



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER
PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN
UNA VIVIENDA RESIDENCIAL

Autor: Luis Barandiarán Iturmendi

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Proyecto de optimización energética en una vivienda residencial
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/23 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.: Luis Barandiarán Iturmendi

Fecha: 27/06/2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO
SANZ FERNANDEZ
IÑIGO -
52367115W

Firmado digitalmente por
SANZ FERNANDEZ IÑIGO -
52367115W
Fecha: 2023.06.27 17:47:33
+02'00'

Fdo.: Íñigo Sanz Fernández

Fecha: 27/06/2023

PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN UNA VIVIENDA RESIDENCIAL

Autor: Barandiarán Iturmendi, Luis.

Director: Sanz Fernández, Íñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto trata de mejorar la eficiencia energética y reducir la huella de carbono de un apartamento residencial en la ciudad de Madrid. Para ello se proponen la instalación de algunas tecnologías y la mejora y actualización de ciertos parámetros actuales de la vivienda. Se estudiarán tanto su viabilidad técnica como económica y finalmente se analizarán los resultados con el objetivo de comprender el alcance las mejoras y ver si tiene sentido su implantación.

Palabras clave: Eficiencia energética; aerotermia; consumo energético; aislamiento térmico; autoconsumo.

1. Introducción

A pesar de que pocas veces se tiene en cuenta, la energía utilizada en el sector de viviendas residenciales es responsable de hasta un 11% [1] de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, haciendo que se haga necesario una reducción inmediata de estas. Aspectos como la ventilación, la climatización o el uso irresponsable de la electricidad, son grandes contribuidores a estas emisiones, y debido a que, normalmente, no son emisiones directas, es decir, no se producen en la propia residencia, muchas veces son fáciles de obviar.

Esto unido a la escalada de precios experimentada tanto en el sector eléctrico como en el sector gasista en los últimos años, hace que sean cada vez más los residentes de viviendas, como es el caso con los propietarios de la vivienda en análisis, que quieran mejorar sus instalaciones o simplemente quieran actualizarlas a las recomendaciones de la normativa, con el objetivo de reducir tanto las emisiones de gases de efecto invernadero así como la reducción de las facturas de los servicios energéticos, consiguiendo tener una vivienda más eficiente en términos energéticos.

2. Definición del proyecto

El proyecto centra su atención en la mejora de la eficiencia energética de una vivienda residencial situada en el Barrio de Salamanca en el centro de la ciudad de Madrid. Dicha vivienda se encuentra dentro de un edificio cuya construcción data de la década de 1930, y no ha “sufrido” apenas modificaciones desde su construcción, haciendo por lo tanto que la actual eficiencia energética de la vivienda sea muy baja.

Por lo tanto, el proyecto tiene en realidad dos objetivos claramente definidos que, de lograrse, tendrán como consecuencia un ahorro energético y económico y un incremento de eficiencia energética.

El primero de los objetivos es valorar y estudiar una posible reducción, o incluso eliminación, de ciertos consumos energéticos. Es decir, se va a tratar de disminuir el consumo energético final de la vivienda.

El segundo objetivo será, en caso de no poder reducir o eliminar el consumo, tratar de modificar el origen de la generación energética por fuentes de energía consideradas limpias o renovables, con la intención de reducir la huella de carbono de la vivienda y de sus residentes.

Si dichos objetivos se logran, las consecuencias de estos será una mejora de la eficiencia energética, reduciendo por lo tanto dos aspectos fundamentales: el consumo de la energía primaria por metro cuadrados de la vivienda y la emisión de gases de efecto invernadero de la vivienda. También lo que se acabaría logrando sería un ahorro económico a medio-largo plazo, y una probable independencia energética (parcial o completa) la cual beneficiaría de sobremanera a la vivienda.

3. Descripción de las soluciones propuestas

En el proyecto se han propuesto tres soluciones diferenciadas.

La primera consiste en la mejora del aislamiento térmico de la envolvente de la vivienda. Actualmente la envolvente térmica de la vivienda cuenta con muy poco o nulo aislamiento térmico lo que se acaba traduciendo en grandes pérdidas de calor por transmisión y, por tanto, en un consumo elevado de calefacción en invierno y aire acondicionado en verano para climatizar el apartamento. Con esta medida se persigue asilar mejor a la vivienda de las condiciones climáticas exteriores reduciendo así los consumos mencionados anteriormente.

La segunda consiste en el cambio de la actual caldera de condensación por un equipo aerotérmico. De esta manera se podrá obtener un equipo muy eficiente energéticamente hablando que utiliza electricidad en lugar de gas natural. Así, se podrá reducir el consumo de energía primaria para la climatización de la vivienda, la producción de agua caliente sanitaria y la ventilación y se reducirán las emisiones de gases de efecto invernadero.

La tercera y última medida consiste en la instalación de paneles solares fotovoltaicos para el autoconsumo, sin un vertido a la red. De esta manera se podrá suministrar a la vivienda una electricidad limpia y renovable, dándole cierta independencia de la Red, reduciendo significativamente las emisiones y aumentando en conjunto la eficiencia energética final de la vivienda.

Una vez propuestas las alternativas, se estudiarán los ahorros energéticos tanto térmicos como eléctricos que esas provocan y si atenderá a otros factores también como los económicos y los contaminantes para poder estudiar la mejora de la eficiencia energética final de la vivienda, siguiendo el flujograma de la Ilustración 1.

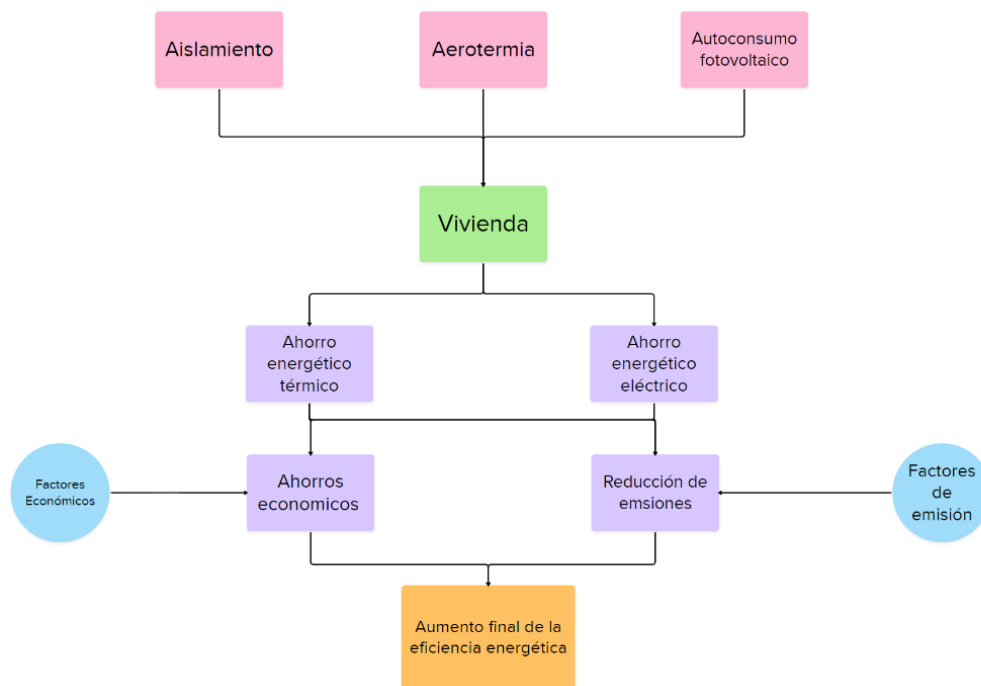


Ilustración 1 -Flujograma del proyecto

4. Resultados

Los resultados más relevantes del proyecto, aunque no todos, se pueden ver en la tabla que se muestra a continuación. En ella se muestran los ahorros energético y de emisiones tras aplicar las medidas con respecto a la situación inicial y muestran también algunos parámetros económicos.

Tabla 1. Principales resultados del proyecto

Medida	Ahorro energético	Ahorro de emisiones	VAN [€]	TIR
Mejora de aislamiento	75%	75%	21.277,63	10%
Aerotermia sin aislamiento	68,4%	53,13%	12.793,75	1%
Aerotermia con aislamiento	92,92%	88,75%	9.952,05	6%
Fotovoltaica de autoconsumo	73,72%	73,72%	593,8	5%

5. Conclusiones

Una de las principales conclusiones que se pueden obtener una vez finalizado el estudio es que se hace necesario llevar a cabo la instalación del nuevo asilamiento. Dicha medida por si sola conllevará a una elevada reducción de demanda energética térmica para climatizar la vivienda, haciendo que se vena reducidos de manera significativa los consumos traduciéndose en unos ahorros, es decir, unos flujos de caja positivos muy elevados. No solo eso, sino que además debido a la elevada vida esperada del asilamiento, se puede suponer que dichos ahorros serán percibidos durante un largo periodo de tiempo, pudiendo llegar a los 40 años fácilmente.

Otra importante conclusión obtenido es que, si bien la aerotermia produce grandes reducción de emisiones y un elevado aumento de eficiencia energética, esta medida carece de un atractivo económico si se emplea por si sola, por lo tanto, con el objetivo de aumentar la rentabilidad de dicha inversión y lograr sacar el máximo partido, se recomienda llevar a cabo la instalación del equipo aerotérmico una vez se haya realizado la mejora del aislamiento.

Por último, otra de las conclusiones principales obtenidas es que, si bien el autoconsumo fotovoltaico reduce las emisiones aumenta la eficiencia y es económicamente viable y rentable, parece más una medida adicional a las medidas comentadas anteriormente, ya que, en la mayoría de los parámetros comentados y estudiados, el autoconsumo a través de la tecnología fotovoltaica parece ir un paso por detrás por lo que no se hace imperativo ni mucho menos urgente su instalación. Como se ha dicho puede plantearse como medida adicional o como la última medida de las tres a instalar.

Por lo tanto, parece que la instalación de las medidas propuestas tiene sentido, siempre que se hagan en un orden y se priorice la instalación primero del aislamiento, seguido de la aerotermia y finalmente la fotovoltaica

6. Referencias

- [1] M. R. a. P. R. Hannah Ritchie, «Emissions by sector,» Our world in data, [En línea]. Available: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector#citation>. [Último acceso: 18 Febrero 2023].

ENERGY OPTIMISATION PROJECT IN A RESIDENTIAL HOME

Author: Barandiarán Iturmendi, Luis.

Supervisor: Sanz Fernández, Íñigo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This project aims to improve the energy efficiency and reduce the carbon footprint of a residential flat in the city of Madrid. To this end, the installation of some technologies and the improvement and updating of certain current parameters of the dwelling are proposed. Both technical and economic feasibility will be studied and finally the results will be analyzed to understand the scope of the improvements and see if it makes sense to implement them.

Keywords: Energy efficiency; aerothermal; energy consumption; thermal insulation; self-consumption.

1. Introduction

Although rarely considered, energy used in the residential housing sector is responsible for up to 11% [1] of global greenhouse gas emissions, making an immediate reduction of these emissions necessary. Aspects such as ventilation, air conditioning and irresponsible use of electricity are major contributors to these emissions, and because they are not usually direct emissions, i.e., they do not occur in the residence itself, they are often easy to overlook.

This, together with the escalation of prices experienced in both the electricity and gas sectors in recent years, means that more and more residents, as is the case with the owners of the home under analysis, want to improve their installations or simply update them to the recommendations of the regulations, with the aim of reducing greenhouse gas emissions as well as reducing energy bills, making their homes more energy efficient..

2. Project definition

The project focuses on improving the energy efficiency of a residential dwelling located in the Barrio de Salamanca in the center of the city of Madrid. This dwelling is in a building whose construction dates to the 1930s and has not "suffered" hardly any modifications since its construction, thus making the current energy efficiency of the dwelling very low.

Therefore, the project has two clearly defined objectives which, if achieved, will result in energy and economic savings and an increase in energy efficiency.

The first objective is to evaluate and study a possible reduction, or even elimination, of certain energy consumptions. In other words, the final energy consumption of the dwelling will be reduced.

The second objective will be, if it is not possible to reduce or eliminate consumption, to try to modify the origin of energy generation for energy sources considered clean or renewable, with the aim of reducing the carbon footprint of the dwelling and its residents.

If these objectives are achieved, the consequences of this will be an improvement in energy efficiency, thereby reducing two fundamental aspects: the consumption of primary energy per square meter of the dwelling and the emission of greenhouse gases from the dwelling. What would also be achieved would be a medium to long term economic saving, and a probable energy independence (partial or complete) which would greatly benefit the house.

3. Description of the model/system/tool

Three different solutions have been proposed in the project.

The first consists of improving the thermal insulation of the envelope of the house. Currently, the thermal envelope of the house has very little or no thermal insulation, which results in large heat losses through transmission and, therefore, in a high consumption of heating in winter and air conditioning in summer to air-condition the flat. The aim of this measure is to better insulate the house from the outside weather conditions, thus reducing the consumption.

The second consists of changing the current condensing boiler for an athermal unit. In this way it will be possible to obtain a very energy efficient equipment that uses electricity instead of natural gas. This will reduce the consumption of primary energy for air-conditioning, domestic hot water production and ventilation and will reduce greenhouse gas emissions.

The third and last measure consists of the installation of photovoltaic solar panels for self-consumption, with no discharge to the grid. In this way, it will be possible to supply the house with clean and renewable electricity, giving it a certain independence from the grid, significantly reducing emissions, and increasing the final energy efficiency of the house.

Once the alternatives have been proposed, the energy savings, both thermal and electrical, will be studied and other factors such as economic and pollutant factors will

also be considered to analyze the improvement of the final energy efficiency of the house, following the flowchart of Figure 1

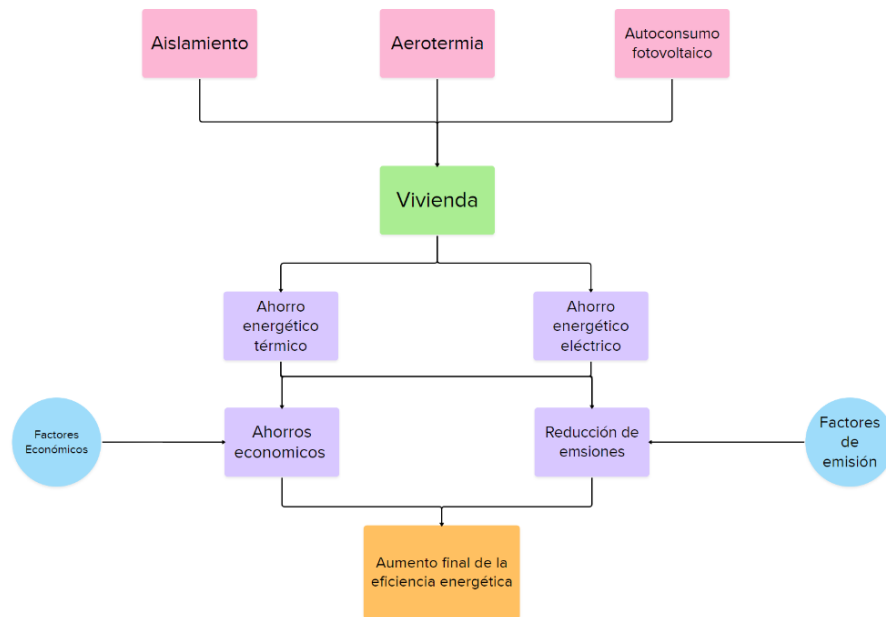


Figure 1. Flux gram of the project

4. Results

The most relevant results of the project, although not all, can be seen in the table below. It shows the energy and emission savings after implementation of the measures compared to the baseline situation and shows some economic parameters.

