29.

Tipo de superficie	Materiales	Unidades	Superficie (m <sup>2</sup> )	Precio unitario (€)	Importe (€)
Fachada	Nódulos de lana de roca	m <sup>2</sup>	49.01	4.85	831.94

	Mortero de cemento	m <sup>2</sup>	49.01	0.13	3.82
				<b>Subtotal</b>	<b>835.77</b>
Cubierta	Panel rígido de lana de roca volcánica Rockciel - E- 444	m <sup>2</sup>	70.15	46.92	3,291.44
	Fijación mecánica "ROCKWOOL"	m <sup>2</sup>	70.15	2.10	147.32
				<b>Subtotal</b>	<b>3,438.75</b>
Forjados	Panel PST rígido de lana de roca "ISOVER"	m <sup>2</sup>	150.96	10.30	1,554.89
	Cinta autoadhesiva para sellado de juntas	m <sup>2</sup>	150.96	0.30	45.29
				<b>Subtotal</b>	<b>1,600.18</b>
	Maquinaria para insuflación de aislamiento en cámaras de aire.	h		13.00	64.20
				<b>Subtotal</b>	<b>64.20</b>
	Oficial 1ª aplicador de productos aislantes	h		19.53	98.59
	Ayudante aplicador de productos aislantes	h		18.42	92.98
	Oficial 1ª montador de aislamientos	h		19.11	511.27
	Ayudante montador de aislamientos	h		17.53	469.00
				<b>Subtotal</b>	<b>1,171.91</b>
<b>TOTAL</b>					<b>7,110.75</b>

Tabla 29. Coste de mejora de aislamientos.

#### ❖ Sustitución de elementos radiadores

Los radiadores por lo que se sustituirán los actualmente instalados en la vivienda son radiadores de la marca JAGA Strada TWIN tipo 06 [47]. Estos radiadores son de baja temperatura y entre sus características destacan una carcasa con panel frontal liso y rejilla de aluminio, vienen parcialmente premontados para agilizar la instalación e incluyen cabezal termostático. El coste de los radiadores está determinado por sus dimensiones, que se han elegido en función de las dimensiones de los radiadores a los que sustituyen. El importe de estos radiadores se resume en la Tabla 30.

Tipo	Dimensiones (cm)	Unidades	Precio unitario (€)	Importe (€)
Radiador Jaga Strada TWIN 06	120x65	5	409.90	2,049.50

110x65	3	385.60	1,156.80
90x65	2	342.00	684.00
50x35	4	236.40	945.60
<b>TOTAL</b>			<b>4,835.90</b>

Tabla 30. Coste de los radiadores.

#### 4.1.2. MEDIDAS DE TIPO SUPPLY-SIDE

##### ❖ Paneles fotovoltaicos

La instalación de los paneles fotovoltaicos está compuesta por numerosos elementos, entre los que se encuentran los propios paneles, la estructura que le proporciona soporte y la instalación eléctrica. De esta manera, el coste de la instalación incluye elementos adicionales para el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico como un inversor y un contador inteligente dedicado a los paneles, así como otros elementos necesarios para la instalación eléctrica como el cableado, los tubos por los que se disponen los cables, una caja de protección en la que se encuentran fusibles e interruptores y una pica de tierra para garantizar la seguridad de la instalación. Todos estos elementos están recogidos en la tabla A.

<b>Materiales</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Importe (€)</b>
Panel Canadian Solar Policristalino 330 W	10	175.18	1,751.80
Estructura metálica para soporte, instalación coplanar 5 módulos	2	439.84	879.68
Inversor Fronius Galvo 3	1	1313.68	1,313.68
Cable solar de EXZH.Class SOLAR H1Z2Z2'-K 1,8kV 1x4	40	1.40	56.00
Cable de EXZHELLENT -XXI RZ1-K(AS) 1kV 1x4	60	1.41	84.60
Cable de EXZHELLENT -XXI H07Z1-K(AS) 1x16 Amarillo verde	15	1.36	20.40
Pica de tierra 2m	1	9.72	9.72
Tubo corrugado flexible reforzado libre de halógenos	55	0.23	12.38
Portafusibles 10x38	1	6.57	6.57
Fusibles 2 Polos 16 A 10x38	1	3.50	3.50
Envolvente carril DIN 4 módulos	1	6.26	6.26
Fronius SMART METER Automático 16 A	1	146.71	146.71
	2	47.96	95.92
		<b>Subtotal</b>	<b>5,308.53</b>
Instalación de los equipos	h		3,402.86
		<b>Subtotal</b>	<b>3,402.86</b>
<b>TOTAL</b>			<b>8,711.40</b>

Tabla 31. Coste de la instalación fotovoltaica.

Además, se debe tener en cuenta el coste del mantenimiento de la instalación fotovoltaica para garantizar un rendimiento óptimo. Este mantenimiento permite alargar la vida útil de los paneles hasta unos 30 años, por lo que resulta necesario su realización de cara a obtener un mayor aprovechamiento de estos. Entre las acciones que se deben tomar para realizar un correcto mantenimiento de los paneles, destaca:

- *Limpieza de paneles.* Un grado de limpieza adecuado en los paneles permite absorber una mayor cantidad de energía, siendo la diferencia en eficiencia entre un panel en mal estado de conservación y uno limpio de hasta 30%.
- *Revisión de las gomas aislantes.* Se comprueba el estado de las gomas de unión de las placas solares.
- *Revisión de daños estructurales.* Se revisan los paneles por si existieran defectos como grietas, roturas o desperfectos.

El coste medio del mantenimiento de los paneles es de 150€ anualmente.

#### ❖ *Baterías de almacenamiento de electricidad*

La batería de almacenamiento de electricidad es un complemento de la instalación fotovoltaica, por lo que su coste se considera de manera independiente. En el caso de estudio, se ha optado por una batería TESLA POWERWALL, cuyo precio es de 7,000 € en la página oficial, a los que se debe añadir el coste de equipos de soporte, 740 €, y el coste de la instalación, que oscila entre 1,100 y 3,300 €, por lo que el importe final de la instalación es de aproximadamente 9,740 €. Estos importes se recogen en la tabla Z.

<b>Tipo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Importe (€)</b>
Batería TESLA POWERWALL	1	7,000.00	7,000.00
Equipos de soporte	1	740.00	740.00
<b>Subtotal</b>			<b>7,740.00</b>
Instalación de los equipos	h		2,000.00
<b>Subtotal</b>			<b>2,000.00</b>
<b>TOTAL</b>			<b>9,740.00</b>

*Tabla 32. Coste de la batería de almacenamiento.*

Debido a la tecnología empleada en este tipo de baterías, el mantenimiento es innecesario y, por tanto, no se consideran costes de mantenimiento durante su vida útil.

#### ❖ *Sustitución del sistema de calefacción*

El primer cambio considerado es la sustitución de la caldera de gasóleo actual por una caldera más moderna. Para ello, se cuida que la potencia de la nueva caldera sea suficiente y que disponga de un acumulador de agua similar en tamaño para que no se deba modificar los hábitos de consumo de la vivienda. Se ha optado por una caldera de

la marca FERROLI, modelo ATLAS D 32 CONDENS K 130 UNIT [48]. Esta caldera es de condensación, con una potencia de 32 kW y un acumulador vitrificado de 130 L. El rendimiento de esta caldera es del 97% a 80/60°C, muy superior al de la actualmente instalada, cuyo rendimiento es del 85%. El precio de esta caldera, sin contar con el coste de instalación, es de 3,149 €.

La segunda opción es la instalación de bombas de calor por aerotermia. Debido al modo de funcionamiento de este sistema, se debe instalar un número determinado de estos elementos en función de las necesidades térmicas de cada estancia. La instalación de estas bombas se comprende de dos unidades, una unidad interior y una unidad exterior, que deben estar conectadas por parejas. Esta forma de instalación restringe su aplicación en estancias pequeñas, por lo que no se considera su instalación en los aseos, y el pasillo se considera anexo a la superficie del salón, ya que no existe ninguna puerta ni elemento que delimite su conexión. Además, como ya existen tres bombas de calor previamente instaladas en la vivienda, en dos dormitorios y en la sala de estar, se valora su sustitución por otro equipo más eficiente.

Con estas consideraciones, se muestra en la Tabla 33 las especificaciones de las estancias, los requisitos térmicos y las características de los modelos elegidos para satisfacer las necesidades térmicas. Estos modelos son la bomba de calor Daikin TX25KVB [49] y Panasonic KIT-KE35-TKE [50] para las estancias pequeñas y el modelo Panasonic KIT-TZ50-TKE [51] para la buhardilla. Estos dos primeros modelos tienen una buena relación calidad-precio, cumplen las necesidades térmicas de las estancias en las que se instalarán, tienen un COP elevado y una clasificación energética de A++ para conseguir buenos ahorros. Además, el modelo de Daikin elegido permite la combinación de tres unidades interiores con una sola unidad exterior, por lo que aumenta la eficiencia del equipo y se reduce el espacio ocupado por estos equipos. El modelo de bomba de calor elegido para la buhardilla tiene una eficiencia menor debido a la elevada potencia necesaria para calentar una estancia de gran tamaño.

En la tabla se muestra en color gris los aparatos instalados actualmente en la vivienda para su comparación con los propuestos. Con los datos obtenidos, se valora la sustitución de la bomba de calor de la sala de estar junto con el pasillo debido a que tiene una clasificación energética mayor, lo que indica que es posible obtener unos ahorros mayores que con el aparato anterior. Para ello, se debe valorar si los ahorros obtenidos por este nuevo equipo compensan el sobrecoste de la sustitución del equipo, y de esta manera, se puede considerar su retirada o permanencia en el inmueble.