Table 1. Main project results

Measure	Energetic savings	Emissions savings	NPV	IRR
Improved insulation	75%	75%	21.277,63	10%
Aerothermal without insulation	68,4%	53,13%	12.793,75	1%
Aerothermal with insulation	92,92%	88,75%	9.952,05	6%
Self-consumption photovoltaics	73,72%	73,72%	593,8	5%

5. Conclusions

One of the main conclusions that can be drawn once the study has been completed is that it is necessary to install the new insulation. This measure alone will lead to a high reduction in thermal energy demand for air-conditioning the house, resulting in a significant reduction in consumption, which will translate into savings, i.e., very high positive cash flows. Not only that, but also due to the high expected life of the insulation, it can be assumed that these savings will be perceived over a long period of time, which can easily reach 40 years.

Another important conclusion obtained is that, although aerothermal energy produces large reductions in emissions and a high increase in energy efficiency, this measure lacks economic attractiveness if used on its own, therefore, in order to increase the profitability of such investment and to get the most out of it, it is recommended to carry out the installation of the aerothermal equipment once the insulation improvement has been carried out.

Finally, another of the main conclusions obtained is that, although photovoltaic self-consumption reduces emissions, increases efficiency and is economically viable and profitable, it seems to be more of an additional measure to the previously mentioned measures, since, in most of the parameters discussed and studied, self-consumption through photovoltaic technology seems to be a step behind, so its installation is neither imperative nor urgent. As mentioned above, it can be considered as an additional measure or as the last of the three measures to be installed.

Therefore, it seems that the installation of the proposed measures makes sense, if they are done in order and priority is given to the installation of insulation first, followed by aerothermal energy and finally photovoltaics.

6. References

- [1] M. R. a. P. R. Hannah Ritchie, «Emissions by sector,» Our world in data, [En línea]. Available: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector#citation>. [Último acceso: 18 Febrero 2023].

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	9
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....	13
2.1 Climatización y aislamiento	13
2.1.1 Climatización.....	13
2.1.2 Aislamiento.....	34
2.2 Tecnología Solar Fotovoltaica.....	37
2.2.1 Principio de funcionamiento	39
2.2.2 Actualidad de la tecnología solar fotovoltaica:	43
2.2.3 Autoconsumo. Situación en España.....	47
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	56
Capítulo 4. Definición del Trabajo	57
4.1 Aislamiento	57
4.1.1 Introducción	57
4.1.2 Situación actual de la vivienda.....	64
4.1.3 Propuestas de mejora.....	67
4.1.4 Análisis de las propuestas de mejora	70
4.2 Aerotermia.....	72
4.2.1 Cargas de transmisión.....	73
4.2.2 Ventilación.....	74
4.2.3 ACS.....	77
4.2.4 Potencia necesaria del equipo.....	80
4.3 Fotovoltaica.....	80
4.3.1 Recurso solar.....	81
4.3.2 Dimensionado de los parámetros más importantes	83
4.3.3 Software utilizado.....	92
4.3.4 Resultados	100
Capítulo 5. Planificación y Estimación Económica.....	102
5.1.1 Estudio del aislamiento	102

5.1.2 Estudio del equipo aerotérmico.....	108
5.1.3 Estudio fotovoltaico.....	116
5.2 Ayudas económicas y subvenciones	122
Capítulo 6. Análisis de Resultados.....	123
6.1 Aislamiento	123
6.2 Aerotermia.....	125
6.3 Fotovoltaica.....	127
6.4 Eficiencia energética	128
Capítulo 7. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	132
Capítulo 8. Bibliografía.....	136
ANEXO A Planos	142
ANEXO B. Objetivos de desarrollo sostenible.....	144

Índice de figuras

Figura 1. Contribución al cambio climático por sectores [1]	10
Figura 2. Evolución del precio de la electricidad	11
Figura 3. Representación esquemática de una bomba de calor	15
Figura 4. Representación del ciclo de una bomba de calor en un diagrama P-h.....	16
Figura 5. Representación de una bomba de calor reversible	17
Figura 6. Ciclo de refrigeración en cascada	18
Figura 7. Ciclo de refrigeración multietapa.....	19
Figura 8. Diagrama de energía en una bomba de calor [4].....	20
Figura 9. Requisitos para considerar las bombas de calor como energía renovable	22
Figura 10. Nivel de PCA de los refrigerantes actuales [4]	22
Figura 11. Prohibiciones de uso de refrigerantes [4].....	23
Figura 12. Alternativas a refrigerantes actuales [4].....	23
Figura 13. Configuraciones de una bomba aerotérmica	24
Figura 14. Ciclo termodinámico de una bomba de calor.....	26
Figura 15. Rendimientos de una bomba de calor aerotérmica [6].....	27
Figura 16. Esquema de una bomba de calor geotérmica	28
Figura 17. Evolución de temperaturas en geotermia [7]	29
Figura 18. Temperaturas en un radiador convencional [9].....	31
Figura 19. COP en función de temperatura de impulsión	32
Figura 20. Interior de un radiador de baja temperatura [10]	33
Figura 21. Formas de intercambio de calor	36
Figura 22. Esquema de pérdidas de calor	37
Figura 23. Comparación de irradiación en diferentes ciudades europeas. Elaboración propia	38
Figura 24. Bandas energéticas para conductor, semiconductor y aislante [15].....	40
Figura 25. Región de agotamiento en un semiconductor	41

Figura 26. Representación del efecto fotoeléctrico	43
Figura 27. Evolución de la energía generada a nivel mundial por la tecnología solar fotovoltaica [16]	44
Figura 28. Evolución del precio por vatio solar fotovoltaico	45
Figura 29. Evolución del LCOE solar fotovoltaico [17]	45
Figura 30. LCOE de diferentes tecnologías [18].....	46
Figura 31. Evolución de la eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos [19].....	47
Figura 32. Evolución de la potencia fotovoltaica de autoconsumo instalada [20].....	48
Figura 33. Evolución del número de instalaciones solares fotovoltaicas en España [20]...	49
Figura 34. Comparación de escenarios para el autoconsumo fotovoltaico [21].....	50
Figura 35. Evolución de la producción anual del autoconsumo [20]	51
Figura 36. Millones de euros perdidos por energía no vertida al sistema	51
Figura 37. Millones de toneladas CO2 evitadas [21]	52
Figura 38. Comunidades en las que no es necesario la licencia de obra para instalación de autoconsumo.....	54
Figura 39. Medidas para favorecer autoconsumo.....	55
Figura 40. Valores de las resistencias térmicas en función de la posición del cerramiento y del sentido del flujo	59
Figura 41. Valores de la transmitancia de los muros de fachada en función al año de construcción.....	65
Figura 42. Ventana actual de la vivienda	66
Figura 43. Transmitancia térmica de ventanas climalit.....	70
Figura 44. Caudales mínimos para garantizar salubridad.....	75
Figura 45. Número de personas en base a número de habitaciones	78
Figura 46. Irradiación mensual en plano horizontal en Madrid	81
Figura 47. Recomendaciones IDAE inclinación de paneles.....	83
Figura 48. Consumo eléctrico actual de la vivienda.....	84
Figura 49. Ángulo de inclinación en función del mes [32]	88
Figura 50. Ground Coverage Ratio [33].....	90
Figura 51. Partición de la azotea en 14 partes iguales.....	91

Figura 52. Superficie utilizada para la instalación fotovoltaica	92
Figura 53. Gráfica de la producción eléctrica.....	100
Figura 54. Origen de las pérdidas de la instalación fotovoltaica.....	101
Figura 55. Flujos de caja y Payback de aislamiento.....	107
Figura 56. Flujos de caja y Payback de aerotermia sin aislamiento	111
Figura 57. Flujos de caja y Payback de aerotermia con aislamiento	115
Figura 58. Periodo de retorno de la instalación fotovoltaica.....	121
Figura 59. Resumen de valores de eficiencia energética establecidos por [41]	130
Figura 60. Objetivos de Desarrollo Sostenible	144
Figura 61. ODS alineados con el proyecto	145

Índice de tablas

Tabla 1. Principales resultados del proyecto	6
Tabla 2. Condiciones de confort de una vivienda	60
Tabla 3. Temperatura de confort en función del mes	60
Tabla 4. Temperaturas promedio en función del mes y hora	62
Tabla 5. Dimensiones de la envolvente térmica	65
Tabla 6. Espesor necesario de la envolvente en función del material aislante	69
Tabla 7. Resumen parámetros de aislamiento	72
Tabla 8. Diferencia de temperatura entre interior y exterior de la vivienda para distintos casos	74
Tabla 9. Potencia necesaria para compensar la diferencia de temperatura	74
Tabla 10. Volumen de las distintas zonas de la vivienda	76
Tabla 11. Temperatura agua red en Madrid	79
Tabla 12. Resumen de potencia de equipo aerotérmico	80
Tabla 13. Valores de irradiación en plano horizontal en Madrid	82
Tabla 14. Consumo eléctrico del equipo aerotérmico	85
Tabla 15. Nuevo consumo eléctrico de la vivienda	86
Tabla 16. Resultados del criterio del mes peor	87
Tabla 17. Valores de irradiación en función del ángulo	89
Tabla 18. Alternativas propuestas	93
Tabla 19. Valores absolutos de las alternativas planteadas	95
Tabla 20. Valores relativos de las alternativas planteadas	96
Tabla 21. Aproximación del precio de las alternativas	97
Tabla 22. Puntuación de las alternativas	99
Tabla 23. Resultados de la simulación	101
Tabla 24. Gastos de la inversión inicial del aislamiento	102

Tabla 25. Cantidad de calor y aire acondicionado ahorrado en kWh mes a mes gracias al asilamiento.....	104
Tabla 26. Cantidad de calor ahorrado mes a mes gracias al asilamiento (ajustado)	105
Tabla 27. Inversión inicial de aerotermia sin aislamiento	108
Tabla 28. Energía necesaria de la caldera y equipo aerotérmico.....	110
Tabla 29. Inversión inicial de aerotermia con aislamiento	112
Tabla 30. Energía necesaria de la caldera y equipo aerotérmico (con aislamiento).....	113
Tabla 31. Gastos de la inversión inicial fotovoltaica.....	117
Tabla 32. Evolución del precio de la electricidad en mercado mayorista	118
Tabla 33. Evolución del precio de la factura de electricidad.....	119
Tabla 34. Valores de emisiones ahorradas por mes gracias al nuevo aislamiento	124
Tabla 35. Resumen de eficiencia energética	129

Índice de ecuaciones

(1)	16
(2)	19
(3)	20
(4)	58
(5)	58
(6)	58
(7)	59
(8)	67
(9)	69
(10)	71
(11)	71
(12)	72
(13)	72
(14)	74
(15)	75
(16)	78
(17)	80
(18)	84
(19)	90
(20)	94
(21)	97
(22)	98
(23)	109

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

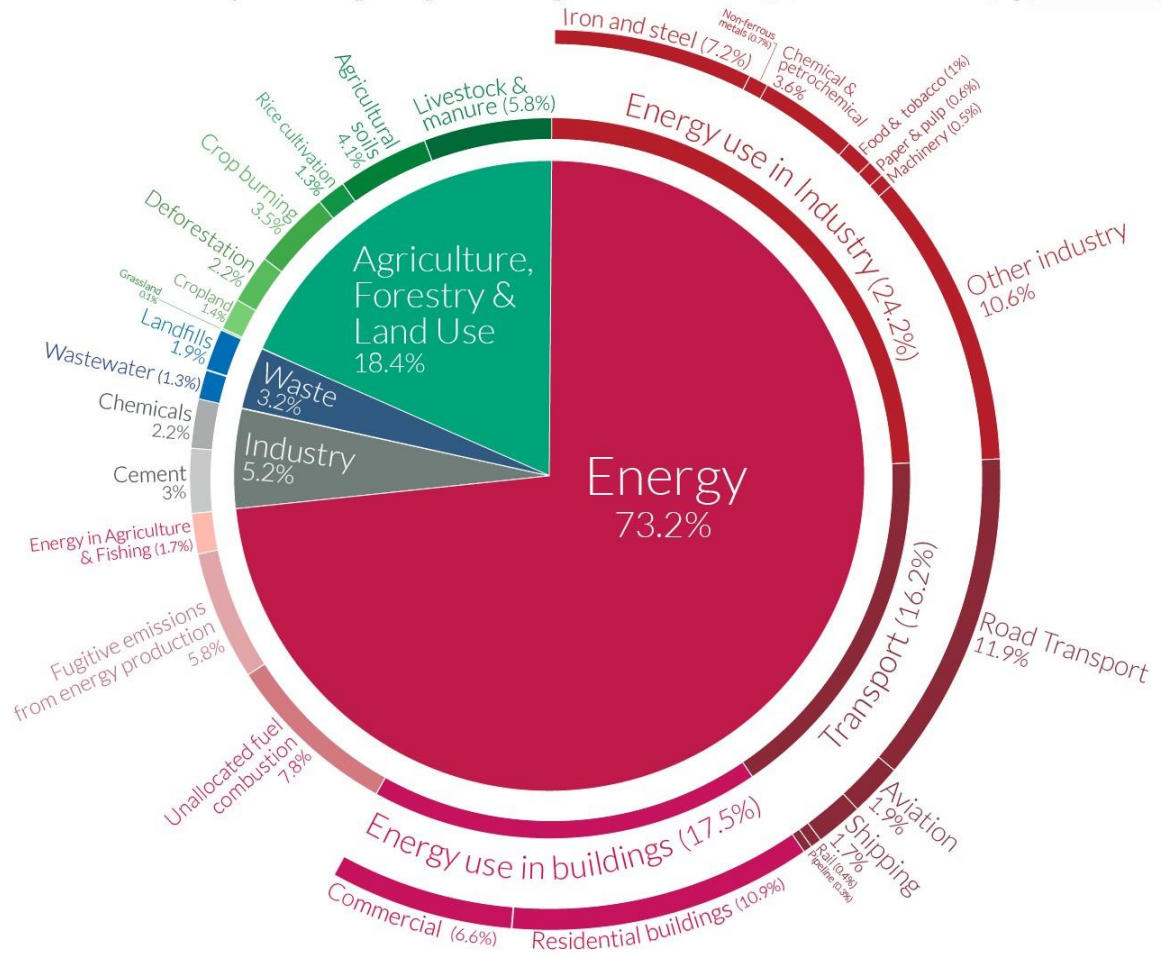
Cuando se piensa en cambio climático y emisiones de gases de efecto invernadero, normalmente se tiende a pensar en las emisiones producidas por los vehículos (motores de combustión interna o los motores turbofán y turbohélice de los aviones, por ejemplo) y en las fábricas de producción. De vez en cuando se llega a pensar en la agricultura y la ganadería y el impacto que tiene estas en el cambio climático con sus emisiones de metano y su contaminación de agua por vertido de residuos. Pero rara vez se tienen en consideración las emisiones producidas por los edificios. Y es que estas emisiones son muy difíciles de tener en cuenta porque son difíciles tanto de ver como de cuantificar. La razón es que muy pocas de las emisiones de los edificios y las viviendas se producen directamente in situ, y estas tienden a producirse a decenas por no decir cientos de kilómetros del edificio final donde se consume la energía.

Pero como se puede ver en la Figura 1, la energía usada en los edificios (ya sea consumo eléctrico, calefacción o agua caliente sanitario) es responsable de hasta un 17,5 % de los gases de efecto invernadero, y más en concreto, el sector residencial es responsable de casi un 11% de dichas emisiones. Es decir, por hacer un análisis comparativo, las emisiones producidas por los edificios de viviendas residenciales son mayores que las emisiones producidas por la aviación, la producción de hierro y acero o el ganado y el estiércol, y, sin embargo, se tiene mucha más conciencia de estos sectores que del sector de viviendas residenciales. Problemas como la falta de un buen aislamiento en las viviendas o el uso de iluminación de baja eficiencia energética (por poner algunos ejemplos), hace que el consumo energético de una vivienda aumente notablemente, haciendo por lo tanto que la contaminación del edificio sea mucho mayor, contribuyendo de manera considerable al cambio climático.

Global greenhouse gas emissions by sector



This is shown for the year 2016 – global greenhouse gas emissions were 49.4 billion tonnes CO₂eq.



OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.
Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020). Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

Figura 1. Contribución al cambio climático por sectores [1]

Por otro lado, si además se tiene en cuenta la escalada de precios que ha sufrido la electricidad debido a situaciones como el conflicto en Ucrania o los precios puestos a las emisiones de CO₂ y otros contaminantes, la cual se puede ver en la gráfica más adelante, una mala eficiencia energética afecta también de manera directa al propietario del hogar o inmueble, ya que ve su factura eléctrica y/o de gas aumentada de manera significativa, incurriendo en gastos mayores todos los meses.

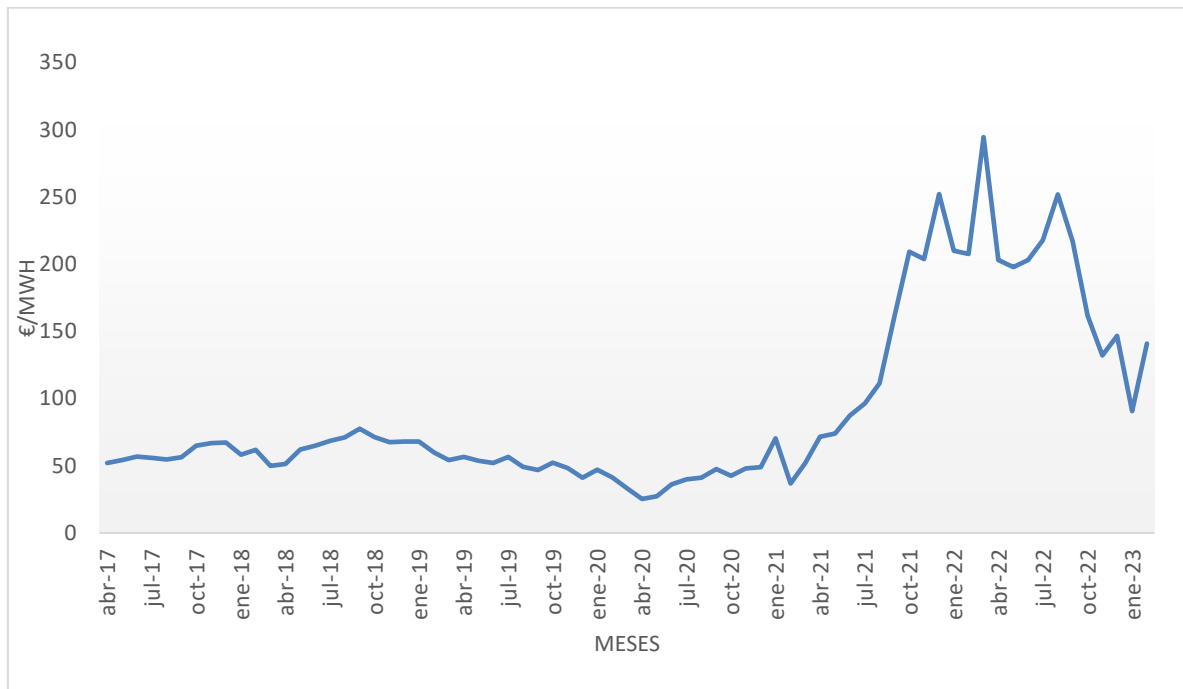


Figura 2. Evolución del precio de la electricidad

Por las razones mencionadas en los párrafos anteriores, y por otras muchas más, la eficiencia energética en los edificios es un tema de actualidad. Cada vez son más los gobiernos que intentan impulsarla mediante ayudas e incentivos además de incluirla en los planes energéticos nacionales, siendo un claro ejemplo España donde la eficiencia energética tiene un apartado entero en el PNIEC (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima). Los Gobiernos se han dado cuenta que se trata de un tema de actualidad e incluso de cierta urgencia, ya que en ciudades como Madrid, existen barrios enteros en los que el parque inmobiliario se encuentra muy envejecido, haciendo que por lo tanto su consumo energético y sus emisiones de gases de efecto invernadero sean considerablemente altas, sobre todo si son comparadas con sus “rivales”: edificaciones más contemporáneas en las que si se han tenido en cuenta estos aspectos a la hora de construirlas y diseñarlas.

Es por todo lo mencionado en este apartado, que este trabajo va a tratar de aumentar la eficiencia energética de una vivienda en pleno centro de Madrid, la cual se considera que

pertenece a dicho parque inmobiliario envejecido, ya que su construcción data de la década de 1930, haciendo que su eficiencia energética sea bastante baja como punto de partida.

Actualmente existen muchos estudios y literatura con respecto a la mejora de eficiencia energética de edificios. Gracias a ello, en la actualidad no hay una única solución para la mejora energética de un edificio. Existen diversas maneras y soluciones para mejorar la eficiencia de un edificio y se puede usar las que mejor se adapten a cada situación. Esto es importante ya que, si bien es sencillo realizar ajustes para mejorar la eficiencia energética de un edificio de nueva construcción, un edificio existente puede tener peculiaridades que hagan que no sea apto para todas las soluciones. En este trabajo se estudiarán tres tecnologías o proyectos:

- La mejora del aislamiento térmico de la envolvente de la vivienda.
- El cambio de la actual caldera de calefacción que consume gas por un equipo de aerotermia.
- La implantación de paneles solares fotovoltaicos para el autoconsumo.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

En este capítulo se van a describir las principales tecnologías, y sus características principales, que se usarán a lo largo del proyecto. Se hará una visión general de ellas, así como recalcar algunos parámetros importantes para poder entender su importancia en el desarrollo del proyecto.

2.1 CLIMATIZACIÓN Y AISLAMIENTO

La climatización de una vivienda normalmente es el apartado energético de un hogar que más recursos va a consumir, llegando a haber estudios donde se estima que alrededor del 52% de los costes energéticos de una vivienda se destinan a la calefacción y el 18% a la producción de agua caliente sanitario (ACS) [2]. En consecuencia, la climatización de un hogar es realmente importante a la hora de mejorar la eficiencia energética del mismo. La climatización, como se verá a lo largo del proyecto, tiene dos pilares fundamentales: la tecnología usada para climatizar y el aislamiento de la vivienda.

Por lo tanto, en este apartado se introducirán las tecnologías alternativas a la existente de la vivienda (caldera central) para climatizar. Se verán sus principios de funcionamiento y sus características principales para poder elegir la opción que se considere que más se adecua al proyecto. También se verán los principios básicos del aislamiento para ver en qué situación se encuentra el edificio y ver si es posible su mejora.

2.1.1 CLIMATIZACIÓN

Como se ha mencionado anteriormente, la calefacción puede llegar a suponer hasta la mitad del consumo energético de un hogar, siendo por lo tanto necesario un buen diseño de esta con el objetivo de no malgastar energía y ahorrar la factura energética de la vivienda.

Como respuesta a esta necesidad de eficiencia en la climatización, surgen lo que es conocido como bombas de calor. Las bombas de calor son máquinas térmicas que, como se verá a lo largo de este apartado, disponen de una muy elevada eficiencia energética y son una gran alternativa a los sistemas de calefacción más tradicionales como las caldera centrales de los edificios o las calderas de condensación.

2.1.1.1 Principio de funcionamiento de las bombas de calor

Las bombas de calor son máquinas térmicas de climatización que basan su funcionamiento en el ciclo termodinámico conocido como Ciclo de Rankine inverso. Dicho ciclo opera entre dos focos de temperatura: un foco frío y otro caliente. El objetivo principal de este ciclo es la extracción de calor del foco de más baja temperatura (foco frío) para poder cederlo al foco de más alta temperatura (foco caliente).

El ciclo, en su configuración más simple, se puede ver representado de manera esquemática en la Figura 3. Los componentes del ciclo son:

- Evaporador: se trata de un intercambiador de calor el cual se coloca en el foco frío. Su objetivo es la extracción de calor de dicho foco, para cedérselo así al fluido refrigerante que circula por el ciclo.
- Compresor: este dispositivo busca aumentar la presión del fluido refrigerante mediante su compresión.
- Condensador: al igual que el evaporador, este componente se trata de un intercambiador de calor, pero de manera contraria al anterior, este busca ceder el calor del fluido refrigerante al foco caliente.
- Válvula: con este aparato se busca que el fluido refrigerante tenga una expansión isoentálpica.

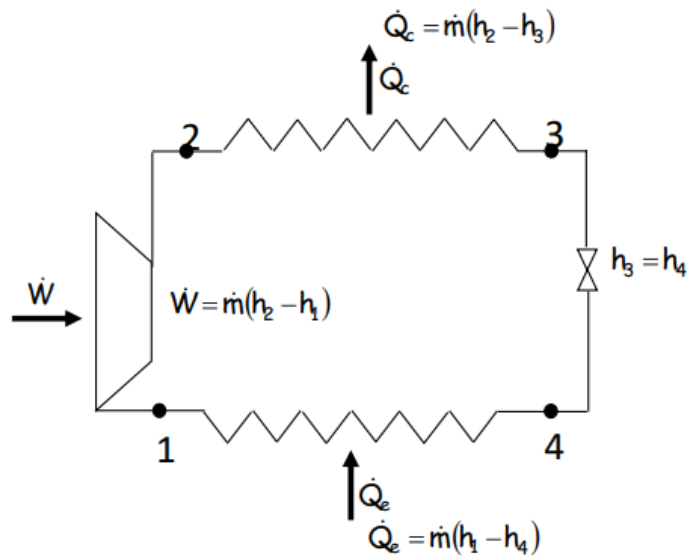


Figura 3. Representación esquemática de una bomba de calor

Por otra parte, se puede ver las etapas en las que se encuentra el fluido refrigerante a lo largo del ciclo en el diagrama p-h de la Figura 4. De manera similar a los componentes, el circuito consta de cuatro etapas diferenciadas:

- Compresión (1→2): ocurre en el compresor. El fluido aumenta la presión hasta colocarse en la “isobara superior”. Se habla de una “isobara superior” ya que el ciclo va a tener dos niveles de presión únicamente. Tiene un nivel alto, en el que operará el condensador y un nivel bajo en el que operará el evaporador.
- Cesión de calor a presión constante (2→3): en esta etapa el fluido, en el condensador, cede a presión constante su calor al foco caliente.
- Expansión isoentálpica (3→4): el fluido pasa a través de la válvula donde se expande, reduciendo así su presión. Este proceso de expansión es isoentálpico.
- Absorción de calor a presión constante (4→1): el fluido refrigerante absorbe calor del foco frío a presión constante.

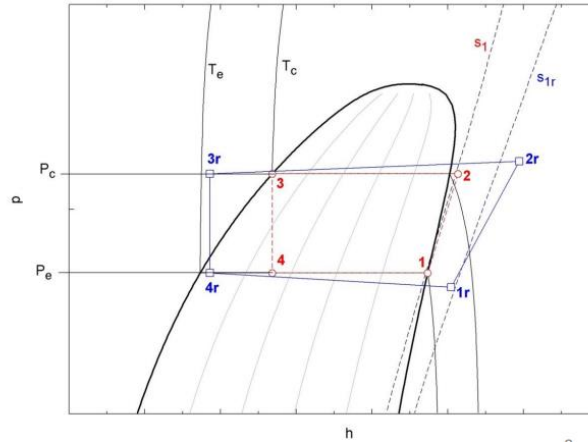


Figura 4. Representación del ciclo de una bomba de calor en un diagrama P-h

Algunas consideraciones importantes que se han de tener en cuenta en este ciclo son:

- El proceso se puede considerar estacionario. Si bien en un principio, al arrancar el ciclo, habrá una parte transitoria, el proceso se estabilizará y acabará siendo estacionario. Como consecuencia de esto, el gasto másico del refrigerante será constante.
- Los intercambiadores de calor son isobáricos: en ambos intercambiadores de calor se puede considerar que el intercambio de calor ocurre a una presión constante. Si bien esto no es del todo cierto, sí que hay una pequeña diferencia de presión entre la salida y la entrada de ambos intercambiadores, la diferencia es muy pequeña si es comparada con la presión, por lo que se puede ignorar.
- El compresor es adiabático: esto es, se supone que no hay pérdidas de calor al exterior en el compresor. Si bien esto se puede considerar como cierto, el compresor dispone de un parámetro conocido como rendimiento isentrópico, el cual es un ratio que compara el trabajo real que requiere el compresor contra el trabajo ideal que requeriría si este fuese ideal (esto es adiabático e isentrópico). El trabajo real que necesita un compresor siempre será mayor o igual al ideal, por lo tanto, este ratio siempre será menor o igual a uno:

$$\eta_{sc} = \frac{W_{c,ideal}}{W_{c,real}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (1)$$

- Expansión isoentálpica: el fluido al circular por la válvula sufrirá una expansión, perdiendo por lo tanto presión, pero se considera que el fluido mantiene constante su entalpía.
- La válvula de expansión se puede considerar adiabática

Otro aspecto el cual merece la pena destacar es que, como se puede ver en la Figura 5 las bombas de calor son aparatos que pueden ser reversibles. Es decir, es una máquina térmica que puede ser utilizada como máquina frigorífica o calefactora en función de las necesidades de la vivienda, y solamente es necesario la instalación de válvula de inversión en el ciclo para revertir el flujo del fluido refrigerante. De esta manera se consiguen cambiar los “roles” de los intercambiadores de calor, consiguiendo que el evaporador pase a ser el condensador y viceversa. Con esto se obtiene una máquina muy versátil la cual se adapta de manera rápida y sencilla a lo que demande la vivienda.

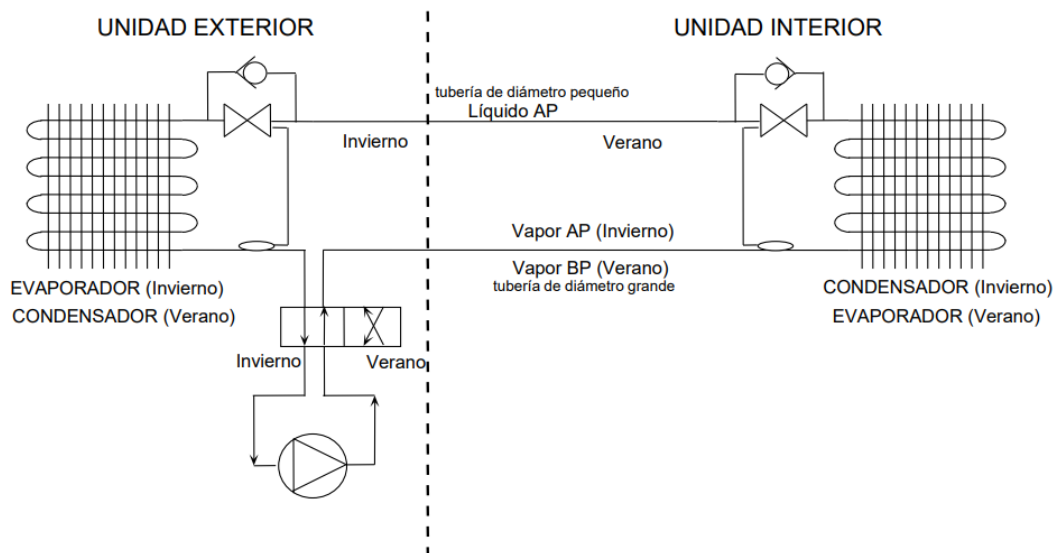


Figura 5. Representación de una bomba de calor reversible

2.1.1.2 Mejoras al circuito

El circuito de la Figura 3 muestra la configuración sencilla más posible del sistema, pero es cierto que, con el objetivo de aumentar el rendimiento y los parámetros de eficiencia del equipo, se pueden realizar algunas modificaciones relativamente sencillas. Según [3], algunas de las mejoras que se pueden hacer son:

- Ciclo de refrigeración en cascada: con esta configuración, a pesar de que haya dos compresores, se consigue una reducción en el trabajo total del ciclo, aumentando su COP, como se puede ver en la gráfica. Este tipo de configuración es ideal para bajas temperaturas.