Zona	Requisito (W)	Modelo	Potencia calorífica (kW)	COP	Clasificación energética	Precio (€)
Cocina	725	Daikin TX25KVB	3.00	4.4	A++	629
Sala de estar con pasillo	2,722	Mitsubishi MSC 07RV	2.50	3.68	A	759
		Panasonic KIT-KE35-TKE	3.84	3.66	A++	588
Dormitorio 1	897	Fujitsu ASYG07LLCC	2.70	4.35	A+	749
		Daikin TX25KVB	3.00	4.4	A++	629

Dormitorio 2	686	Daikin TX25KVB	3.00	4.4	A++	629
Dormitorio 3	1,587	Daikin TX25KVB	3.00	4.4	A++	629
Buhardilla	5,474	Panasonic KIT-TZ50-TKE	5.80	4.3	A+	1,229

Tabla 33. Bombas de calor elegidas.

Por último, se estudian los costes asociados al uso de suelo radiante como método de calefacción en la vivienda. La instalación de esta medida es costosa debido a que se debe realizar una obra importante en la vivienda. Además, su instalación no está indicada para suelos de madera, debido a la capacidad aislante de este tipo de material, por lo que también se debe considerar la sustitución del suelo existente si éste no fuera apropiado para el sistema de calefacción.

El sistema de suelo radiante por agua a instalar es del tipo seco, ya que es el más indicado para obras de rehabilitación, pues reduce la altura del suelo y su peso. Así, utilizando el generador de precios de CYPE, se instala el sistema de calefacción por suelo radiante "UPONOR IBERIA", compuesto por banda de espuma de polietileno (PE), modelo Multi Autofijación, aislamiento térmico con lana de roca de 40 mm de espesor, difusor de calor de aluminio para tubos, modelo Multi, sobre rastreles de madera y tubo de polietileno reticulado (PE-Xa), de 5 capas según el método UAX, con barrera de oxígeno (EVOH) y capa de protección de polietileno (PE) modificado, modelo Comfort Pipe PLUS.

Los materiales utilizados para la instalación son:

- Banda de espuma de polietileno (PE), de 150x10 mm, modelo Multi Autofijación "UPONOR IBERIA".
- Panel rígido de lana mineral, según UNE-EN 13162, no revestido, de 40 mm de espesor, resistencia térmica 1,1 m<sup>2</sup>K/W, conductividad térmica 0,035 W/(mK).
- Rastrel de madera de pino, con humedad entre 8% y 12%, de 75x25 mm.
- Difusor de calor de aluminio, de 1150x185 mm, para tubo de 17 mm de diámetro, modelo Multi "UPONOR IBERIA".
- Tubo de polietileno reticulado (PE-Xa), de 5 capas según el método UAX, con barrera de oxígeno (EVOH) y capa de protección de polietileno (PE) modificado, de 17 mm de diámetro exterior y 2 mm de espesor, modelo Comfort Pipe PLUS "UPONOR IBERIA", según ISO 15875-2.

La Tabla 34 muestra el resumen de costes de los materiales, así como de la mano de obra de la instalación. La columna "Rendimiento" hace alusión a la cantidad de "Unidades" se utiliza por m<sup>2</sup> de instalación, por lo que, un rendimiento de 0.6 en banda de espuma de polietileno indica que se instalan 0.6 m de este material por cada m<sup>2</sup> de suelo radiante instalado.

Materiales	Unidades	Rendimiento	Precio unitario (€)	Importe (€)
Banda de espuma de polietileno	m	0.6	2.18	197.46

Panel rígido de lana mineral	m2	1	12.14	1,832.65
Rastrel de madera de pino	m	3.33	1.55	779.18
Difusor de calor de aluminio	Ud	3	8.39	3,799.66
Tubo de polietileno reticulado	m	5.405	2.35	1,917.46
			<b>Subtotal</b>	<b>8,526.41</b>
Oficial 1ª calefactor	h	0.672	19.53	1,981.22
Ayudante aplicador de productos aislantes	h	0.672	18.42	1,868.62
			<b>Subtotal</b>	<b>3,849.84</b>
<b>TOTAL</b>				<b>12,376.25</b>

Tabla 34. Coste de la instalación de suelo radiante de agua.

La inversión final, por tanto, para los dos tipos de medidas se muestra en la Tabla 35. Algunas medidas como la instalación de válvulas termostáticas, los radiadores de baja temperatura, los paneles fotovoltaicos con y sin batería, la caldera de gasóleo, las bombas de calor y el suelo radiante de agua son medidas excluyentes entre sí, por lo que tras la elección de la medida no serán consideradas en el coste final del proyecto.

Tipo de medidas	Inversión necesaria (€)
<b>Demand-side</b>	<b>16,498.56</b>
Instalación de domótica	423.93
Iluminación de bajo consumo	276.78
Equipos más eficientes	1,499.00
Ventanas doble acristalamiento + marco PVC	3,443.35
Aislamiento de fachadas	835.77
Aislamiento de cubierta	3,438.75
Aislamiento de suelos	1,600.18
Instalación de válvulas termostáticas	144.90
Radiadores de baja temperatura	4,835.90
<b>Supply-side</b>	<b>48,529.05</b>
Paneles fotovoltaicos	8,711.40
Paneles fotovoltaicos + batería	18,451.40
Caldera de gasóleo nueva	3,149.00
Bombas de calor Aire-Aire	5,841.00
Suelo radiante de agua	12,376.25

Tabla 35. Resumen de inversión necesaria.

#### 4.2. CÁLCULOS DE AHORROS

Los ahorros producidos por las medidas seleccionadas pueden dividirse en dos tipos: implícitos y explícitos. Los ahorros explícitos son aquellos que se producen por el mero hecho de instalar las medidas, y su impacto en el consumo de energía reduce el coste de la tarifa por lo que crea ahorros para el usuario. Los ahorros implícitos, por su parte, están asociados a las medidas implementadas, pero no se producen por la utilización de

éstas, sino que se tratan de ayudas, subvenciones y descuentos que el marco regulatorio del gobierno vigente u otro tipo de organización otorgan por el hecho de instalarlos y/o usarlos. Estos ahorros generalmente sirven para incentivar o motivar un tipo de tecnología o medida, y se puede interpretar de doble manera en el flujo de cajas, bien como un ingreso o como un coste negativo.

Para calcular los ahorros explícitos de las medidas asignadas para la vivienda, se utiliza la proyección de precios de la electricidad a través de la compra de futuros hasta 2026, proporcionado por el operador del Mercado Ibérico de Energía – Polo Portugués (OMIP) [52], a día 29 de abril de 2019. Los precios del gasóleo de tipo C o diésel de calefacción se han obtenido de la página web *Datosmacro* [53] del periódico *Expansión*. Estos precios son orientativos de la tendencia del gasóleo C, y debido a la falta de información sobre los futuros de este combustible, se asume un precio fijo para los años considerados en el estudio, que es el precio medio de los proveedores de gasóleo en la Comunidad de Madrid en 2019 [54]. Estos precios también se utilizan en el análisis financiero del apartado 4.3.

Los precios asumidos para calcular los ahorros se muestran en la Tabla 36.

Año	Electricidad (€/kWh)	Gasoil (€/L)	Gasoil (€/kWh)
2014	0.118897	0.86	0.07597
2015	0.122688	0.67	0.05919
2016	0.104393	0.57	0.05035
2017	0.120588	0.65	0.05742
2018	0.124677	0.77	0.06802
2019	0.120601	0.98	0.08666
2020*	0.100157	0.98	0.08666
2021	0.095257	0.98	0.08666
2022	0.092857	0.98	0.08666
2023	0.091257	0.98	0.08666
2024	0.090257	0.98	0.08666
2025	0.089757	0.98	0.08666
2026	0.089257	0.98	0.08666
2027	0.089207	0.98	0.08666
...	...	...	...
2069	0.089207	0.98	0.08666

Tabla 36. Precios futuros de electricidad y gasóleo tipo C.

\*Nota: A partir del año 2020, los precios de los futuros de electricidad aparecen sólo para el término de energía, y no consideran el peaje de acceso de la tarifa. Para normalizar estos precios a los anteriores, se ha añadido a cada año el precio actual del peaje de acceso por tarifa 2.0 A, que es actualmente de 0,044027 €/kWh, según el BOE [55].

Tras la instalación de las medidas, se produce una disminución no sólo del consumo anual sino también de la demanda puntual, por lo que se produce un ahorro derivado de esta reducción en el término de peaje de acceso a la energía y comercialización. De esta manera, la demanda pico de la vivienda se calcula como la suma de la potencia

demandada de aquellos equipos que se encuentren encendidos simultáneamente en un mismo instante. Para ello, se ha considerado que, debido a que la calefacción presente en el inmueble es de combustible, el pico de demanda se produce en verano. Así, si se considera el encendido de dos fogones de vitrocerámica, uno de los equipos de aire acondicionado, un ordenador, el frigorífico, la campana extractora, la televisión y un 10% de la iluminación de la vivienda, la potencia demandada suma 3.37 kW-pico, muy por debajo de la actual potencia contratada. Por tanto, se puede reducir la potencia contratada de los 5.5 kW actuales hasta el mínimo permitido, 3.45 kW. Con ello, se calcula el ahorro por disminución de la potencia contratada a partir del peaje de acceso a potencia de las tarifas de Iberdrola [56], por ser la empresa comercializadora actualmente contratada, lo que resulta en 116.93 € de ahorro al año, si se mantiene el valor del peaje de acceso a potencia. Estos cálculos se resumen en la Tabla 37.

Equipo	Pre-medidas (kW)	Post-medidas (kW)
10 % Iluminación	1.54	0.32
Vitrocera mica	2.8	1.9
Aire acondicionado	0.74	0.735
Campana extractora	0.20	0.20
Frigorífico	0.10	0.10
Ordenador	0.40	0.40
<b>TOTAL</b>	<b>4.39</b>	<b>3.37</b>
<b>Ahorros en tarifa</b>		
Potencia contratada	5.5 kW	3.45 kW
Peaje acceso a potencia	0.15627 €/kW/día	
Coste anual	<b>313.71 €/año</b>	<b>196.78 €/año</b>

Tabla 37. Ahorro por potencia contratada.