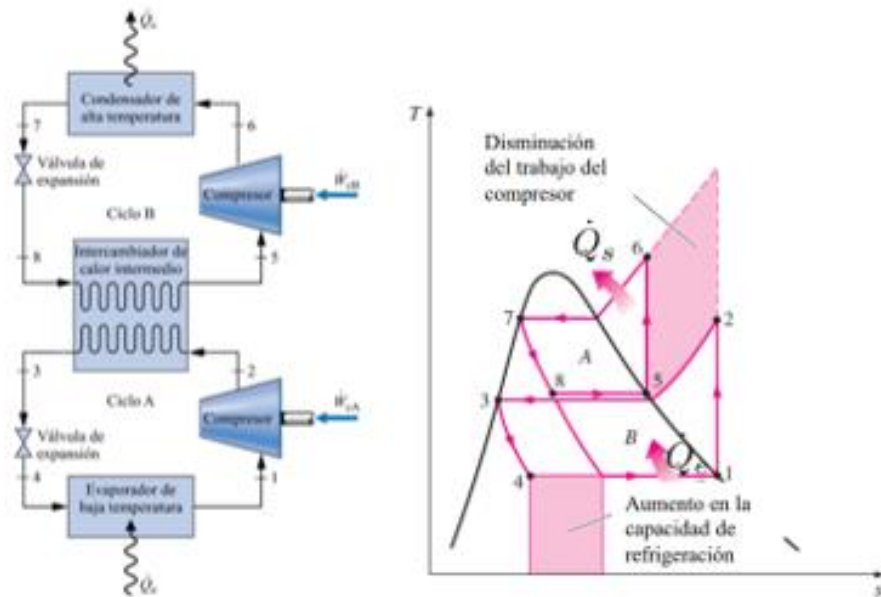


Figura 6. Ciclo de refrigeración en cascada

- Ciclo de refrigeración multietapa: de manera similar a la anterior configuración, el rendimiento del ciclo aumenta a pesar de haber dos compresores.

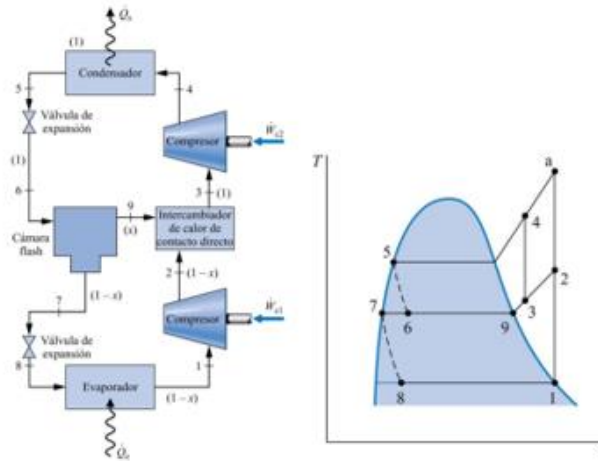


Figura 7. Ciclo de refrigeración multietapa

2.1.1.3 Parámetros más importantes de ciclos de refrigeración

Uno de los parámetros de eficiencia de este tipo de instalaciones, por no decir el más importante, es el conocido como COP (Coefficient of Performance) o CEE (Coeficiente de Eficiencia Energética) en español. Este es un parámetro que depende de si el circuito está siendo utilizado como bomba de calor o como sistema de refrigeración.

A grandes rasgos, este parámetro indica la cantidad de calor que se puede ceder (si el sistema está funcionando como una bomba de calor) o extraer (si el sistema está funcionando como un sistema de refrigeración) por cada unidad energética utilizada por el compresor o compresores en el caso de haber más de uno.

- Operando como sistema de refrigeración :

$$\beta_{MAX} = \frac{Q_e}{W_c - W_t} = \frac{T_F}{T_C - T_F} \quad (2)$$

- Operando como sistema de bomba de calor

$$\gamma_{MAX} = \frac{Q_s}{W_c - W_t} = \frac{T_c}{T_c - T_f} \quad (3)$$

Otro de los parámetros importantes a tener en cuenta son los conocidos como “factores de rendimiento estacional”, que representan el valor estacional del CEE. Dependiendo si el sistema está siendo utilizado en modo frío o en modo calor, compara el frío o calor producido en el periodo con el consumo acumulado del compresor. Se diferencia con el COP en que este es un valor instantáneo en el punto nominal y el rendimiento estacional se mide durante un periodo extendido de tiempo.

2.1.1.4 Bombas de calor : ¿Energía renovable?

Para ver si una bomba de calor se puede considerar energía renovable o no, es necesario comprender el flujo energético involucrado en la utilización de esta. Dicho flujo se puede ver en la Figura 8.

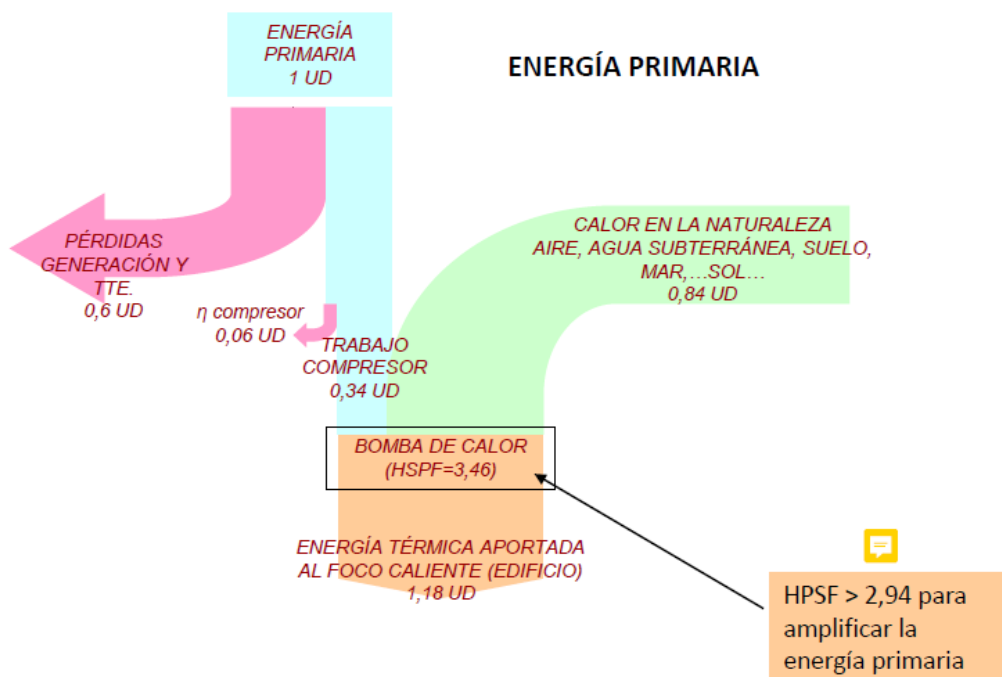


Figura 8. Diagrama de energía en una bomba de calor [4]

Como se puede observar, necesita de dos tipos de energía: eléctrica para hacer funcionar el compresor y energía térmica en forma de calor presente en la naturaleza. Como se puede observar el gráfico tiene en cuenta las pérdidas por generación y rendimientos, haciendo que de la energía disponible solo llegue un 34% al sistema, siendo necesario un valor mínimo de un 2,94 para amplificar dicha energía. Dicho de otra manera, si el sistema tiene un valor de HPSF superior a 2,94, por cada unidad de energía que se utiliza para la generación de electricidad, se obtendrá más de una unidad térmica para la climatización del edificio.

Por lo tanto, una bomba de calor se considerará como energía limpia si la electricidad suministrada al compresor proviene de una fuente de generación de bajas emisiones de carbono. En consecuencia, una de las opciones más comúnmente utilizadas es emparejar este tipo de sistemas con fuentes de generación de autoconsumo como puede ser la generación fotovoltaica, con el objetivo de tener una climatización eficiente y libre de emisiones de gases de efecto invernadero. Como se verá más adelante en el proyecto, esta es una opción que se explorará, con el objetivo de estudiar si es rentable, y hasta qué punto disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero.

Además de ser fuentes térmicas consideradas limpias, las bombas de calor pueden llegar a ser consideradas como energías renovables si cumplen con unos parámetros mínimos. En la unión europea dicho parámetros están recogidos en [5], en donde, a efectos estadísticos, únicamente considera como renovable la bomba de calor en modo calefacción y en donde se considera que para climas medios y cálidos las bombas de calor reversibles están dimensionadas para la refrigeración. Los parámetros que considera esta normativa, los cuales están recogidos en la Figura 9 son las horas anuales equivalentes a potencia térmica nominal (H_{HP}) y el valor estacional del COP (SPF).

Los climas definidos son:

- Clima más frío: un clima basado en Helsinki. En bombas reversibles se considera toda la potencia de calefacción
- Clima Medio: un clima basado en Estrasburgo. En España: Navarra, Castilla-León, la Rioja y Aragón. Se considera únicamente el 40% de la potencia nominal de calefacción en bombas reversibles.

- **Clima más cálido:** un clima basado en Atenas. En España en el resto de las comunidades. Se considera únicamente el 10% de la potencia nominal de calefacción en bombas reversibles.

	Clima más cálido		Clima medio		Clima más frío	
	H _{Hp}	SPF	H _{Hp}	SPF	H _{Hp}	SPF
Aire-Aire	1.200	2,7	1.770	2,6	1.970	2,5
Aire-Aire (reversible)	120	2,7	710	2,6	1.970	2,5
Aire-agua	1.170	2,7	1.640	2,6	1.710	2,5
Aire-Agua (reversible)	117	2,7	660	2,6	1.710	2,5
Tierra-Agua	1.340	3,5	2.070	3,5	2.470	3,5

Figura 9. Requisitos para considerar las bombas de calor como energía renovable

Para poder ser considerado una fuente de energía limpia también se tiene que considerar el PCA (Potencial de Calentamiento Atmosférico) del fluido refrigerante, ya que como bien muestra la Figura 10, hay fluidos refrigerantes con un PCA elevado, pero gracias a la normativa europea se están intentando abandonar con el objetivo de conseguir una transición a una climatización más limpia.

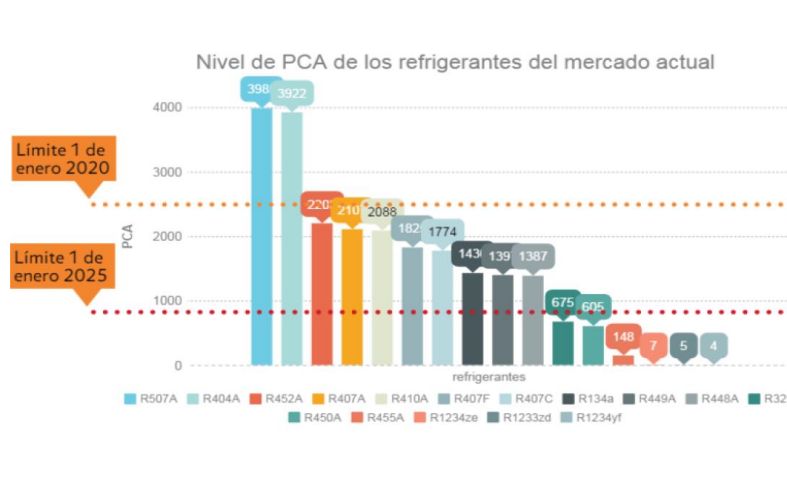


Figura 10. Nivel de PCA de los refrigerantes actuales [4]

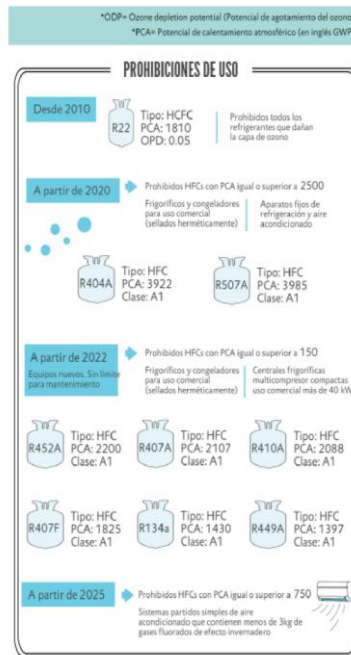


Figura 11. Prohibiciones de uso de refrigerantes [4]

Algunas de las alternativas a estos refrigerantes son:

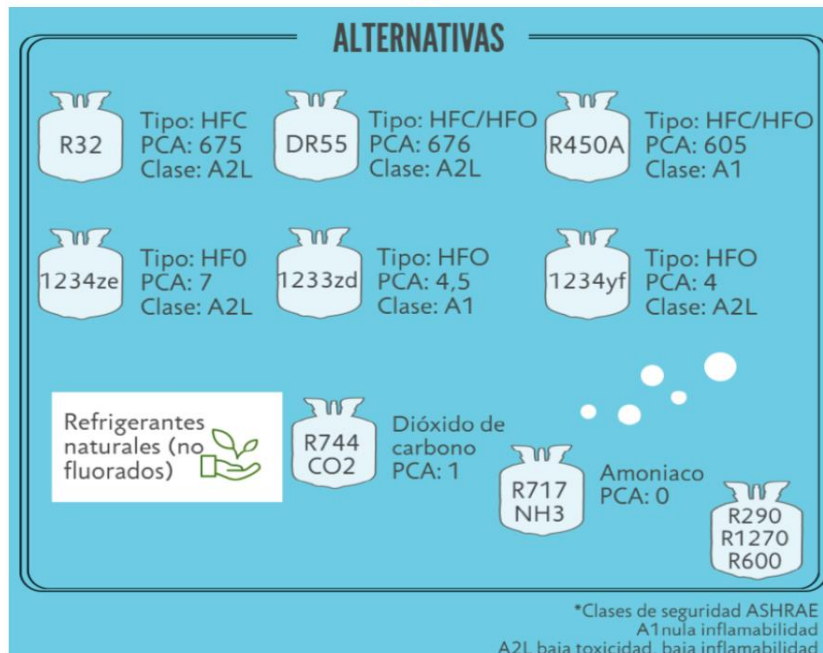


Figura 12. Alternativas a refrigerantes actuales [4]

2.1.1.5 Tipos de bombas de calor

Como se puede observar en la Figura 13, y como se ha mencionado en el apartado anterior, las bombas de calor tienen cuatro elementos principales: compresor, válvula, evaporador y condensador. Dependiendo de cómo se encuentren estos cuatro elementos podemos diferenciar hasta tres tipos de bombas de calor:

- Split: se hace una separación entre el interior y el exterior de la vivienda. Normalmente se utiliza este tipo de bombas de calor para dejar el compresor fuera, evitando así el ruido en el interior de la vivienda.
- Multisplit: de manera similar a las anteriores, el compresor quedaría fuera de la vivienda, pero en este caso, en el interior de la vivienda habría más de un intercambiador de calor.
- Compactas: los cuatro elementos del ciclo, o más en el caso de que los tuviera, se encuentran en una unidad.

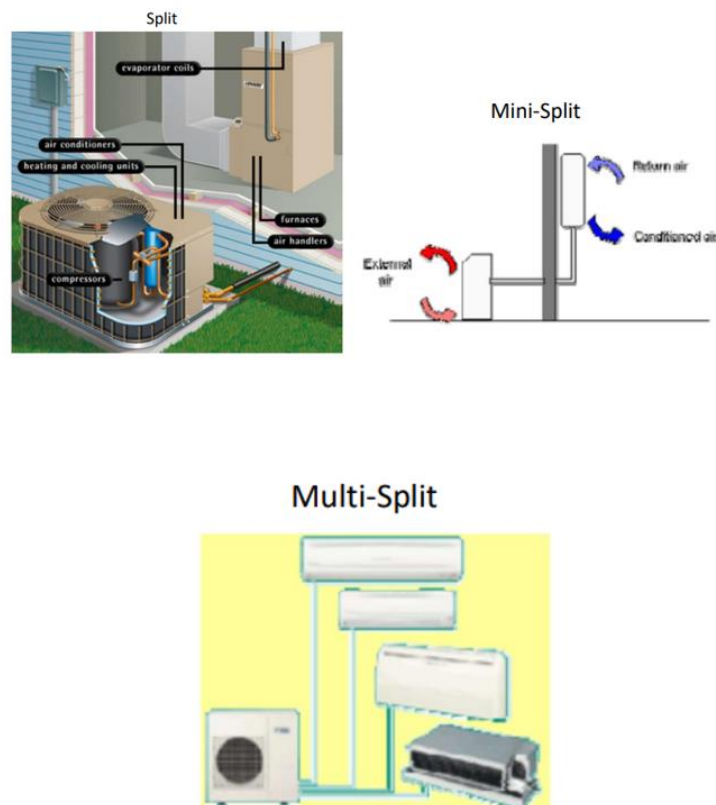


Figura 13. Configuraciones de una bomba aerotérmica

Otra manera de clasificar o diferenciar tipos de bomba de calor, es en función del recurso que utilicen para extraer el calor, así como del tipo de circuito al que ceden calor. Con ello nos podemos encontrar tres tipos de bombas de calor:

- Bombas de calor aire-aire: es el tipo de bomba de calor más común y establecido en el mercado. Utilizan la energía latente del aire para proporcionar calefacción o enfriamiento en el hogar, sin embargo, no son capaces de producir agua caliente sanitario (ACS), disminuyendo así su rentabilidad y versatilidad. Uno de sus principales inconvenientes es la generación de corrientes de aire, las cuales pueden llegar a ser incómodas en algunas ocasiones.
- Bombas de calor aire-agua: también conocidas como aerotérmicas, este tipo de bombas extraen el calor o el frío del aire exterior traspasándolo finalmente a un circuito de agua el cual climatizará la vivienda o se usará el agua caliente sanitario.
- Bombas de calor agua-agua : conocidas como geotérmicas, extraen el calor (o frío) de una reserva de agua geotérmica, la cual puede mantener una temperatura relativamente constante a lo largo del año y de manera similar a las aerotérmicas, y ceden dicho calor a un circuito de agua.

En los próximos apartados se entrará más en detalle en las bombas de calor tanto aerotérmicas como geotérmicas.

2.1.1.6 Bombas de calor aerotérmicas

Como se ha mencionado en el apartado anterior, las bombas de calor aerotérmicas son máquinas térmicas basadas en el ciclo inverso de Rankine, las cuales extraen energía del aire y la transfieren a un circuito de agua, como se puede ver en la Figura 14.

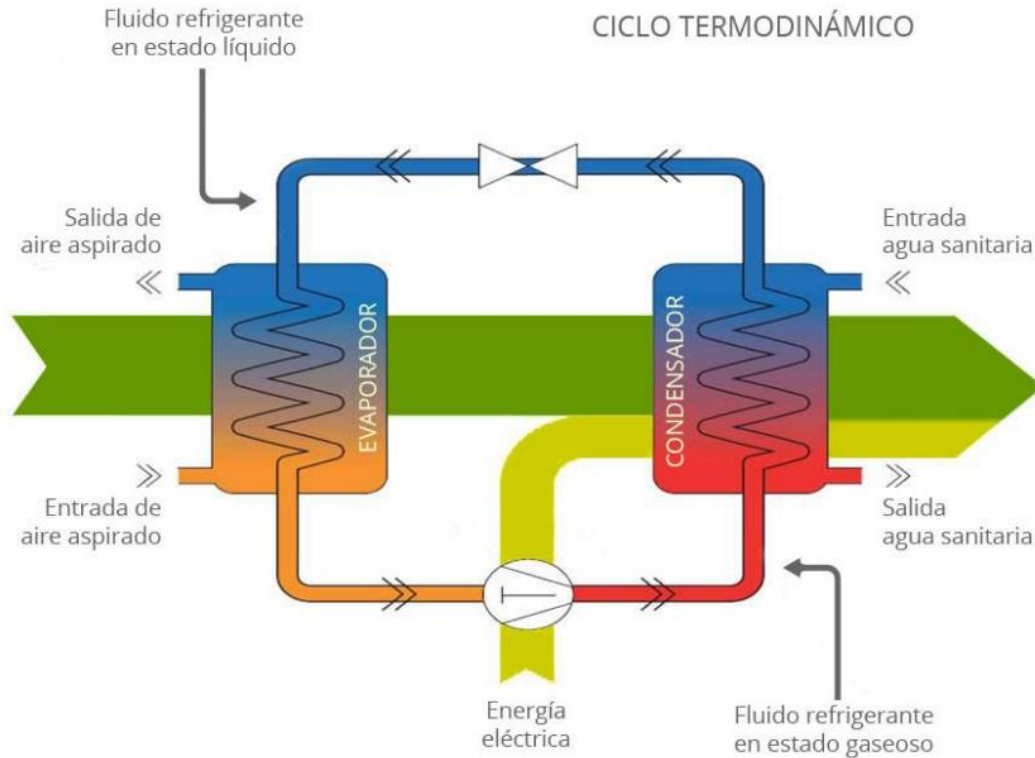


Figura 14. Ciclo termodinámico de una bomba de calor

Son sistemas de refrigeración capaces de potenciar su energía eléctrica hasta 4 veces, esto es, que por cada kilovatio hora de electricidad que entra en el sistema (compresor), el sistema puede producir hasta cuatro kilovatios hora de energía térmica, otorgándoles por lo tanto una elevada eficiencia y en consecuencia unos costes de producción significativamente bajos si son comparados con sistemas tradicionales. Teniendo en cuenta que, a diferencia que las bombas de calor geotérmicas, las aerotérmicas extraen el calor de la energía latente del aire, estas pueden ser instaladas básicamente en cualquier lugar, haciendo por lo tanto que su instalación sea extremadamente sencilla.

Como se ha mencionado anteriormente, es un sistema “reversible”, es decir, que puede generar calor en invierno y frío en verano, simplemente cambiando los roles de los intercambiadores de calor.

Con el objetivo de ser una fuente de energía térmica limpia muchas veces estos sistemas están emparejados con sistemas de producción de energía limpios destinados al autoconsumo. Esta es una alternativa que se planteará más adelante en el proyecto.

Otro de los puntos fuertes de esta tecnología es que requiere de poco espacio, además de tener un coste de mantenimiento relativamente bajo, haciendo que el periodo de amortización de la inversión sea también moderadamente bajo.

En contraste a todo lo anterior, es cierto que la tecnología necesita de un desembolso inicial relativamente alto. También cabe mencionar que la tecnología es dependiente del aire exterior, con las fluctuaciones que este pueda llegar a tener, lo que hace que su rendimiento fluctúe, como se puede ver en la Figura 15.

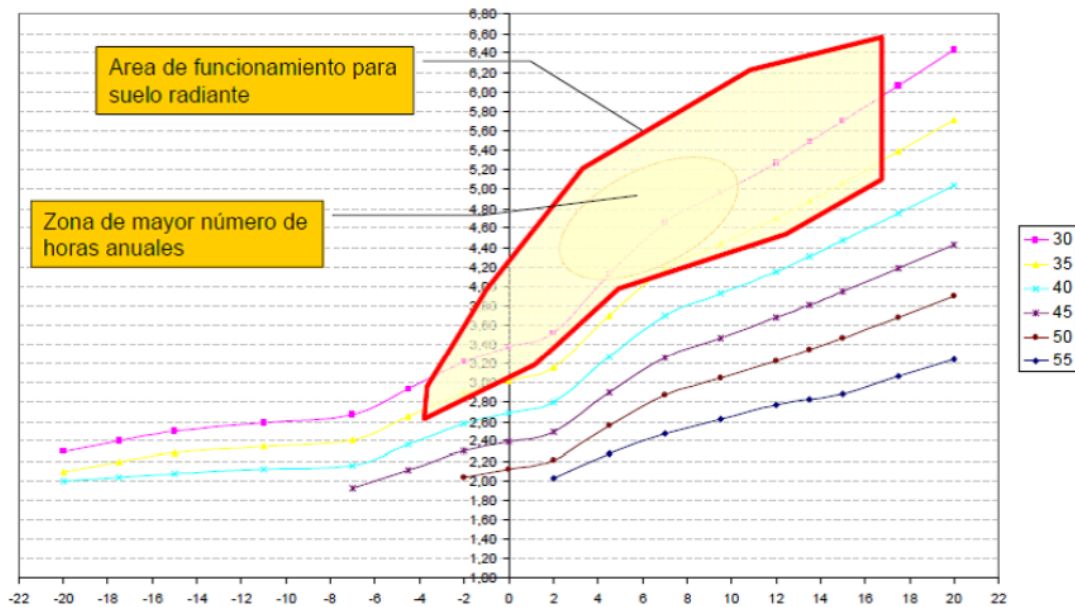


Figura 15. Rendimientos de una bomba de calor aerotérmica [6]

El gráfico muestra una cómo evoluciona el CEE (eje de ordenadas) de una bomba de calor en función de la temperatura exterior (eje de abscisas). El gráfico también muestra los resultados para seis series diferentes, las cuales representan la temperatura de impulsión del sistema. Como se puede observar el sistema tiene mayor rendimiento cuando la temperatura

exterior es mayor y la temperatura de impulsión es menor. A pesar de ellos, se ve claramente que es un sistema con unos rendimientos elevados en condiciones de trabajo habituales.

Otra de las principales desventajas de la tecnología es que, si bien puede trabajar con un rango amplio de temperaturas, en lugares de mucho frío puede llegar a tener rendimientos bajos, siendo necesario un estudio en detalle de la viabilidad de la tecnología, así como de su adecuación al entorno.

Con todo, se puede llegar a la conclusión de que las bombas de calor aerotérmicas tienen muchas más ventajas que inconvenientes, haciéndolas muy interesantes a la hora de mejorar la eficiencia energética de un edificio, consiguiendo una climatización más limpia y respetuosa con el medioambiente.

2.1.1.7 Bombas de calor geotérmicas

Este tipo de bombas de calor, como se ha mencionado en apartados anteriores, y como se puede ver en la Figura 16, utilizan agua subterránea en lugar de aire ya que este tipo de agua puede mantener una temperatura que se puede suponer constante a lo largo del año.

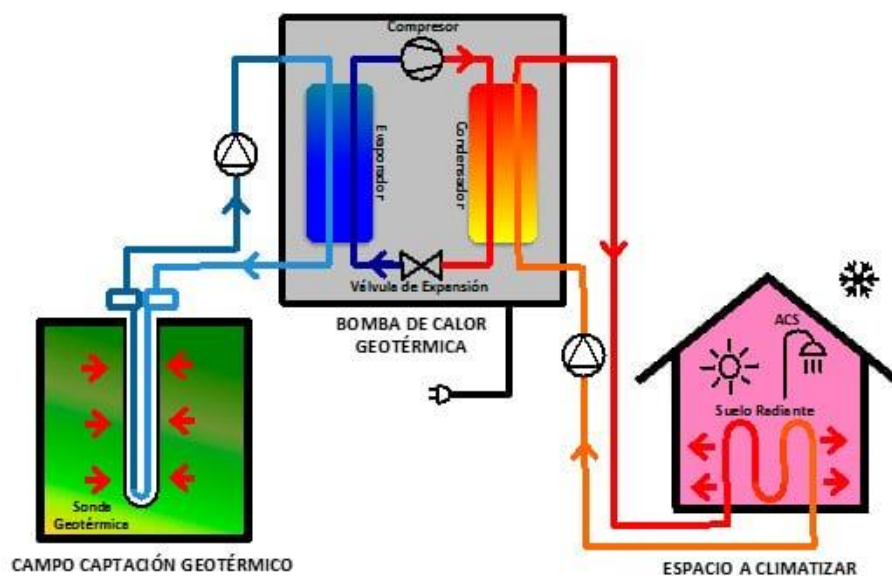


Figura 16. Esquema de una bomba de calor geotérmica

Si bien esta temperatura, y su constancia, depende en gran medida de la profundidad del yacimiento (a mayor profundidad mayor aislamiento y menor variación) se puede ver en la Figura 17 que rápidamente la variación decrece, y que no se necesita una gran profundidad para encontrar un yacimiento con una temperatura de agua que se puede considerar constante, independientemente de la estación del año, donde se puede apreciar que a partir de los 10 metros se puede suponer que la temperatura es constante a lo largo del año. Gracias a esta constancia en la temperatura, se consigue un rendimiento más uniforme y elevado, además de no tener las fluctuaciones que podían sufrir las bombas de calor aerotérmicas. Gracias a esto, este tipo de bombas pueden operar de manera muy eficiente cualquier época del año y son muy recomendables en lugares donde el invierno pueda ser muy frío.

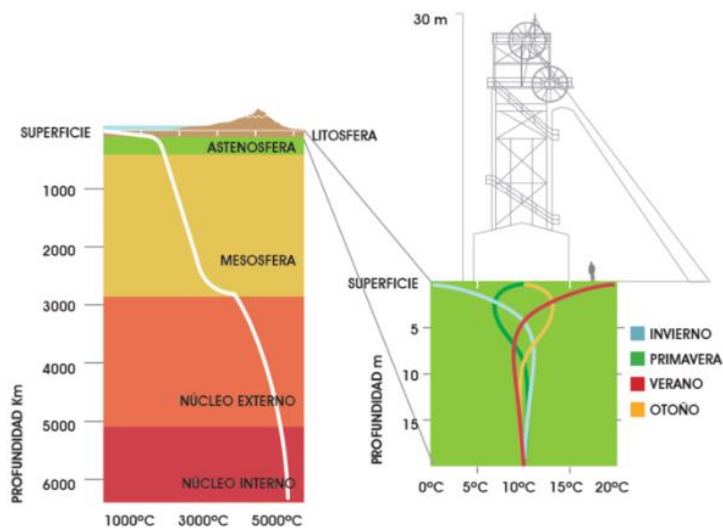


Figura 17. Evolución de temperaturas en geotermia [7]

De manera similar a las bombas de calor aerotérmicas, las bombas de calor geotérmicas pueden producir ACS y pueden ser máquinas térmicas reversibles, “produciendo” calor en invierno y frío en verano.