Los ahorros implícitos del proyecto vienen dados por los incentivos del gobierno para la realización de mejoras e instalación de medidas para mejorar la eficiencia energética en los edificios. Para ello, se han propuesto una serie de subvenciones que coinciden con el período de realización de este proyecto que permiten reducir el coste de las medidas de eficiencia energética del inmueble. Los incentivos que aplican al proyecto son:

- *Bonificación sobre el Impuesto de Bienes Inmuebles (IBI) por la instalación de sistemas de aprovechamiento solar, en la Comunidad de Madrid* [29]. Se produce una bonificación del 50% del IBI de la vivienda por ser un inmueble de uso residencial, con un sistema de aprovechamiento solar eléctrico destinado al autoconsumo.
- *Plan Renove calderas de condensación individuales 2019, de la Comunidad de Madrid* [57]. Se deducen hasta 200 € del precio por la sustitución de una caldera de gasóleo antigua por una caldera de condensación, con nivel energético A/A+.
- *Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) reducido en reformas de vivienda* [58]. La Agencia tributaria establece un IVA reducido del 10% en obras de rehabilitación

de viviendas. En este caso, la mejora de los aislamientos del inmueble se considera de obra de tipo conexas a las de rehabilitación, por lo que se puede considerar el tipo reducido del IVA para esta medida.

- *Programa de fomento de la mejora de la eficiencia energética y la sostenibilidad en viviendas* [59]. Los propietarios de viviendas unifamiliares agrupadas en fila pueden optar a una ayuda del 40% de la inversión o 12.000 €, siempre y cuando se alcance una reducción del 35% de la demanda energética anual global, para la zona D. Estas ayudas cubren:
  - Medidas que mejoren la envolvente energética del edificio.
  - Instalación de nuevos sistemas de calefacción.
  - Instalación de equipos de generación o que permitan la utilización de energías renovables como la energía solar fotovoltaica.
- *Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios existentes (Programa PAREER II)* [60]. Con vigencia hasta el 31 de diciembre de 2018, otorga ayudas a aquellos proyectos que consigan una reducción del CO2 y del consumo de energía en inmuebles. Se ayuda con un préstamo al EURIBOR + 0,0% durante un plazo de amortización de 12 años, con una cuantía máxima de hasta el 70% de la inversión. Aunque esta subvención se encuentra fuera de plazo a fecha del proyecto, no se descarta su consideración en los cálculos financieros debido a que es posible una tercera convocatoria de este programa, a la que podría acogerse el proyecto en un futuro.

Estos incentivos se introducen en el análisis financiero como costes negativos, sumados al flujo de caja producido por los ahorros explícitos. En la Tabla 38 se especifica el importe subvencionado de cada una de las medidas.

Medida	Plan Renove Calderas	Bonificación 50% IBI	Programa de fomento de eficiencia energética	IVA reducido del 10%
Domótica	-	-	-	-
Iluminación de bajo consumo	-	-	-	-
Equipos más eficientes	-	-	-	-
Ventanas doble acristalamiento + marco PVC	-	-	1,377.34 €	313.03 €
Aislamiento de fachadas	-	-	334.31 €	75.98 €
Aislamiento de cubierta	-	-	1,375.50 €	312.61 €
Aislamiento de suelos	-	-	640.07 €	145.47 €
Instalación de válvulas termostáticas	-	-	-	-
Radiadores de baja temperatura	-	-	-	-

<b>Paneles fotovoltaicos</b>	-	500.00 €	3,484.56 €	791.95 €
<b>Paneles fotovoltaicos + batería</b>	-	500.00 €	7,380.56 €	1,677.40 €
<b>Caldera de gasóleo nueva</b>	200.00 €	-	1,259.60 €	286.27 €
<b>Bombas de calor Aire-Aire</b>	-	-	2,336.40 €	531.00 €
<b>Suelo radiante de agua</b>	-	-	4,950.50 €	1,125.11 €

*Tabla 38. Importe subvencionado de cada una de las medidas consideradas.*

La Tabla 39 y la Tabla 40 muestran un resumen del ahorro explícito de cada una de las medidas, así como la inversión necesaria y los valores de los indicadores financieros antes de considerar subvenciones y financiación externa.

Medidas demand-side								
Tipo de medida	Tipo de instalación	Medida	Inversión (€)	Ahorro (kWh)	Ahorro (€)	Payback simple	VAN	TIR
Eléctrica	Domótica	Enchufes inteligentes	423.93	335	33.55	5.76	1,341.74 €	17%
	Iluminación	Iluminación de bajo consumo	276.78	286	28.69	4.74	1,119.49 €	20%
	Electrodomésticos	Equipos más eficientes	1,499.00	358	35.83	19.92	334.49 €	4%
Térmica	Aislamiento en huecos	Ventanas doble acristalamiento + marco PVC	3,443.35	481	41.70	>50	-2,301.36 €	-2%
	Aislamiento de fachadas	Insuflado de lana de roca	835.77	222	19.25	43.42	-330.64 €	1%
	Aislamiento de cubierta	Paneles de lana de roca	3,438.75	1,110	96.23	35.73	-934.67 €	1%
	Aislamiento de suelos	Paneles de lana de roca	1,600.18	814	70.57	22.67	209.30 €	4%
	Elementos radiadores	Instalación de válvulas termostáticas		144.90	740	64.15	2.26	1,461.93 €
Radiadores de baja temperatura			4,835.90	1,851	160.39	30.15	-688.51 €	2%

Tabla 39. Ahorros económicos anuales tras la aplicación de medidas demand-side.

Medidas supply-side								
Tipo de medida	Tipo de instalación	Medida	Inversión (€)	Ahorro (kWh)	Ahorro (€)	Payback simple	VAN	TIR
Eléctrica	Fotovoltaica	Paneles fotovoltaicos	8,711.40	1,541	154.30	>50	-4,990.32 €	-1%
		Paneles fotovoltaicos + batería	18,451.40	2,091	209.41	>50	-13,208.29 €	-2%
Térmica	Calefacción + ACS	Caldera de gasóleo nueva	3,149.00	985	85.33	36.90	-925.67 €	1%
	Calefacción	Bombas de calor Aire-Aire	5,841.00	1,029	89.15	>50	-3,443.80 €	-1%
		Suelo radiante de agua		12,376.25	1,661	143.94	>50	-8,420.21 €

Tabla 40. Ahorros económicos anuales tras la aplicación de medidas supply-side.

#### 4.3. FINANCIACIÓN DE LAS MEDIDAS SELECCIONADAS

El proyecto de rehabilitación energética de la vivienda tiene unos costes elevados que pueden ser afrontados de diferentes maneras. Esta inversión se puede realizar mediante capital propio o *equity*, o a través de entidades externas que aportan capital externo al proyecto a cambio de un porcentaje de retorno o interés previamente acordado.

El capital propio utiliza los fondos o ahorros disponibles del propietario del inmueble o personas interesadas para hacer frente a la inversión. Es una opción en la que no se debe pagar ningún sobrecoste añadido al coste de las medidas, y, por tanto, no depende de ningún agente externo. Sin embargo, debido a la naturaleza de este método, el pago se realiza inmediatamente a la instalación de las medidas, por lo que no está diferido en el tiempo. De esta manera, como el 100% de la inversión es capital propio, los flujos de caja pueden no ser favorables a corto plazo y requerir de un tiempo prolongado para recuperar la inversión inicial. Además, este tipo de inversión tiene dos desventajas claras frente a otros tipos de financiación en cuanto a que éste no está blindado a factores económicos como la inflación, que en proyectos de larga duración como la rehabilitación energética de un inmueble puede resultar interesante e incluso favorable; y obliga a realizar un desembolso considerable que puede suponer el fin de los recursos propios del propietario, por lo que se debe considerar un balance de liquidez y rentabilidad a corto y largo plazo.

En cuanto a los mecanismos de financiación externa, su diferencia principal con la financiación interna o capital propio reside en que se dispone de una parte o totalidad de la inversión cubierta con capital externo, a cambio de un porcentaje o interés. Este método de financiación presenta ventajas claras, como la reducción del capital aportado inicialmente y un aumento de la rentabilidad del proyecto, ya que se percibe una serie de ingresos o ahorros con una pequeña parte del capital propio. Los tipos de financiación externa considerados son tres:

Las entidades bancarias, que aportan capital mediante un préstamo a cambio de un tipo de interés. Este interés se deduce en función del tipo de proyecto, el riesgo percibido por la entidad bancaria, el periodo de devolución y otros factores. Con estos elementos se configura un importe en forma de cuota mensual que viene determinado por el TAE o Tasa Equivalente Anual y el plazo de amortización de la deuda. Al tratarse de un préstamo personal, se debe asegurar una garantía ante la posibilidad de impago a la entidad bancaria, por lo que el propietario respondería con sus bienes presentes y futuros, además de los bienes hipotecados.

Los fondos de inversión, que entregan fondos para la inversión de manera similar a las entidades de bancarias, pero en este caso constituye una inversión frente a un préstamo. Los fondos de inversión generalmente aportan capital a condición de percibir un retorno de la inversión. Para ello, los partícipes de la inversión compran participaciones, y el fondo se ocupa de las tareas administrativas y contables, y determina el porcentaje de participación en el proyecto. Ante un proyecto de rehabilitación energética, el principal atractivo para un fondo de inversión se encuentra

en la revalorización del inmueble una vez terminado el período de recuperación del capital. Si el fondo prevé la venta de la participación en el activo, puede resultarle interesante la participación en la elección y financiación de medidas. De lo contrario, puede realizar un préstamo similar al de una entidad bancaria, con un tipo de interés basado en el plazo de amortización y el riesgo asociado al proyecto.

El micromecenazgo, financiación colectiva o crowdfunding, que consiste en la obtención de capital externo a partir de individuos o empresas en lugar de profesionales, como bancos o inversores de capital riesgo. Sus principales características son la creación de una comunidad alrededor de los proyectos; la existencia de una cantidad elevada de inversores en un proyecto frente a uno o varios de los métodos tradicionales; se crea una nueva figura, el ciudadano *prosumer*, que tiene participación activa en proyectos; y permite obtener *feedback* de los inversores de manera inmediata. Este tipo de financiación se produce mediante plataformas digitales, a través de internet y medios digitales y depende de ellos para la difusión del proyecto. La inversión a través de crowdfunding puede ser a partir de donaciones, recompensas, acciones, préstamos o *royalties* o participación en beneficios. Generalmente, el proyecto es valorado por la comunidad antes de la publicación en la plataforma de inversión, y una vez aprobado, se establece un tiempo para la candidatura, en el que se produce la financiación.