A pesar de ser un tipo de máquina térmica muy atractivo para la climatización de un edificio tiene grandes inconvenientes. El primero de ellos es que, a diferencia de la bombas

aerotérmicas que usan aire como fuente de calor, este tipo de bombas necesitan de un yacimiento geotérmico para funcionar, por lo tanto, es necesario disponer de agua subterránea en las inmediaciones de la instalación para poder abastecer al sistema.

Otro gran inconveniente es, a diferencia de la aerotermia, la dificultad de la instalación y los gastos que lleva consigo. Es necesario la perforación del suelo con el objetivo de llegar hasta el yacimiento y si bien esto puede ser relativamente sencillo en un espacio abierto como puede ser en el jardín de un chalé, se complica de sobremanera practicar una perforación en el suelo en mitad de una gran ciudad como puede ser Madrid, haciendo que el coste de la instalación final se vea incrementado.

Es por todo ello por lo que se ha considerado que la opción de una bomba de calor aerotérmica es más atractiva para este proyecto, centrándose únicamente en el desarrollo y estudio de esta tecnología como nuevo método de climatización de la vivienda.

2.1.1.8 Intercambiadores de calor

Una vez vistas las distintas bombas de calor, también se hace necesario hablar de los distintos intercambiadores de calor que pueden ser instalados. En este caso, al hablar de intercambiador, se hace referencia a los elementos que transmitirán calor (o frío en verano) a la vivienda, por ejemplo, los radiadores.

Los intercambiadores que normalmente se “emparejan” con la tecnología aerotérmica son los siguientes:

- Radiadores
- Radiadores de baja temperatura
- Suelo radiante

2.1.1.8.1 Radiadores

Conocidos como radiadores convencionales, estos son los intercambiadores que actualmente tiene la vivienda. Más concretamente, la vivienda cuenta con radiadores de fundición. Como ventajas este tipo de radiadores disponen de una gran resistencia, durabilidad e inercia

térmica, haciendo que se conserve el calor durante mucho tiempo. Como desventajas principales de este tipo de radiadores, se encuentran el precio (suele ser elevado), su peso elevado y la inercia térmica que tienen también puede verse como una desventaja: suelen tardar más en calentarse [8].

Estos intercambiadores de calor suelen trabajar con temperaturas elevadas, como se puede apreciar en Figura 18.



Figura 18. Temperaturas en un radiador convencional [9]

La temperatura media del radiador suele estar en torno a los 65°C, haciendo que este tipo de radiadores no sean muy eficientes para sistemas de baja temperatura como lo es la aerotermia. Esto es debido a que este tipo de radiadores están diseñados para funcionar a temperaturas elevadas, las cuales pueden ser costosas de llegar con un equipo de aerotermia.

2.1.1.9 Radiadores de baja temperatura

Este tipo de radiadores, como indica su propio nombre, están diseñados para trabajar con temperaturas bajas. Esto es relevante, ya que en este tipo de sistemas trabajar con una menor temperatura de impulsión implica una mayor eficiencia energética, traduciéndose en futuro ahorro, como se puede ver en Figura 19.

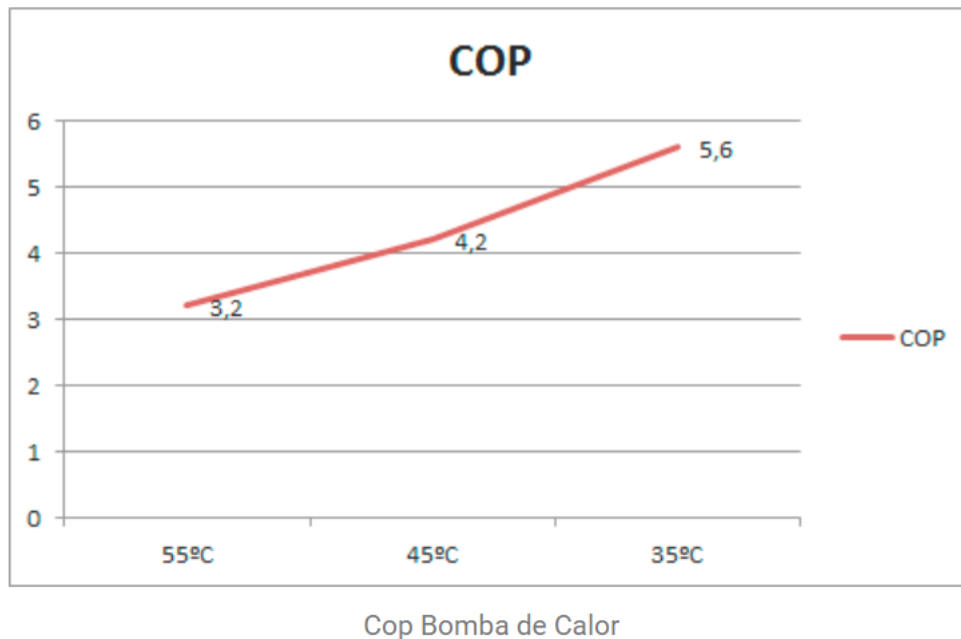


Figura 19. COP en función de temperatura de impulsión

Son capaces de poder actuar con bajas temperaturas ya que este tipo de radiadores disponen de una gran superficie de intercambio, por lo general un elevado número de aletas de aluminio, reduciendo de esta manera la superficie de radiación, haciendo que casi el 100% del aporte del calor se haga por convección, como se puede ver en la Figura 20. Además, este tipo de radiadores llegan a contener entre un 80 y un 90 por ciento menos de agua que los radiadores normales, reduciendo de manera significativa su inercia térmica, es decir, reduciendo el tiempo necesario para calentar y enfriar dicha más de agua, haciendo por lo tanto que su tiempo de respuesta sea significativamente menor si se compara con los radiadores convencionales o el suelo radiante.

Otra ventaja relevante de este tipo de intercambiadores es que son capaces de ser usados como sistemas de refrigeración en invierno. Además, la instalación de este tipo de radiadores es relativamente similar a la de los radiadores convencionales de los que dispone la vivienda, por lo que se pueden aprovechar las instalaciones existentes y reducir tanto el coste en material como en mano de obra.

Gracias a los factores comentados, este tipo de intercambiadores de calor consiguen llegar a consumir hasta un 15 por ciento menos de energía que los radiadores convencionales, haciendo que el ahorro económico sea también económico. Esto, unido a un equipo aerotérmico, el cual trabaja a bajas temperaturas, hace que la implantación de este tipo de intercambiadores en la casa sea muy atractiva.

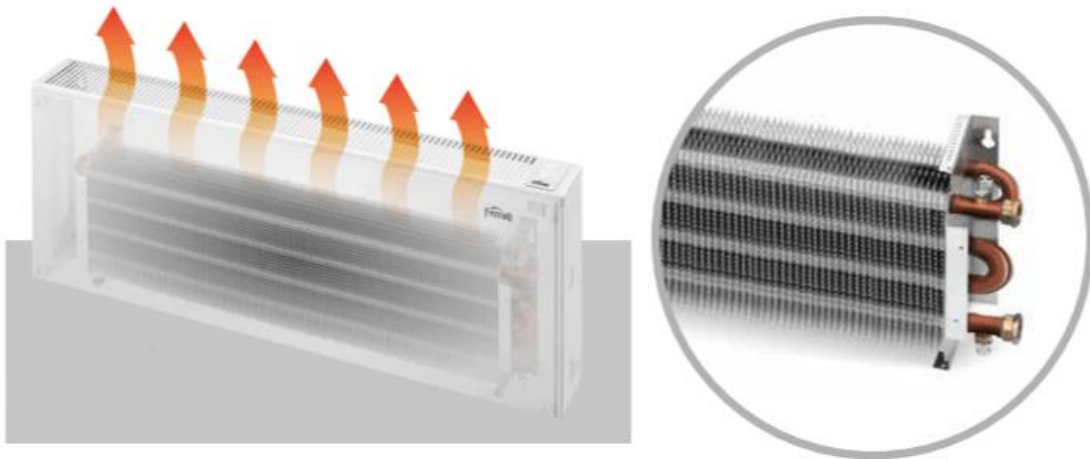


Figura 20. Interior de un radiador de baja temperatura [10]

2.1.1.10 Suelo radiante

El suelo radiante, o suelo refrescante si es utilizado para climatizar la vivienda, consiste en una red de tuberías, habitualmente de plástico instaladas bajo el pavimento del suelo de la vivienda por las cuales circulará agua caliente para climatizar y agua fría para refrescar la vivienda [11].

Este tipo de intercambiador de calor tiene considerables ventajas con respecto a los anteriores, pero también cuenta con algunos inconvenientes que podrán ser decisivos a la hora de decantarse por un sistema u otro.

Como ventajas principales el sistema tiene las siguientes:

- Temperatura de trabajo baja: la temperatura a la que suele funcionar el suelo radiante suele estar entre 30 y 45 grados centígrados, haciendo que el sistema sea muy eficiente y pueda ser emparejado con equipos de aerotermia o geotermia.
- Mayor eficiencia: al no ser necesaria una elevada temperatura de trabajo para calefactar, el sistema necesita de un menor consumo, haciéndolo más eficiente que los otros intercambiadores.
- Elevada inercia térmica: es un sistema que cuenta con una elevada inercia térmica, por lo que puede mantener el calor por mucho más tiempo sin necesidad de funcionamiento activo.
- Mayor sensación de confort: el calor con esta opción se reparte de manera más uniforme a lo largo de la vivienda y además no produce corrientes de aire.
- Libera espacio: al estar la instalación “escondida” bajo el suelo, no se hace necesaria la instalación de radiadores, los cuales ocupan espacio en la vivienda.

Si bien es cierto que este sistema cuenta con numerosas ventajas, también dispone de algunos inconvenientes:

- Posibles condensaciones: si el sistema es usado para la refrigeración, este sistema generará una superficie fría en la que en ámbitos húmedos puede llegar a darse la condensación, creando pequeños charcos.
- Precio: es un sistema que en la actualidad es notablemente más caro que los anteriores. Esto es debido también a la complejidad de este y su difícil instalación.
- Complejidad: es un sistema que complejo tanto de instalar como de arreglar en caso de que falle.

2.1.2 AISLAMIENTO

Como se ha mencionado anteriormente, el aislamiento térmico de un edificio es también un factor importante para tener cuenta a la hora de calcular y mejorar la eficiencia energética del mismo.

De hecho, según [12], un buen aislamiento térmico de la vivienda puede llegar a reducir el consumo de calefacción y de aire acondicionado, siendo esta reducción desde un 35% hasta un 70% en algunos casos.

Al no ser una medida activa como la calefacción, si no pasiva (no se está aclimatando activamente la vivienda como se haría con un aire acondicionado o una caldera, en esta ocasión lo que se hace es que no se “escape” ni el frío ni el calor) tiende a descuidarse y no darle importancia al mismo. Pero nada más lejos de la realidad, el aislamiento térmico apropiado de una vivienda le permite a esta reducir, de manera significativa, la cantidad de energía necesaria para climatizarla. Esto se puede traducir en reducciones en la factura de la calefacción y aire acondicionado, en una mejora en el confort de la vivienda ya que un buen aislamiento ayuda a mantener una temperatura de confort estable o incluso en una mejora del aislamiento acústico.

Cierto es que, como se ha mencionado en el párrafo anterior, al no ser una medida activa, mucha gente tiende a pasar por alto la importancia del aislamiento térmico del edificio y a no tenerlo en cuenta por su precio o por la visión coste beneficio donde en una primera observación se puede pensar que el beneficio obtenido por el coste invertido no es el óptimo. Como se ha visto antes el aislamiento térmico es uno de los factores más importantes para obtener una buena climatización del edificio, pero no solo eso, según [13], una rehabilitación térmica media puede llegar a amortizarse entre 5 y 7 años. Además, si se considera que el aislamiento dispone de una elevada vida media, se puede llegar a ahorrar una media de entre 8 a 9 veces lo que costo la rehabilitación.

El aislamiento es un factor tan importante que, de hecho, está cada vez más regulado en las nuevas edificaciones. La regulación de este comenzó en 1980, con la Norma Básica de Edificación sobre Construcciones Climáticas, donde se exigía mínimo un aislamiento térmico de entre 1,5 y 2,5 centímetros, dependiendo de la zona donde se encontrase la vivienda. Es decir, antes del año 1980 no existía regulación como tal en el aislamiento térmico de los edificios. a partir de ese año los requisitos mínimos fueron aumentando hasta

llegar al actual Código Técnico de la Edificación (CTE), en el cual se exigen entre 6 y 13 centímetros de aislamiento.

2.1.2.1 Intercambio de calor

Existen tres grandes formas o maneras de intercambio de calor, por los cuales un edificio cede o recibe calor:

- **Conducción:** la transferencia de calor se realiza a través de los materiales sólidos (paredes, suelos o ventanas, por ejemplo).
- **Convección:** la transferencia de calor se realiza a través de los gases o líquidos.
- **Radiación:** la transferencia de calor sucede cuando un cuerpo caliente irradia energía en forma de ondas electromagnéticas.

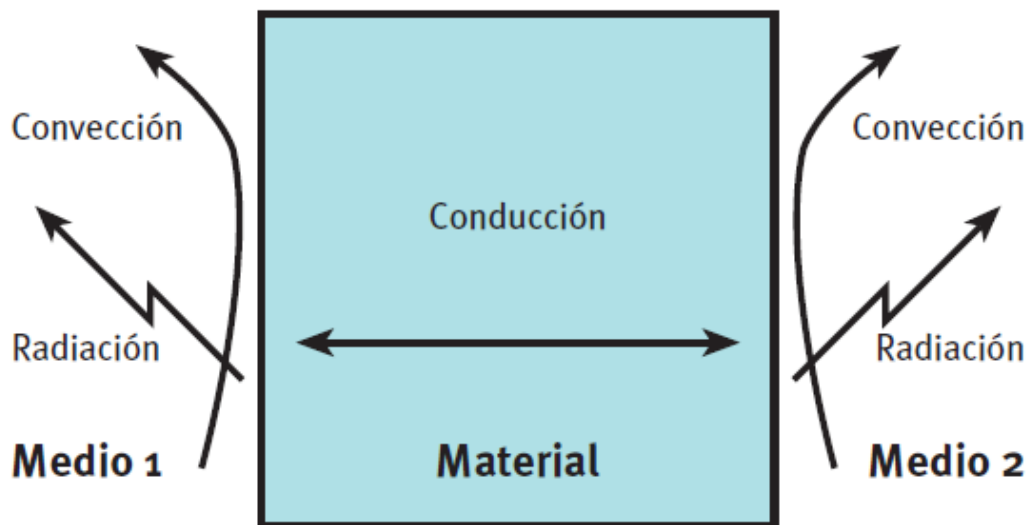


Figura 21. Formas de intercambio de calor

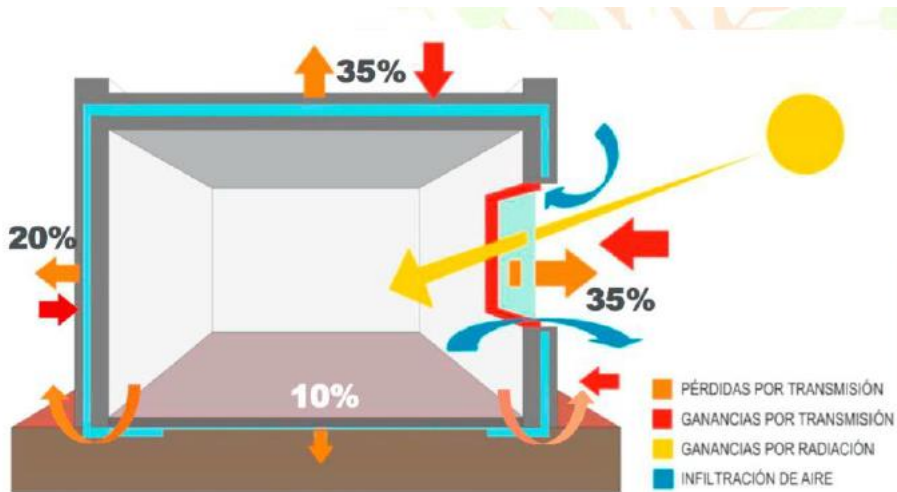


Figura 22. Esquema de pérdidas de calor

2.2 TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

El recurso solar, es decir, la energía procedente del Sol es una fuente de energía limpia y sostenible, prácticamente inagotable, la cual va a jugar, y está jugando, un papel clave en la transición energética, esto es, en el cambio del uso de combustibles fósiles como fuente de energía hacia una generación energética más sostenible y limpia.