#### 4.4. ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE MEDIDAS

El análisis y elección de medidas de este bloque permite conocer qué medidas aportan una mayor rentabilidad con su inversión, es decir, si la aplicación de las medidas es un proyecto que genere valor a largo plazo.

El procedimiento de análisis y elección de medidas y tipo de financiación consiste en el planteamiento de varios escenarios, en los que se incluye el coste de las medidas, el ahorro obtenido anualmente por cada una de ellas, el capital propio aportado, el capital externo de financiación y la tasa de descuento o interés. Los escenarios planteados son:

- *Escenario 1, la inversión se realiza con capital propio en su totalidad.* Este escenario estudia la posibilidad de que el propietario de la vivienda haga frente a la inversión con su capital, sin financiación.
- *Escenario 2, capital propio junto con préstamo bancario.* La inversión se realiza con una mezcla de capital aportado por el propietario del inmueble y una entidad bancaria. Se contemplan distintos porcentajes de financiación.
- *Escenario 3, capital propio junto con financiación por fondo de inversión.* Se estudian varios porcentajes, de la misma manera que se hace en el escenario 2.
- *Escenario 4, capital propio junto a crowdfunding.* Se estudia el escenario con varios grados de financiación colectiva.

Además, se han tomado una serie de consideraciones para el estudio financiero:

- Cálculo del VAN con flujos de caja a 50 años vista. Los flujos de caja se han desarrollado para un período de 50 años de acuerdo con la vida útil máxima de medidas como el aislamiento en fachadas y cubierta o la sustitución de ventanas.
- Tasa de coste del capital del 3%. Debido a que el aumento de los precios al consumidor o inflación producido en España a fecha del proyecto es de 1,521%, se ha optado por una tasa de descuento del capital propio conservadora, del doble de este valor, a fin de blindar el proyecto contra este fenómeno.
- Préstamos al estilo francés. Se ha considerado que los préstamos de entidades financieras como bancos, fondos de inversión o aquellos que provienen de *crowdfunding* se realizan a la forma francesa. Con esto, se calcula una cuota fija que se paga durante todos los años del plazo de amortización, en la que se incluyen los intereses del préstamo, siendo lo único que varía dentro de la cuota la proporción entre intereses y repago de la deuda.
- Período de amortización de préstamos no superior a 10 años. Como el proyecto busca conseguir ahorros a medio y largo plazo, la forma de alcanzar valores de VAN y *Payback* razonables es mediante el establecimiento de un plazo de devolución de la deuda más los intereses generados no superior a 10 años. Para este proyecto, se fija este valor en 10 años, hasta 2030.
- Tipo de interés de cada mecanismo de financiación. El tipo de financiación obtenida por cada uno de los métodos anteriormente detallados consiste en préstamos cuyo tipo de interés nominal es diferente dependiendo de la entidad u organización que los presta. El tipo de interés o coste de la deuda financiera afecta al Coste Promedio Ponderado del Capital o CPPC (*Weighted Average Cost of Capital, WACC*) del proyecto, que es la tasa de descuento utilizada para el cálculo del VAN, y se compara con la TIR. Así, se ha considerado:
  - 5% para préstamos bancarios. Al tratarse de un préstamo de tipo personal, el tipo de interés requerido por las entidades bancarias es de entre 5% y 10% [61], por lo que se considera un 5% de interés para el proyecto, ya que el plazo de amortización es de 10 años.
  - 6.50% para préstamos de fondos de inversión. Los fondos de inversión también realizan préstamos con un tipo de interés algo superior al de las entidades bancarias debido a la prelación de la deuda, donde son los bancos los que primero realizan el cobro del préstamo, por lo que el interés considerado para el proyecto en este mecanismo es superior al de los préstamos bancarios.
  - 8% en préstamos de plataformas de crowdfunding. Las plataformas de *crowdfunding* garantizan a sus inversores una rentabilidad mayor que las de un fondo de inversión o una entidad bancaria, por lo que este tipo de interés requerido es mayor que los anteriores. Según la plataforma

MytripleA, el retorno medio de los proyectos financiados por mecanismos *Peer-to-Peer* (P2P) es de 8.87% [62].

La Tabla 41 y la Tabla 42 recogen un resumen de los resultados de los indicadores calculados para cada uno de los escenarios del cálculo financiero planteado. En verde se muestran aquellos valores que son positivos y, por tanto, indican rentabilidad en el proyecto, mientras que en rojo se señalan aquellos parámetros que son negativos y, por tanto, deben ser descartados. De estas tablas se pueden deducir varios apuntes:

- Todas las medidas que afectan a la demanda eléctrica deben ser instaladas debido a que presentan un valor positivo de proyecto en cualquier escenario, tienen valores de *Payback* reducidos y su TIR, a excepción de los electrodomésticos, es elevada, con lo que se garantiza su rentabilidad para altos valores de interés de deuda.
- Los aislamientos de fachadas, cubierta y suelos también deben ser instalados debido a que los flujos de caja de estas medidas resultan positivos, lo que permite recuperar la inversión en el tiempo y generar un beneficio. Además, con creciente financiación externa por préstamos, el periodo de retorno de las medidas se reduce considerablemente, alcanzando valores competitivos con otras medidas, como la renovación de electrodomésticos.
- La renovación de las ventanas de la vivienda resulta una medida con una inversión inicial muy elevada y unos retornos pequeños en comparación con otras medidas. Con esto, los indicadores financieros considerados para el estudio de las medidas reflejan que, sólo con un préstamo elevado, la medida se considera rentable.
- La elección entre la instalación de válvulas termostáticas y radiadores de baja temperatura depende de igual manera que las ventanas en el nivel de financiación externa. A niveles bajos, las válvulas termostáticas proporcionan una mayor rentabilidad. Sin embargo, conforme aumenta el préstamo, la rentabilidad de los radiadores de baja temperatura aumentan hasta superar a las válvulas termostáticas, con un VAN superior.
- Debido al alto coste de la batería de almacenamiento eléctrico considerada en el estudio (ver 4.1.2), la medida con más rentabilidad en el lado del abastecimiento o provisión de energía eléctrica es la instalación de paneles fotovoltaicos sin batería de almacenamiento. Si bien presenta ventajas claras, la instalación de una batería no propicia grandes ahorros, por lo que su rentabilidad se ve minada por la inversión requerida.
- De entre las tres medidas de abastecimiento de energía térmica disponibles, la sustitución de la caldera de gasóleo por una nueva de condensación resulta una medida muy rentable frente a las demás opciones. Esta medida presenta un VAN positivo en todos los escenarios, y presenta la ventaja de que proporciona tanto

calefacción como ACS, a diferencia de sus competidores, que sólo afectan a la calefacción del inmueble, lo que obliga a cambiar o mantener la caldera actual. La instalación de bombas de calor para calefacción requiere de una inversión elevada debido al número de equipos a instalar, uno por zona considerada, y el suelo radiante de agua, si bien es la medida que más ahorros produce, requiere de una obra costosa en tiempo y dinero, siendo la medida, junto a la instalación fotovoltaica con batería, con mayor *Payback*.

Por último, se debe elegir qué mecanismo de financiación y qué nivel de préstamo se considera para la instalación de las medidas.

Los fondos de inversión tienen una tasa de interés menor a la solicitada en plataformas de *crowdfunding* pero superior a los de un préstamo bancario tradicional. No obstante, uno de los inconvenientes del préstamo a través de un fondo de inversión resulta en la dificultad para conseguir dicha financiación. Generalmente, como los fondos de inversión deben garantizar la mayor rentabilidad para sus accionistas, buscan aquellos proyectos con buena liquidez y con garantías de éxito, por lo que clasifican todas las oportunidades en función de la solvencia y el riesgo del proyecto. Con esto, deciden dónde invertir, cuánto invertir y con qué retorno. Al tratarse de un proyecto personal de una vivienda, el fondo de inversión puede percibir cierta inseguridad ante el repago de la deuda, por lo que el riesgo percibido es elevado, y, por tanto, se plantean dificultades para conseguir financiación con este mecanismo.

Por su parte, la financiación por *crowdfunding* presenta ciertas ventajas que lo hacen una opción atractiva: es una operación rápida, en la que, tras la aprobación del proyecto por la plataforma, se produce la financiación; es un mecanismo no presencial, por lo que se puede realizar electrónicamente; la solicitud del préstamo es sencilla; no hay costes adicionales por la realización del estudio o la amortización de la deuda de forma anticipada; y se posee flexibilidad para decidir el importe de la financiación y el plazo de devolución. Sin embargo, existen desventajas con respecto a las formas tradicionales de financiación debido a la posibilidad de no cumplir los objetivos de financiación, lo que hacen que esta opción no sea adecuada para el proyecto considerado. Al tratarse de un mecanismo basado en la inversión particular o de empresas, cada inversor decide cuánto dinero entregará al proyecto, por lo que puede resultar que, o bien no sea un proyecto atractivo, o bien la rentabilidad de la inversión no es suficiente, reduciendo la inversión obtenida.

De esta manera, la financiación del proyecto se realizará a través de un préstamo bancario. En cuanto al nivel de financiación, el objetivo es alcanzar un compromiso entre grado de endeudamiento y rentabilidad del proyecto. Para ello, se ha optado por mantener un grado de endeudamiento por debajo del 50% de la inversión, de forma que la amortización de la deuda sea posible, y a su vez, se pueda instalar el mayor número posible de medidas. Al comparar la rentabilidad entre un préstamo bancario del 20% de la inversión y el 40%, la opción elegida finalmente es la última.

Medida		MEDIDAS DEMAND-SIDE								
		Enchufes inteligentes	Iluminación de bajo consumo	Equipos más eficientes	Ventanas doble acristalamiento + marco PVC	Aislamiento de fachadas	Aislamiento de cubierta	Aislamiento de suelos	Instalación de válvulas termostáticas	Radiadores de baja temperatura
Escenario 1 - Capital propio	VAN	1,341.74 €	1,119.49 €	334.49 €	-660.22 €	67.69 €	704.27 €	971.97 €	1,461.93 €	-688.51 €
	TIR	17%	20%	4%	1%	4%	5%	9%	44%	2%
	IR	317%	404%	22%	-19%	8%	20%	61%	1009%	-14%
	Payback	6.95	5.88	21.89	43.04	23.11	19.19	12.54	3.26	31.15
Escenario 2 - 20%, 10 años (5%)	VAN	1,324.92 €	1,094.63 €	526.77 €	-375.57 €	123.73 €	910.42 €	1,030.98 €	1,398.57 €	31.85 €
	TIR	21%	26%	6%	2%	5%	7%	11%	55%	3%
	IR	313%	395%	35%	-11%	15%	26%	64%	965%	1%
	Payback	5.74	4.89	17.69	34.63	18.69	15.55	10.23	2.81	25.12
Escenario 2 - 40%, 10 años (5%)	VAN	1,316.01 €	1,076.10 €	725.92 €	-87.90 €	181.58 €	1,126.13 €	1,097.55 €	1,342.76 €	765.98 €
	TIR	28%	34%	8%	3%	7%	9%	14%	74%	5%
	IR	310%	389%	48%	-3%	22%	33%	69%	927%	16%
	Payback	4.54	3.90	13.49	26.22	14.26	11.92	7.93	2.36	19.09
Escenario 2 - 70%, 10 años (5%)	VAN	1,315.67 €	1,058.74 €	1,035.69 €	348.21 €	271.31 €	1,465.17 €	1,209.73 €	1,271.50 €	1,888.90 €
	TIR	57%	69%	16%	8%	15%	18%	29%	148%	11%
	IR	310%	383%	69%	10%	32%	43%	76%	878%	39%
	Payback	2.75	2.43	7.18	13.61	7.63	6.46	4.46	1.68	10.05
Escenario 3 - 20%, 10 años (6.5%)	VAN	1,242.89 €	1,029.59 €	445.21 €	-421.45 €	101.78 €	799.91 €	948.99 €	1,322.84 €	-148.46 €
	TIR	21%	26%	6%	2%	5%	7%	11%	55%	3%
	IR	293%	372%	30%	-12%	12%	23%	59%	913%	-3%
	Payback	5.74	4.89	17.69	34.63	18.69	15.55	10.23	2.81	25.12
Escenario 3 - 40%, 10 años (6.5%)	VAN	1,170.75 €	960.94 €	580.86 €	-170.00 €	142.54 €	929.78 €	952.14 €	1,208.78 €	444.48 €
	TIR	28%	34%	8%	3%	7%	9%	14%	74%	5%
	IR	276%	347%	39%	-5%	17%	27%	60%	834%	9%
	Payback	4.54	3.90	13.49	26.22	14.26	11.92	7.93	2.36	19.09
Escenario 3 - 70%, 10 años (6.5%)	VAN	1,102.05 €	889.49 €	820.42 €	224.75 €	213.33 €	1,174.32 €	995.22 €	1,074.95 €	1,409.13 €
	TIR	57%	69%	16%	8%	15%	18%	29%	148%	11%
	IR	260%	321%	55%	7%	26%	34%	62%	742%	29%
	Payback	2.75	2.43	7.18	13.61	7.63	6.46	4.46	1.68	10.05
Escenario 4 - 20%, 10 años (8%)	VAN	1,167.04 €	969.43 €	369.93 €	-463.66 €	81.52 €	697.89 €	873.24 €	1,252.77 €	-314.64 €
	TIR	21%	26%	6%	2%	5%	7%	11%	55%	3%
	IR	275%	350%	25%	-13%	10%	20%	55%	865%	-7%
	Payback	5.74	4.89	17.69	34.63	18.69	15.55	10.23	2.81	25.12
Escenario 4 - 40%, 10 años (8%)	VAN	1,045.80 €	861.87 €	456.50 €	-240.03 €	109.08 €	761.36 €	827.24 €	1,093.47 €	169.48 €
	TIR	28%	34%	8%	3%	7%	9%	14%	74%	5%
	IR	247%	311%	30%	-7%	13%	22%	52%	755%	4%
	Payback	4.54	3.90	13.49	26.22	14.26	11.92	7.93	2.36	19.09
Escenario 4 - 70%, 10 años (8%)	VAN	935.40 €	757.43 €	653.04 €	129.25 €	168.28 €	948.09 €	828.12 €	921.52 €	1,036.96 €
	TIR	57%	69%	16%	8%	15%	18%	29%	148%	11%
	IR	221%	274%	44%	4%	20%	28%	52%	636%	21%
	Payback	2.75	2.43	7.18	13.61	7.63	6.46	4.46	1.68	10.05

Tabla 41. Resumen de indicadores financieros para cada escenario, medidas demand-side.

Medida		MEDIDAS SUPPLY-SIDE				
		Paneles fotovoltaicos	Paneles fotovoltaicos + batería	Caldera de gasóleo nueva	Bombas de calor Aire-Aire	Suelo radiante de agua
Escenario 1 - Capital propio	VAN	-352.93 €	-3,928.72 €	769.35 €	-659.92 €	-2,521.56 €
	TIR	2%	0%	6%	2%	1%
	IR	-4%	-21%	24%	-11%	-20%
	Payback	29.36	48.41	17.44	34.35	44.77
Escenario 2 - 20%, 10 años (5%)	VAN	223.00 €	-2,449.13 €	922.84 €	-203.41 €	-1,489.93 €
	TIR	4%	1%	7%	3%	1%
	IR	3%	-13%	29%	-3%	-12%
	Payback	23.63	38.87	14.15	27.68	36.02
Escenario 2 - 40%, 10 años (5%)	VAN	810.96 €	-957.26 €	1,084.98 €	260.42 €	-448.18 €
	TIR	5%	3%	10%	4%	3%
	IR	9%	-5%	34%	4%	-4%
	Payback	17.91	29.34	10.87	21.01	27.26
Escenario 2 - 70%, 10 años (5%)	VAN	1,711.98 €	1,298.93 €	1,342.22 €	967.64 €	1,129.80 €
	TIR	12%	7%	20%	10%	7%
	IR	20%	7%	43%	17%	9%
	Payback	9.32	15.03	5.93	11.01	14.13
Escenario 3 - 20%, 10 años (6.5%)	VAN	67.81 €	-2,652.58 €	824.55 €	-303.06 €	-1,647.79 €
	TIR	4%	1%	7%	3%	1%
	IR	1%	-14%	26%	-5%	-13%
	Payback	23.63	38.87	14.15	27.68	36.02
Escenario 3 - 40%, 10 años (6.5%)	VAN	534.33 €	-1,322.02 €	910.42 €	82.57 €	-730.81 €
	TIR	5%	3%	10%	4%	3%
	IR	6%	-7%	29%	1%	-6%
	Payback	17.91	29.34	10.87	21.01	27.26
Escenario 3 - 70%, 10 años (6.5%)	VAN	1,299.44 €	748.27 €	1,083.93 €	701.70 €	704.34 €
	TIR	12%	7%	20%	10%	7%
	IR	15%	4%	34%	12%	6%
	Payback	9.32	15.03	5.93	11.01	14.13
Escenario 4 - 20%, 10 años (8%)	VAN	-75.27 €	-2,839.62 €	733.79 €	-394.86 €	-1,792.98 €
	TIR	4%	1%	7%	3%	1%
	IR	-1%	-15%	23%	-7%	-14%
	Payback	23.63	38.87	14.15	27.68	36.02
Escenario 4 - 40%, 10 años (8%)	VAN	297.55 €	-1,632.80 €	760.63 €	-69.44 €	-971.77 €
	TIR	5%	3%	10%	4%	3%
	IR	3%	-9%	24%	-1%	-8%
	Payback	17.91	29.34	10.87	21.01	27.26
Escenario 4 - 70%, 10 años (8%)	VAN	979.15 €	322.65 €	882.95 €	495.56 €	375.35 €
	TIR	12%	7%	20%	10%	7%
	IR	11%	2%	28%	8%	3%
	Payback	9.32	15.03	5.93	11.01	14.13

Tabla 42. Resumen de indicadores financieros para cada escenario, medidas supply-side.



## 5. CONCLUSIONES

### 5.1. RESUMEN DE MEDIDAS Y RESULTADOS

En la Tabla 43 se recoge el resumen de las medidas que se instalarán en el inmueble, así como todas sus características, las subvenciones aplicadas, el préstamo requerido y el valor de los indicadores financieros.

<b>PROYECTO DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE UNA VIVIENDA</b>			
<b>Medida</b>	<b>Inversión</b>	<b>Subvención</b>	<b>Préstamo</b>
Instalación de domótica	423.93 €	0.00 €	169.57 €
Iluminación de bajo consumo	276.78 €	0.00 €	110.71 €
Equipos más eficientes	1,499.00 €	0.00 €	599.60 €
Aislamiento de fachadas	835.77 €	410.29 €	170.19 €
Aislamiento de cubierta	3,438.75 €	1,688.11 €	700.25 €
Aislamiento de suelos	1,600.18 €	785.54 €	325.85 €
Radiadores de baja temperatura	4,835.90 €	0.00 €	1,934.36 €
Paneles fotovoltaicos	8,711.40 €	4,776.51 €	1,573.96 €
Caldera de gasóleo nueva	3,149.00 €	1,745.87 €	561.25 €
<b>TOTAL</b>	<b>24,770.71 €</b>	<b>9,406.32 €</b>	<b>6,145.76 €</b>
<b>Préstamo bancario</b>			
% Financiado	40%		
TIN	5.00%		
Plazo de amortización	10		
<b>Indicadores financieros del proyecto</b>			
VAN	8,185.21 €		
TIR	8.19%		
IR	33.04%		
Payback	12.96		

Tabla 43. Resumen de las medidas elegidas y resultados financieros.

La demanda energética de la vivienda se muestra en la Figura 16.