Aproximadamente llegan a la Tierra $1,73 \times 10^{17}$ W [14] de energía proveniente del Sol. Teniendo en cuenta que la demanda anual energética es de en torno a 168.000 teravatios-hora (TWh), según la AIE, la energía proveniente del sol sería capaz de cubrir toda la demanda mundial en 40,4 días. Datos como este demuestran que, si bien no es posible captar toda la energía proveniente del sol, las tecnologías que se basan en el recurso solar tienen un altísimo potencial.

Si nos centramos en el recurso solar disponible, veremos que este dependerá de la situación geográfica que nos encontremos. Es decir, hay zonas y países donde el recurso solar será mayor (el sol brilla más o más a lo largo del año) que en otras. Y si nos centramos en ese aspecto, podemos ver que España es un país con una posición muy aventajada con respecto al resto de Europa.

En la Figura 23, se compara la irradiación diaria por mes en diferentes grandes ciudades europeas, haciendo una media en el periodo desde 2005 hasta 2020. Como se puede ver, Madrid, debido a su localización geográfica, dispone de un recurso solar elevado, superando con creces a las grandes ciudades europeas.

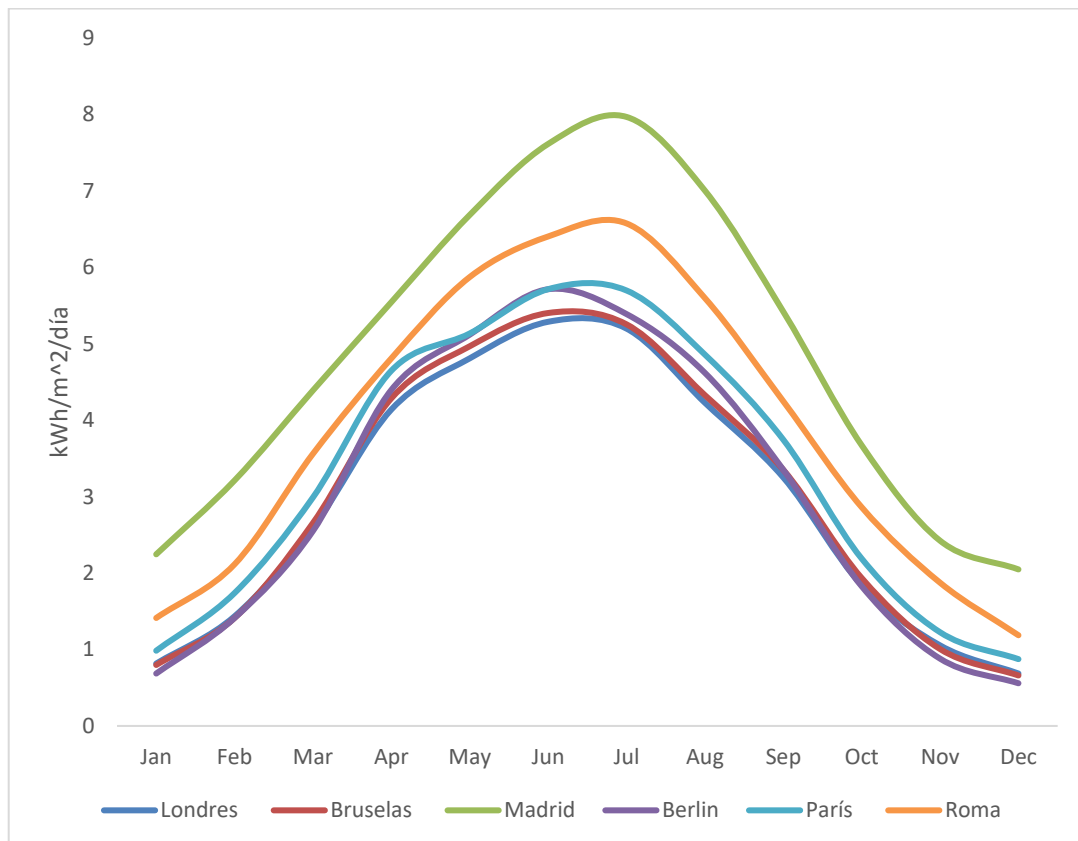


Figura 23. Comparación de irradiación en diferentes ciudades europeas. Elaboración propia

Es por ello por lo que el estudio de la instalación de paneles solares fotovoltaicos para el autoconsumo en ciudades como Madrid tienen mucho sentido ya que cuenta con un altísimo potencial y recurso solar. Además, la tecnología solar fotovoltaica consigue proporcionar electricidad de manera limpia y fiable, haciendo que la eficiencia energética del edificio aumente de manera significativa y otorgando cierta independencia energética al propietario de la vivienda.

2.2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

2.2.1.1 Materiales

En este apartado se va a explicar el principio de funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos, de manera esquemática.

Los paneles solares fotovoltaicos, en su mayoría, están basados en el uso de silicio para la generación de electricidad. El silicio, segundo elemento más abundante del planeta solamente por detrás del oxígeno [14] es un tipo de material conocido como semiconductor. Este tipo de materiales son capaces de actuar como conductores o aislantes de electricidad. Esto es debido a que la diferencia energética entre ambos estados (aislante y conductor), conocida como brecha energética, es lo suficientemente pequeña para que los electrones puedan saltar a la banda de conducción.

2.2.1.2 Efecto fotoeléctrico

En la Figura 24 se puede ver las diferencias en las brechas energéticas entre un conductor, un semiconductor y un aislante. Como se puede observar, el conductor no tiene brecha energética, por lo que siempre conducirá la electricidad, y la del aislante es demasiado elevada como para que los electrones salten a la banda de conducción, haciendo que no sea posible la circulación de corriente. Entre ambos extremos se encuentran los semiconductores, que dependiendo de factores y condiciones externas serán capaces de conducir o no la electricidad.

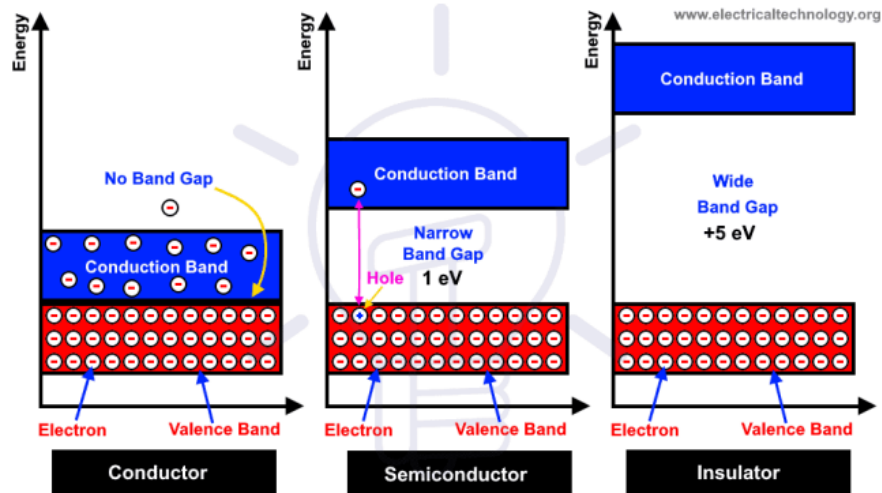


Figura 24. Bandas energéticas para conductor, semiconductor y aislante [15]

Si bien es cierto que, como se ha mencionado anteriormente, los paneles solares están hechos de silicio, este no es silicio simple. Debido a que el Silicio tiene 4 electrones en su capa de valencia, si se tratase de silicio simple, sería una red que cumpliría la regla del octeto, consiguiendo tener ocho electrones en la capa más externa y no teniendo electrones libres, haciéndola demasiado estable y actuando como un aislante, en condiciones normales. Por lo tanto, y con el fin de evitar esta estabilidad de la red, se utiliza lo que se conoce como silicio dopado.

El silicio dopado consiste en un tipo de silicio al cual se le han agregado impurezas para facilitar la circulación de electrones. Existen dos tipos de silicio dopado:

- Tipo n: se trata de silicio dopado con elementos con un mayor número de electrones. Normalmente el elemento utilizado para dopar al silicio es el fósforo. El fósforo, al igual que el silicio, es un semiconductor, pero en esta ocasión el fósforo cuenta con 5 electrones en su capa de valencia, uno más que el silicio. Por lo tanto, al dopar al silicio con fósforo, la red formará cuatro enlaces covalentes, “atrapando” cuatro electrones y dejando “libre” el quinto electrón del fósforo.
- Tipo p: de manera contraria al silicio dopado tipo n, el silicio dopado tipo p es dopado mediante elementos que disponen de menos electrones en su capa de valencia que el

silicio, generando por lo tanto lo que se conoce como huecos. El elemento normalmente utilizado para conseguir silicio dopado tipo p es el boro, ya que dispone de tres electrones de valencia en su última capa. Con esto se consigue que haya un exceso de huecos, haciendo a la red inestable.

En un panel solar fotovoltaico se dispone de los dos tipos de silicio dopado. Al juntar ambas partes, es decir, al juntar el Silicio tipo n y el Silicio tipo p, se crea lo que se conoce como una unión tipo PN. Esta es una región donde ha habido una difusión por parte de los electrones de la región tipo N y por parte de los huecos de la región tipo P, haciendo que sea una región donde no hay ni electrones ni huecos libres. Al existir esta difusión para poder crear la región tipo PN o región de agotamiento, se consigue que en el extremo de la región de agotamiento en contacto con el silicio dopado tipo P exista una carga negativa, debido a la pérdida de huecos. De manera similar, la región de agotamiento en contacto con el silicio dopado tipo N tendrá una carga positiva, haciendo por lo tanto que se cree un campo eléctrico en la región de agotamiento.



Figura 25. Región de agotamiento en un semiconductor

La base del funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos es el fotoeléctrico. Este efecto, a grandes rasgos, consiste en que, al incidir radiación solar sobre un material, los átomos pueden absorber los fotones provenientes de dicha radiación. La energía de dichos

fotones es transferida a los electrones del átomo. Si la energía de dicha fotón es suficientemente elevada, creará inestabilidad en el átomo haciendo que algunos de los electrones de la capa de valencia consigan “vencer” a las fuerzas atómicas y se liberen del átomo.

Una vez visto los materiales de los que está hecho una panel solar y comprendido el efecto fotoeléctrico, se puede explicar con más detalle el funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos.

La luz incide en el panel solar fotovoltaico, atravesando la región tipo N y llegando hasta la región de agotamiento. Debido al efecto fotoeléctrico, se crearán pares electrón-hueco en dicha región. Como consecuencia a la existencia del campo eléctrico originado en la región de agotamiento, los electrones son impulsados hacia el silicio dopado tipo N mientras que los huecos son impulsados hacia la región tipo P. Si esto sucede de manera continuada, debido al exceso en la concentración de electrones en la región tipo N y al exceso en la concentración de huecos en la región P, se desarrolla una diferencia de potencial entre ambos. Por lo tanto, si se conecta una carga entre ambas regiones, se consigue que los electrones circulen de la región N a la P, generando únicamente corriente directa.

En la práctica, la capa dopada tipo N, es decir, la capa con excedente de electrones, resulta ser una capa muy delgada y dopada al mismo tiempo, mientras que la capa dopada tipo P es una capa mucho más gruesa y mucho menos dopada. De esta manera se obtiene una región de agotamiento mucho mayor, haciendo que la eficiencia del panel solar aumente de manera considerable.

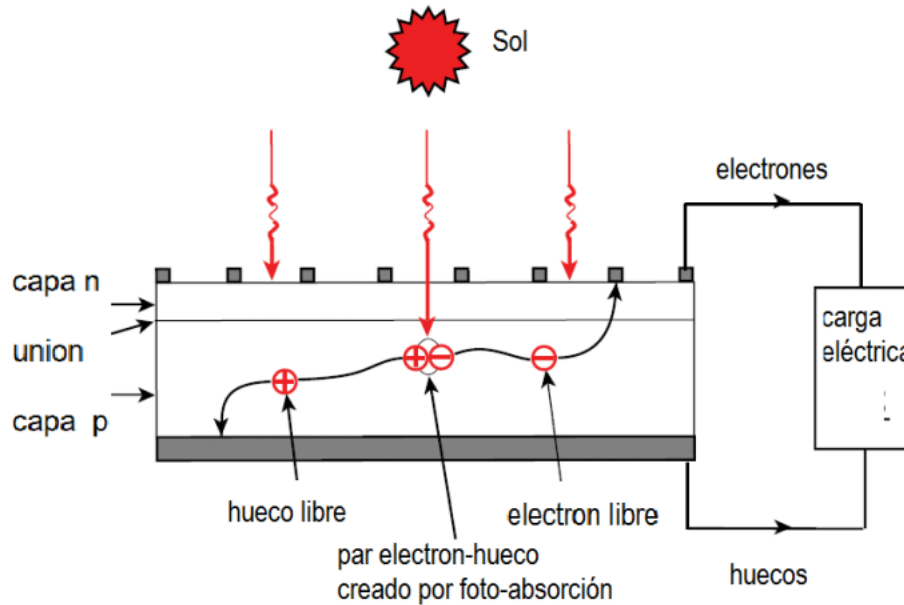


Figura 26. Representación del efecto fotoeléctrico

2.2.2 ACTUALIDAD DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA:

La tecnología solar fotovoltaica no ha hecho más que crecer en estas últimas décadas, como bien muestra la Figura 27. En él se muestra la energía generada a nivel mundial por la tecnología solar fotovoltaica. Se ve como la tecnología ha aumentado de manera significativa pasando de una generación de 32,2 TWh en 2010 a 1002,9 en 2021, “sufriendo” un incremento del 3014% en apenas una década. Mas en concreto la tecnología solar fotovoltaica es actualmente la responsable de un 3,6% de la generación eléctrica a nivel mundial, siendo la tercera fuente de energía renovable, únicamente por detrás de la generación hidroeléctrica y eólica.