Debido a la selección final de los candidatos en la reevaluación de las medidas, algunas medidas como la sustitución de ventanas o la instalación de válvulas termostáticas no se instalarán, por lo que la demanda final de la vivienda es ligeramente superior a la estimada inicialmente, siendo la reducción de demanda eléctrica de un 31% y la térmica de un 36%.

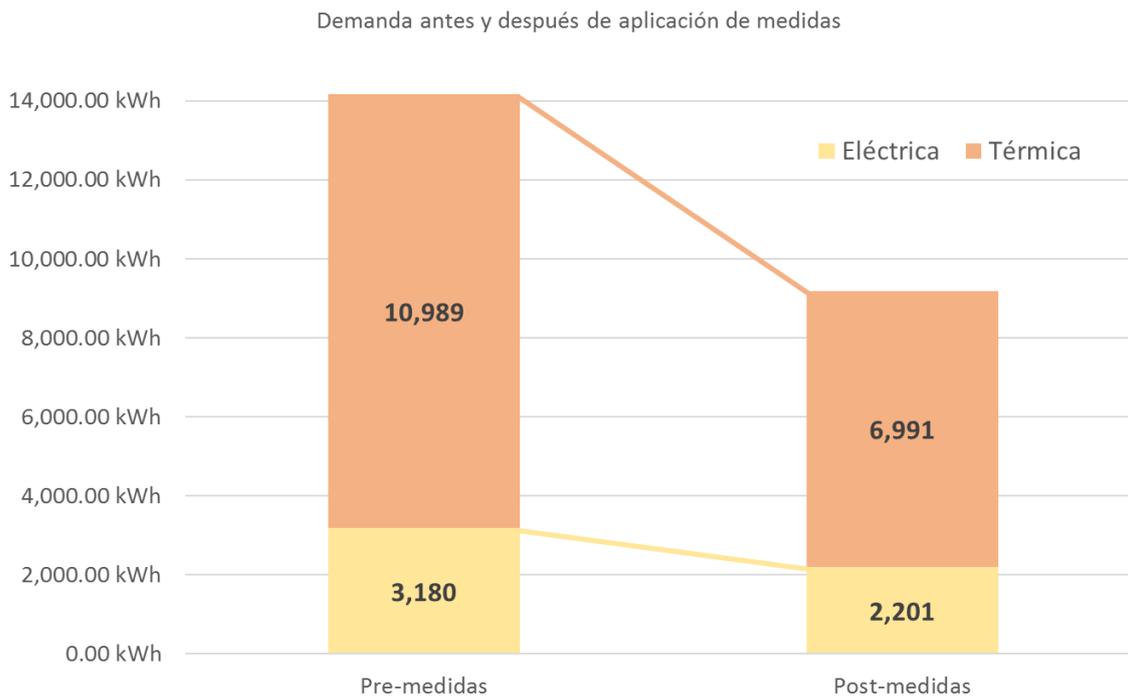


Figura 16. Demanda antes y después de la aplicación de las medidas seleccionadas.

El gasto anual, como se observa en la Figura 17, también se ve reducido con la instalación de las medidas de *demand-side* y *supply-side*, siendo el ahorro en gasto eléctrico de un 47%, en calefacción un 64% y en ACS un 8%.

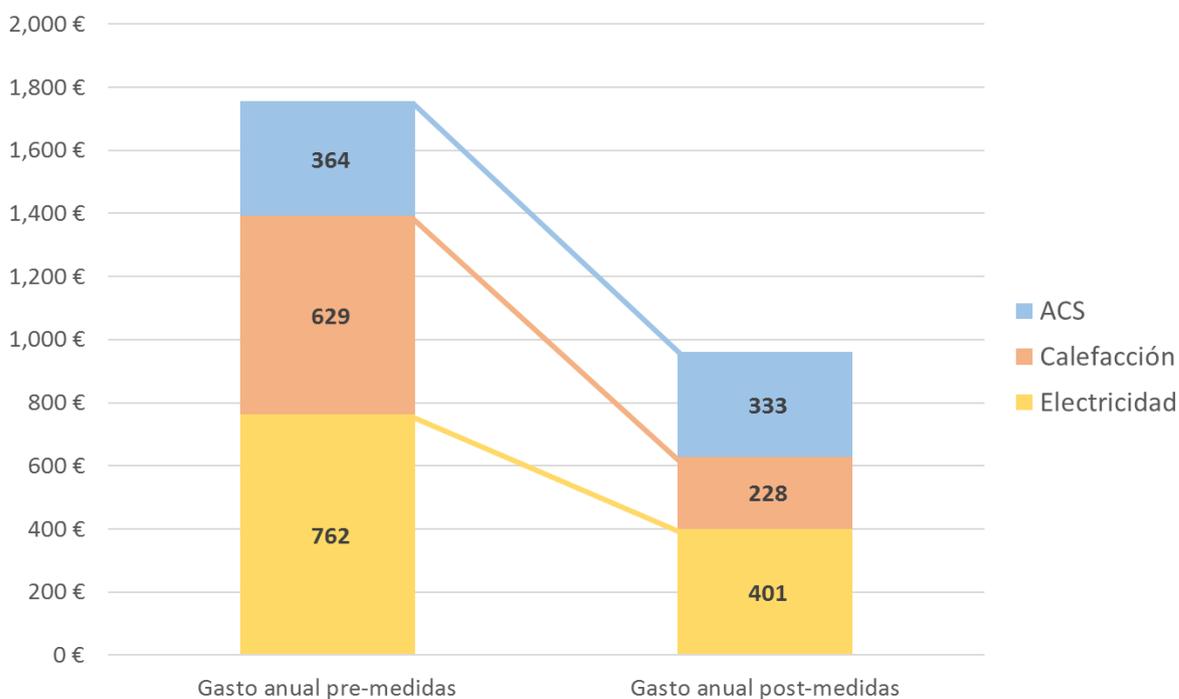


Figura 17. Reducción del gasto anual tras la aplicación de las medidas seleccionadas.

## 5.2. CONCLUSIONES

El ejercicio de rehabilitación energética de un inmueble es necesario para la prolongación de la vida útil de aquellas viviendas de construcción antigua, donde los aislamientos se encuentran deteriorados, se producen altas pérdidas térmicas, los equipos instalados tienen rendimientos bajos y el gasto que se produce durante el año es elevado. Para ello, se debe realizar un estudio complejo de las características técnicas del edificio, de forma que éste quede completamente caracterizado de cara al conocimiento de sus vulnerabilidades energéticas. Una vez obtenido este estudio, se debe determinar qué medidas se encuentran disponibles para su instalación, examinando sus propiedades y los ahorros que producen, de manera que se maximice el beneficio obtenido por estas medidas. Por último, es necesario estudiar los distintos mecanismos de financiación que se pueden aplicar al proyecto, para conocer su viabilidad y rentabilidad a corto, medio y largo plazo.

El proyecto aquí detallado constituye un esfuerzo por mejorar la eficiencia energética de la vivienda analizada. Se ha cuidado que el balance entre inversión necesaria y ahorro obtenido sea adecuado para que la rentabilidad del proyecto sea elevada, alcanzando un 33.04% de rentabilidad. Mediante el estudio técnico y económico de las propuestas realizadas, ha sido posible distinguir qué medidas resultan interesantes para alcanzar este objetivo y reducir el gasto energético sin descuidar los requisitos de demanda de los propietarios. De esta manera, el proyecto realizado permite extraer las siguientes reflexiones:

- *Las viviendas de antigüedad superior a 15 años presentan una eficiencia energética baja.* Aunque la vivienda a fecha de construcción presentaba ciertas medidas para mejorar la eficiencia energética, como la presencia de aislamientos en fachadas, cubierta y forjados, los crecientes requisitos de eficiencia obligan al CTE a hacer más estricto el nivel de aislamiento mínimo de los inmuebles, por lo que las viviendas que se construyeron siguiendo iteraciones anteriores de este código no se adecúan a las disposiciones actuales y deben ser mejoradas.
- *Las medidas demand-side y supply-side cumplen funciones diferentes.* En el proyecto se ha realizado una distinción entre las medidas que afectan a la demanda y las medidas que modifican el abastecimiento o provisión de energía. Las medidas *demand-side* permiten lograr una reducción de la demanda energética del inmueble, bien reduciendo sus pérdidas o mejorando el rendimiento, para conseguir satisfacer las necesidades de los inquilinos. Por su parte, las medidas *supply-side* consiguen un ahorro en la forma de acceder a la energía, como es el ejemplo de los paneles fotovoltaicos, que abastecen eléctricamente a la vivienda a través de la energía solar y, consecuentemente, reducen la factura eléctrica.
- *Existen ciertos tipos de medidas que son excluyentes entre sí.* Resulta lógico pensar que se debe instalar cualquier tipo de medida si ésta proporciona un ahorro considerable en la energía consumida y la inversión es posible. Sin

embargo, algunas de las medidas que se plantearon en el proyecto fueron rechazadas debido a incompatibilidades con otras medidas que también eran candidatas a instalación. Por ejemplo, la instalación de válvulas termostáticas es una medida eficaz para reducir el consumo de agua caliente de radiadores, pero no es compatible con la instalación de radiadores de baja temperatura, ya que el principio de funcionamiento es distinto al de los radiadores convencionales y las válvulas presentes en este tipo de radiadores son electrónicas.

- *Las medidas más eficaces para reducir el gasto son aquellas que mejoran el comportamiento térmico del inmueble.* Como se comprobó en el apartado 2.3, el consumo en calefacción y agua caliente sanitaria es considerablemente superior al eléctrico. La reducción de este consumo presenta grandes oportunidades de ahorro, debido principalmente a que las viviendas suelen ser más ineficientes en el apartado térmico que en el eléctrico, ya que la mayoría de los equipos electrónicos tienen rendimientos eléctricos elevados, siendo la reducción del gasto en electricidad menor que la posible en el gasto térmico.
- *Ciertas tecnologías siguen en proceso de evolución.* Algunas tecnologías como las baterías de almacenamiento eléctrico están en proceso de desarrollo y, cada año, surgen nuevos equipos de mayor capacidad y mejores prestaciones que dejan obsoletos a los modelos anteriores. Debido a la curva de aprendizaje, esta tecnología se encuentra en fase de aprendizaje y, por tanto, la inversión en esta medida es costosa y reduce la rentabilidad del proyecto. Sin embargo, es interesante su consideración en el estudio como una medida fácilmente acoplable en el inmueble y que consigue reducir notablemente el gasto en electricidad.
- *El precio de la electricidad y el combustible para calefacción es determinante en los ahorros conseguidos.* Para el estudio del proyecto se ha considerado precios fijos a través de futuros o suposiciones de cálculo. Sin embargo, la volatilidad de estos precios debido a fluctuaciones en el mercado provoca que se tenga mayor incertidumbre sobre los ahorros económicos que se perciben. Una solución para garantizar unos ahorros constantes durante todo el año puede ser la contratación de tarifas de precio fijo por períodos o tarifas de discriminación horaria [63].
- *La relación inversión-ahorro permite identificar oportunidades y descartar candidatos.* Aquellas medidas que presentan una inversión moderada y permiten obtener ahorros considerables son atractivas para su instalación y deben ser consideradas como candidatos para mejorar la eficiencia del inmueble. Sin embargo, esta relación también permite descartar las medidas que, aunque técnicamente presentan un ahorro, no optan a ser instaladas debido a la inversión inicial necesaria en su compra o instalación.
- *La existencia de subvenciones a la rehabilitación energética aumenta la rentabilidad del proyecto.* La inversión necesaria para ejecutar el proyecto de

rehabilitación energética del inmueble es elevada, por lo que es deseable la aplicación de subvenciones y bonificaciones que deduzcan parte de la inversión. Por ello, este tipo de proyectos siempre debe investigar acerca de las subvenciones disponibles, bien a nivel estatal o municipal, que permitan reducir el capital necesario para su ejecución.

- *Crecientes grados de endeudamiento mejoran la rentabilidad del proyecto.* En proyectos donde el capital es mixto, es decir, formado por capital propio y financiación externa, altos grados de endeudamiento mejoran considerablemente la rentabilidad del proyecto. Como los indicadores financieros del proyecto reflejan el comportamiento del capital propio, a través del WACC es posible incluir el coste de la deuda y obtener un mayor rendimiento del capital aportado.

Actualmente, el espectro de inversión en medidas de eficiencia energética de un inmueble es amplio, siendo medidas como la instalación de domótica, termostatos inteligentes, bombillas de bajo consumo o válvulas termostáticas las más asequibles, con un impacto considerable en el gasto del propietario, mientras que otras medidas como un nuevo sistema de calefacción o la instalación de paneles solares resultan más costosas, pero son las que mayores ahorros producen. Es por ello que se debe buscar un compromiso entre inversión y ahorro para mejorar la rentabilidad del proyecto. De esta idea surge un problema, y es que la rehabilitación energética de los inmuebles es un proyecto que afecta a todos los propietarios de inmuebles pero que está polarizado hacia las rentas más altas, ya que son aquellas que pueden permitirse un desembolso mayor en este sentido. Con este fenómeno, como el objetivo de la mejora energética de las viviendas y edificios es la reducción de energía consumida y, por tanto, del gasto económico, sólo aquellas personas o empresas que puedan permitirse la instalación de mejoras de eficiencia energética conseguirán estos ahorros. Las rentas más limitadas verán como su inmueble se deteriora energéticamente y su factura se incrementa en el tiempo, dando lugar al fenómeno conocido en el sector eléctrico como *“Utility death spiral”* o *“Espiral de la muerte”* [64], en la que la instalación progresiva de equipos y fuentes de energía renovables produce un ahorro al consumidor y una disminución de los ingresos de las empresas eléctrica. Éstas se ven obligadas a incrementar otras partes de la factura a sus clientes para recuperar el nivel de ingresos, por lo que el coste esquivado por los clientes con estos equipos es mayor, provocando que su instalación sea cada vez más rentable, lo que afecta negativamente a aquellos que no pueden instalar o no pueden permitirse estos equipos.

### 5.3. FUTUROS PASOS

El problema de la eficiencia energética es una preocupación creciente en los países desarrollados, y afecta tanto a los consumidores como a los productores en todos los ámbitos y sectores profesionales y sociales. Sin embargo, aún no existe una conciencia generalizada de su importancia para el desarrollo de la sociedad y el capital. Para ello,

existen una serie de barreras que deben ser superadas para encauzar los esfuerzos de las empresas y los individuos hacia un mundo más eficiente y competitivo, con un consumo de energía menor. Según [65], estas barreras son:

- Financiación. Los proyectos de eficiencia energética de gran tamaño presentan periodos de retorno elevados, que, sumados a señales de precio no adecuadas motivadas por su alta variabilidad, hacen que los proyectos vean reducida su viabilidad económica y, por tanto, presenten dificultades a la hora de conseguir financiación.
- Información imperfecta. Aunque el interés por la eficiencia energética ha mejorado la información disponible, los usuarios e inversores potenciales no disponen de información detallada sobre las ventajas de la instalación de medidas de este tipo y los ahorros que se pueden conseguir.
- Problema del arrendatario. Existe un conflicto en viviendas alquiladas entre los intereses del inquilino, que quiere minimizar el gasto energético para reducir sus facturas, y el propietario, el cuál debe realizar la inversión para la mejora energética del inmueble.
- Falta de concienciación. Cada vez menor, la falta de concienciación sigue suponiendo un problema. El etiquetado energético de los electrodomésticos es una medida eficaz para que los consumidores conozcan y comparen productos y su eficiencia. Sin embargo, aún existe desconocimiento en torno a las medidas que afectan al gasto térmico, como los aislamientos, sustitución de ventanas o nuevas formas de climatización.
- Indicadores y objetivos inapropiados a nivel nacional y europeo. Para promover la eficiencia energética, los países y la Unión Europea han establecido una serie de objetivos que deben cumplir todos los países que son poco realistas y costosos. Son pasos en la dirección correcta pero no tienen en cuenta factores como la situación económica nacional, las posibilidades tecnológicas o las condiciones particulares del país, que afectan considerablemente al incremento de la eficiencia energética.

Para reducir el consumo de energía de viviendas y edificios a través de políticas y regulación, se debe no sólo intervenir públicamente con la reducción de las barreras financieras que estas medidas presentan, sino que también debe aplicarse otros tipos de medidas que promuevan la eficiencia energética entre los consumidores. Para ello, es necesaria la creación de campañas públicas estatales que mejoren la postura de los usuarios con respecto al consumo de energía, de forma que se adopte un comportamiento pro-medioambiental.

Por otra parte, se debe convencer a los usuarios finales de forma que éstos se dediquen de forma proactiva a la búsqueda de la reducción de energía consumida. Para ello, se deben garantizar herramientas de fácil acceso y uso para poder valorar la eficiencia energética actual de su inmueble. Las compañías distribuidoras pueden proporcionar, a

través de los contadores inteligentes, una mejor caracterización del consumo de las viviendas, lo que permite a los usuarios conocer de forma realista su gasto energético y decidir qué tipo de medidas deben adoptar para reducirlo.

Todas las medidas instaladas deben motivar a los consumidores a seguir mejorando su eficiencia progresivamente, a través de una realimentación positiva, en la que se pueda conocer de forma transparente, clara y con facilidad qué beneficios se han obtenido de su instalación y cuál ha sido su evolución. Con estas propuestas, junto con una mayor concienciación, es posible lograr que la tendencia perseguida por los consumidores sea la de alcanzar una mayor eficiencia energética, mayores ahorros de energía y mejor calidad de vida.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Teresa Ribera: La transformación energética requerirá 80.000 millones», *www.efe.com*. [En línea]. Disponible en: <https://www.efe.com/efe/espana/economia/teresa-ribera-la-transformacion-energetica-requerira-80-000-millones/10003-3711612>.
- [2] «Paris Agreement: Sustainable Development Knowledge Platform». [En línea]. Disponible en: <https://sustainabledevelopment.un.org/frameworks/parisagreement>.
- [3] «DIRECTIVA (UE) 2018/ 2002 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 11 de diciembre de 2018 - por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética», *Diario Oficial de la Unión Europea*, p. 21.
- [4] «Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética», p. 17.
- [5] ENDESA, «Informe de Comportamiento Energético de las Empresas Españolas 2017», 2017.
- [6] PWC, «Cómo impulsar la eficiencia energética: Sector hotelero español», Plataforma tecnológica española de eficiencia energética.
- [7] Consejería de Economía y Hacienda, «Guía sobre ahorro y eficiencia energética en comunidades de propietarios». Comunidad de Madrid, 2012.
- [8] Consejería de Economía y Hacienda, «Guía sobre gestión de la demanda energética del edificio». Comunidad de Madrid, 2014.
- [9] Comunidad de Madrid, «Plan Energético de la Comunidad de Madrid Horizonte 2020». Consejería de Economía, Empleo y Hacienda, Dirección General de Industria, Energía y Minas.
- [10] Comunidad de Madrid, «Proyectos emblemáticos VII en el ámbito de la energía». Fundación para la Eficiencia Energética y el Medioambiente.
- [11] «Análisis del consumo energético del sector residencial en España», IDAE, jul. 2011.
- [12] P. Thollander, S. Backlund, A. Trianni, y E. Cagno, «Beyond barriers – A case study on driving forces for improved energy efficiency in the foundry industries in Finland, France, Germany, Italy, Poland, Spain, and Sweden», *Applied Energy*, vol. 111, pp. 636-643, nov. 2013.
- [13] A. B. Jaffe y R. N. Stavins, «The energy-efficiency gap», *Energy Policy*, vol. 22, n.º 10, p. 7, 1994.
- [14] B. Li y R. Yao, «Urbanisation and its impact on building energy consumption and efficiency in China», *Renewable Energy*, vol. 34, n.º 9, pp. 1994-1998, sep. 2009.
- [15] BP, «BP Energy Outlook: Country and regional insights - India», 2018.
- [16] C. Mayakrishnan, «Demand side management of electrical energy efficiency and environmental sustainability in India», *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 4, n.º 3, mar. 2011.
- [17] J. Kneifel, «Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings», *Energy and Buildings*, vol. 42, n.º 3, pp. 333-340, mar. 2010.

- [18] D. Popescu, S. Bienert, C. Schützenhofer, y R. Boazu, «Impact of energy efficiency measures on the economic value of buildings», *Applied Energy*, vol. 89, n.º 1, pp. 454-463, ene. 2012.
- [19] W. J. Fisk, «Health and productivity gains from better indoor environments and their relationship with building energy efficiency», *Annual Review of Energy and the Environment*, vol. 25, n.º 1, pp. 537-566, nov. 2000.
- [20] Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, «Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía - DA-DB-HE». Ministerio de Fomento.
- [21] Ministerio de Fomento, «Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía - DA-DB-HE-1 - Cálculo de parámetros característicos», p. 19.
- [22] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, «FACTORES DE CONVERSIÓN ENERGÍA FINAL -ENERGÍA PRIMARIA Y FACTORES DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub>-2010». Ministerio para la transición ecológica, nov-2011.
- [23] A. Kailas, V. Cecchi, y A. Mukherjee, «A Survey of Communications and Networking Technologies for Energy Management in Buildings and Home Automation», *Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 2012, pp. 1-12, 2012.
- [24] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, «BOE-A-2007-22458, Orden ITC/3860/2007». .
- [25] Alimarket, «Alimarket Online. Información Económica Sectorial», *Alimarket.es*. [En línea]. Disponible en: <http://www.alimarket.es/>.
- [26] «REGLAMENTO (UE) 2017/1369 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 4 de julio de 2017 - por el que se establece un marco para el etiquetado energético y se deroga la Directiva 2010/30/UE», *Diario Oficial de la Unión Europea*, p. 23.
- [27] «Cómo elegir aislamiento térmico - Leroy Merlin». [En línea]. Disponible en: [http://www.leroymerlin.es/productos/construccion/aislamiento/aislamiento\\_termico/como-elegir-aislamiento-termico.html](http://www.leroymerlin.es/productos/construccion/aislamiento/aislamiento_termico/como-elegir-aislamiento-termico.html).
- [28] «Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios», p. 137.
- [29] «Impuesto Bienes Inmuebles (IBI). Bonificación instalación sistemas aprovechamiento energía solar - Gestiones y Trámites». [En línea]. Disponible en: <https://sede.madrid.es/portal/site/tramites/menuitem.62876cb64654a55e2dbd7003a8a409a0/?vgnnextoid=2dcb67713959f010VgnVCM1000000b205a0aRCRD&vgnnextchannel=69cca38813180210VgnVCM100000c90da8c0RCRD&vgnnextfmt=pda>.
- [30] Comunidad de Madrid, «Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, 2018-12-12». .
- [31] B. Urban, K. Roth, y D. Chimere Harbor, «Energy Savings from Five Home Automation Technologies: A Scoping Study of Technical Potential», *Fraunhofer USA Center for Sustainable Energy Systems*, p. 66.
- [32] «LED regulables | Philips Lighting», *Philips*. [En línea]. Disponible en: <https://www.lighting.philips.es/consumer/luces-led/dimmable-led>.
- [33] «Encuesta de fiabilidad de electrodomésticos de OCU #». [En línea]. Disponible en: <https://www.ocu.org/organizacion/prensa/notas-de-prensa/2016/fiabilidad-electrodomesticos>.
- [34] «Induction Hob – PowerSaving». [En línea]. Disponible en: <https://powersaving.co.za/appliance-tests/kitchen-appliances/induction-hob-test/>.

- [35] Guardian SunGuard, «SunGuard Extra Selective - Catálogo - SNX 60 / SNX 60 ULTRA». [En línea]. Disponible en: [http://www.sunguardglass.es/cs/groups/sunguardspanish/documents/document/web\\_083859.pdf](http://www.sunguardglass.es/cs/groups/sunguardspanish/documents/document/web_083859.pdf).
- [36] «ROCKIn S». [En línea]. Disponible en: <http://www.rockwool.es/productos-y-soluciones/fieltros-y-borra/rockin-s/>.
- [37] «Rockciel-E 444». [En línea]. Disponible en: <http://www.rockwool.es/productos-y-soluciones/cubierta-hormigon/rockciel-e-444/>.
- [38] «PANEL PST». [En línea]. Disponible en: <https://www.isover.es/productos/panel-pst>.
- [39] Q. Wang y S. Holmberg, «Combined Retrofitting with Low Temperature Heating and Ventilation Energy Savings», *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 1081-1086, nov. 2015.
- [40] «Exhaust and supply air ventilation with heat recovery (FTX system)». [En línea]. Disponible en: <http://www.energimyndigheten.se/en/sustainability/households/other-energy-consumption-in-your-home/ventilation/exhaust-and-supply-air-ventilation-with-heat-recovery-ftx-system/>.
- [41] Canadian Solar Inc., «MAXPOWER CS6U-325 | 330 | 335P». [En línea]. Disponible en: <https://www.canadiansolar.com/upload/9af6c207e648ca8f/eed96ea807d66b18.pdf>.
- [42] «JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission». [En línea]. Disponible en: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP).
- [43] «Tesla Powerwall». [En línea]. Disponible en: <https://www.tesla.com/powerwall>.
- [44] Saskatchewan Energy Management Task Forces, «A Guide For The Selection of Energy Efficient Technologies». .
- [45] «Global LED Lighting Products Price Trend». [En línea]. Disponible en: [https://www.ledinside.com/news/2018/8/global\\_led\\_lighting\\_products\\_price\\_trend](https://www.ledinside.com/news/2018/8/global_led_lighting_products_price_trend).
- [46] «Generador de precios de la construcción. España. CYPE Ingenieros, S.A.» [En línea]. Disponible en: <http://www.generadordeprecios.info/>.
- [47] «Catálogo JAGA 2019 - Energy Savers Low H2O - Strada», *jaga*. [En línea]. Disponible en: [https://jaga.info/wp-content/uploads/2019/01/Strada\\_2019.pdf](https://jaga.info/wp-content/uploads/2019/01/Strada_2019.pdf).
- [48] «FERROLI - ATLAS D 32 CONDENS K 130 UNIT». [En línea]. Disponible en: <https://www.ferroli.com/es/products/calderas-residencial/atlas-d-32-condens-k-130-unit>.
- [49] Daikin, «Especificaciones Serie KV y Serie K Multis». [En línea]. Disponible en: <https://www.daikin.es/content/dam/DACS/Imagenes/Site/climatizacion-para-su-hogar/Multisplit/Multi-Inverter-Serie-KV-y-Serie-K/Especificaciones-Serie-KV-2017.pdf>.
- [50] Panasonic, «Catálogo Serie KE». [En línea]. Disponible en: <https://www.panasonicproclub.com/uploads/ES/catalogues/2018/LEAFLETS/04%20SP%20A4%20KE%20RAC%20050418.pdf>.
- [51] Panasonic, «Catálogo Serie TZ Compacto». [En línea]. Disponible en: <https://www.panasonicproclub.com/uploads/ES/catalogues/2017/02%20SP%204P%20TZ%20RAC%20260526.pdf>.

- [52] «OMIP - Futures contracts». [En línea]. Disponible en: <https://www.omip.pt/>.
- [53] «Precios de los derivados del petróleo: España 2019», *datosmacro.com*. [En línea]. Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/energia/precios-gasolina-diesel-calefaccion/espana?anio=2019>.
- [54] «Precio Gasoil Calefacción en Madrid», *ClickGasoil*. [En línea]. Disponible en: <https://www.clickgasoil.com/p/precio-gasoil-calefaccion-en-madrid>.
- [55] Ministerio para la transición ecológica, «BOE-A-2018-17606, Orden TEC/1366/2018».
- [56] «Planes Iberdrola: Comparativa de tarifas y Opiniones de clientes», *Tarifaluzhora*, 01-oct-2018. [En línea]. Disponible en: <https://tarifaluzhora.es/companias/iberdrola/oferta>.
- [57] «Comunidad de Madrid | Plan Renove Madrid 2019 | 200€ Subvención», *Plan-Renove-2019*. [En línea]. Disponible en: <https://www.planrenovemadrid2019.com>.
- [58] «Tipos reducidos en obras en viviendas - Agencia Tributaria». [En línea]. Disponible en: [https://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/\\_Segmentos\\_/Ciudadanos/Vivienda/Obras\\_en\\_viviendas/IVA/Tipos\\_reducidos\\_en\\_obras\\_en\\_viviendas.shtml](https://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/_Segmentos_/Ciudadanos/Vivienda/Obras_en_viviendas/IVA/Tipos_reducidos_en_obras_en_viviendas.shtml).
- [59] «Programa de fomento de la mejora de la eficiencia energética y la sostenibilidad en viviendas | Ministerio de Fomento». [En línea]. Disponible en: <https://www.fomento.gob.es/arquitectura-vivienda-y-suelo/programas-de-ayudas-a-la-vivienda/programa-de-fomento-de-eficiencia-energetica-y-sostenibilidad-en-viviendas>.
- [60] «Segunda Convocatoria del Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios existentes (Programa PAREER II) | IDAE». [En línea]. Disponible en: <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-rehabilitacion-de-edificios-programa-pareer/segunda-convocatoria-del>.
- [61] «Comparador de Préstamos». [En línea]. Disponible en: <https://www.rankia.com/comparador/prestamos>.
- [62] «Crowdlending or P2P Lending: What is it, how does it work?» [En línea]. Disponible en: <https://www.mytriplea.com/blog/crowdlending-p2p-lending/>.
- [63] «¿Por qué interesa una Tarifa de Discriminación Horaria? | OCU», *www.ocu.org*. [En línea]. Disponible en: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/noticias/10-razones-tarifa-discriminacion-horaria>.
- [64] N. D. Laws, B. P. Epps, S. O. Peterson, M. S. Laser, y G. K. Wanjiru, «On the utility death spiral and the impact of utility rate structures on the adoption of residential solar photovoltaics and energy storage», *Applied Energy*, vol. 185, pp. 627-641, ene. 2017.
- [65] Deloitte, «Energy efficiency in Europe: The levers to deliver the potential.» 2016.