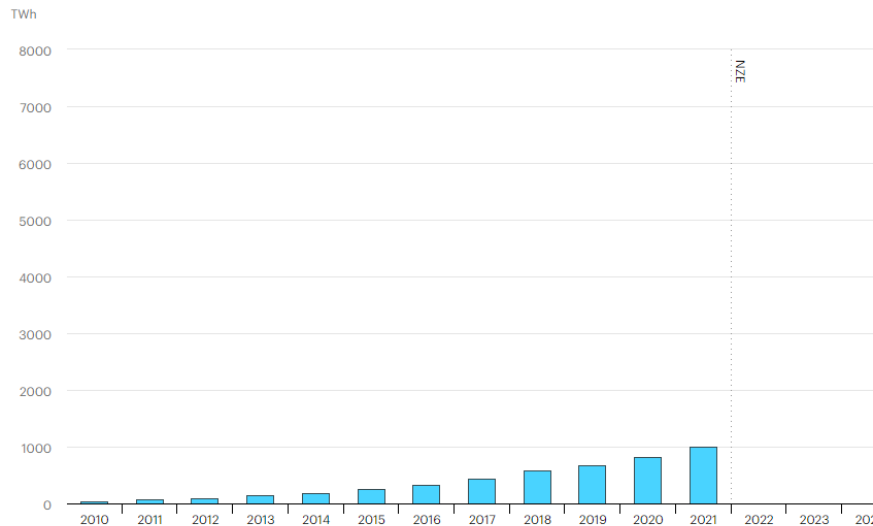


Figura 27. Evolución de la energía generada a nivel mundial por la tecnología solar fotovoltaica [16]

Este crecimiento en la última década ha sido gracias a que la tecnología solar fotovoltaica es una tecnología que se ha ido abaratando con el paso de los años y la cual ha tenido un incremento de eficiencia muy elevado estas dos últimas décadas, haciéndola cada vez más atractiva.

Desde el punto de vista económico, si se observa la Figura 28 se puede observar que la tecnología ha pasado de costar unos 4,5\$/W hace 20 años a estar por debajo de los 0,5 \$/W en la actualidad, haciéndola sin duda mucho más atractiva para inversores y facilitando su competitividad con tecnología más asentadas en el mercado [17].

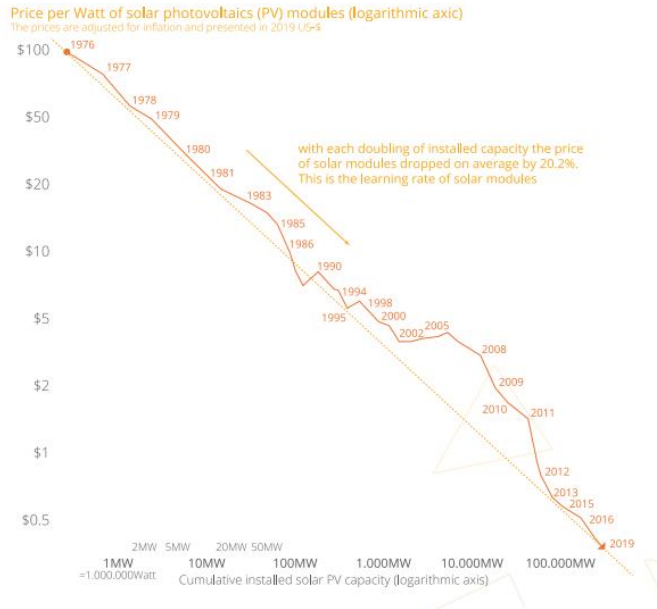


Figura 28. Evolución del precio por vatio solar fotovoltaico

No solo eso, si se observa la Figura 29 se puede observar que también su LCOE (Levelized Cost Of Energy), el cual es un valor que indica el coste promedio de generar electricidad durante toda la vida útil de una instalación, también ha disminuido significativamente en estas últimas décadas, experimentando un descenso de un 89,5 %, situándose en un rango de entre 33 a 41 euros por MWh.

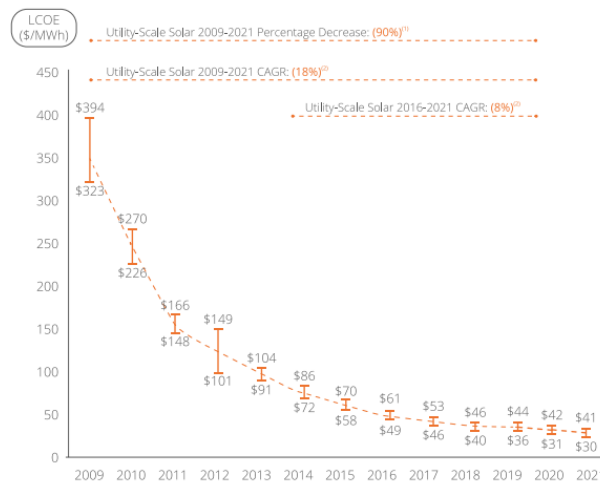


Figura 29. Evolución del LCOE solar fotovoltaico [17]

Este dato es significativo ya que si se compara la tecnología solar fotovoltaica con otros tipos de generación. En la Figura 30 se puede ver el LCOE de distintas tecnologías en \$/MWh. Se puede ver claramente que la tecnología solar fotovoltaica es de las tecnologías más baratas, siendo significativamente más barata que tecnologías más establecidas en el mercado como el ciclo combinado o las centrales nucleares.

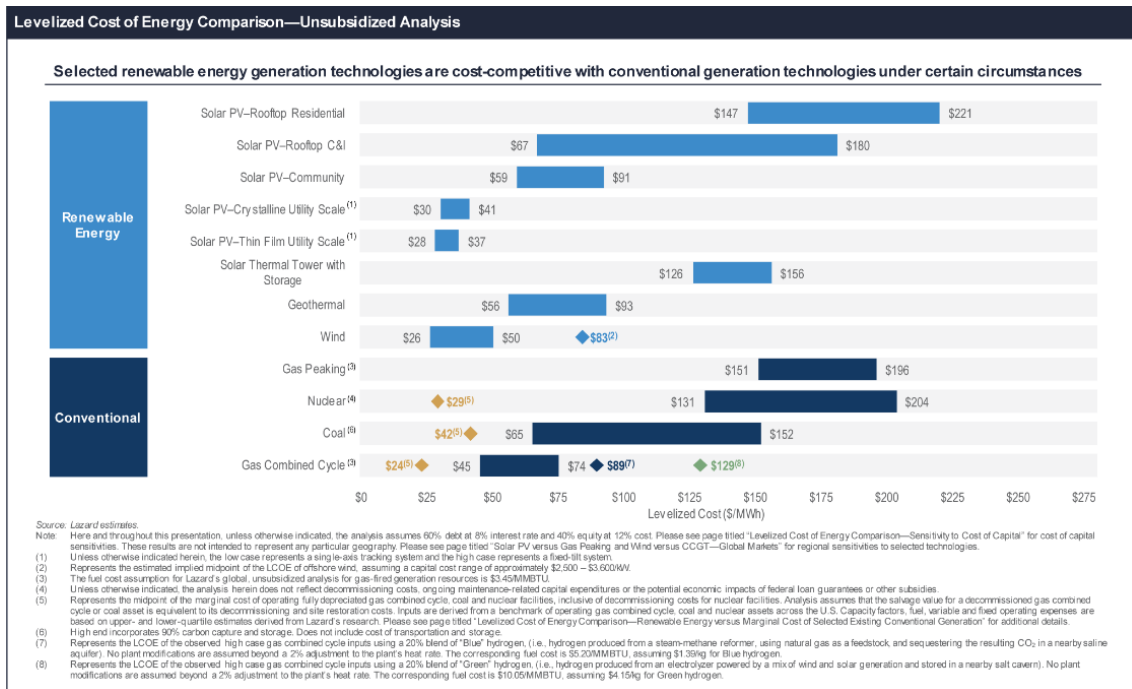


Figura 30. LCOE de diferentes tecnologías [18]

Por lo tanto, la energía eléctrica generada a partir de paneles solares fotovoltaicos resulta más barato que las tecnologías más clásica, y está al nivel de la eólica terrestre, considerada una de las tecnologías más baratas.

Otra de las grandes razones por las que la tecnología solar fotovoltaica ha podido volverse tan competitiva es el aumento de la eficiencia de sus paneles, los cuales, como se puede ver

en la Figura 31 están llegando a valores del 25% en paneles comerciales e incluso valores tan elevados como el 50 % en ensayos.

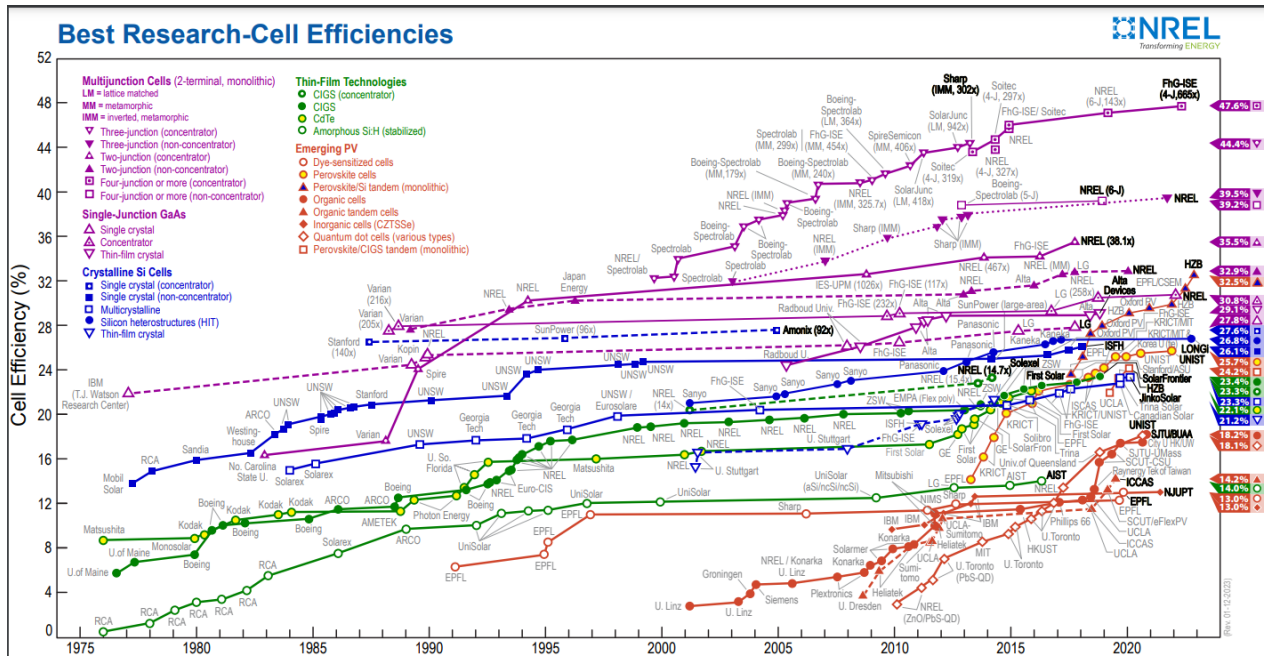


Figura 31. Evolución de la eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos [19]

2.2.3 AUTOCONSUMO. SITUACIÓN EN ESPAÑA.

Todo lo visto en el apartado anterior, se traduce también en el autoconsumo. Un mayor rendimiento y un menor coste hace más atractivo el autoconsumo a potenciales clientes, sobre todo teniendo en cuenta la evolución de los precios de la electricidad en los últimos años como se puede ver en la Figura 2. Frente a dichos precios el autoconsumo, sobre todo con tecnología fotovoltaica, acaba siendo una buena alternativa, la cual cuenta además con bonificaciones y financiación por parte del Gobierno, haciéndola más atractiva y rentable aún, como se verá a lo largo de este apartado.

Y es que como se puede ver en la Figura 32 el autoconsumo en España ha crecido exponencialmente en estos últimos años, donde en apenas 3 años desde 2019, el autoconsumo ha multiplicado su potencia instalada por 6,5 veces.

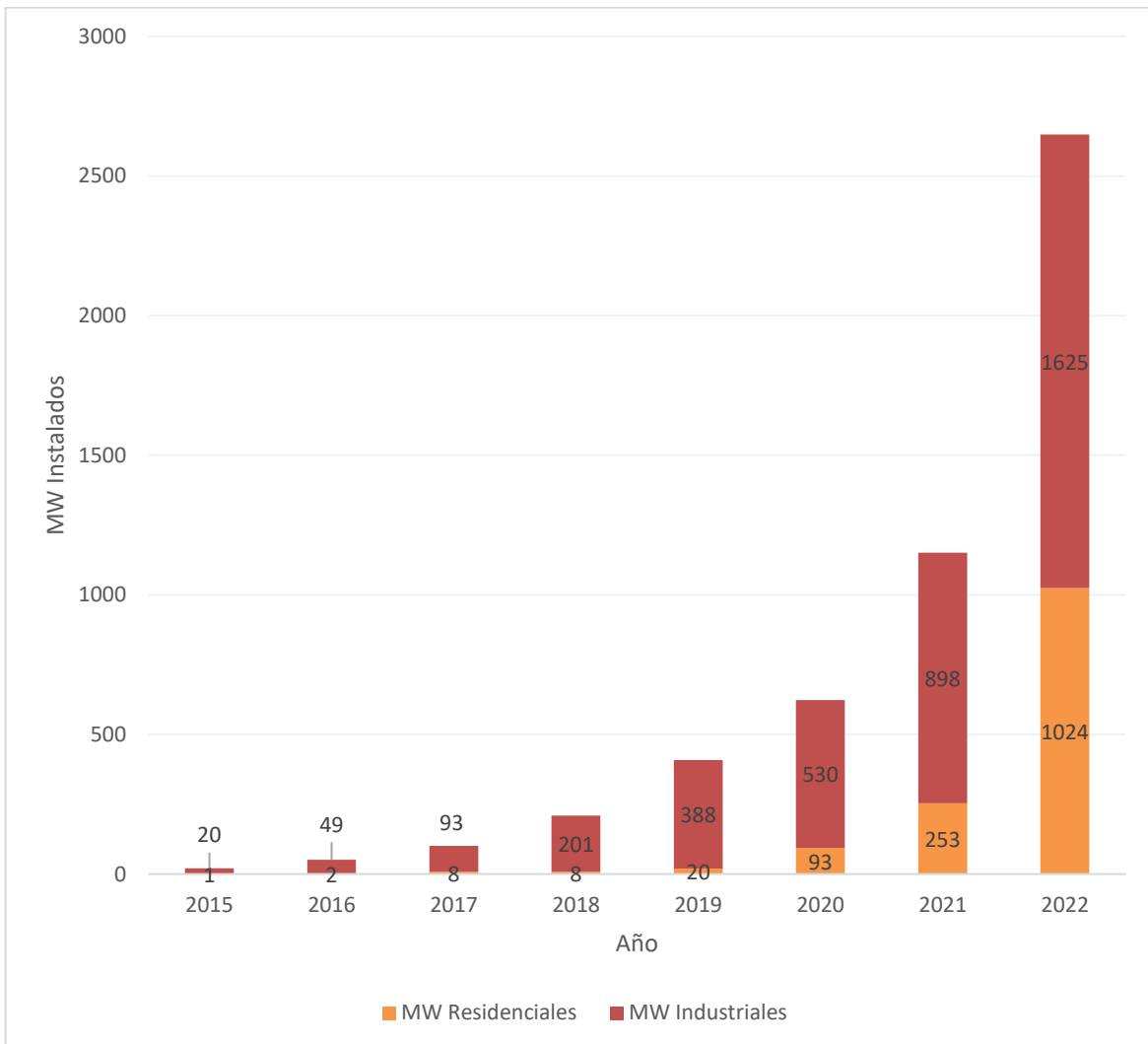


Figura 32. Evolución de la potencia fotovoltaica de autoconsumo instalada [20]

Si bien puede parecer que el sector industrial domina el terreno del autoconsumo, se ha de tener en cuenta que la instalación media de autoconsumo residencial es de alrededor de 4,6 kW mientras que las instalaciones industriales tienen una potencia media de 70 kW (referencia). Teniendo en cuenta esto, se obtiene la Figura 33 la cual muestra el número de instalaciones, donde claramente es el sector residencial el que gana, habiendo aumentado hasta un 305% en el último año.

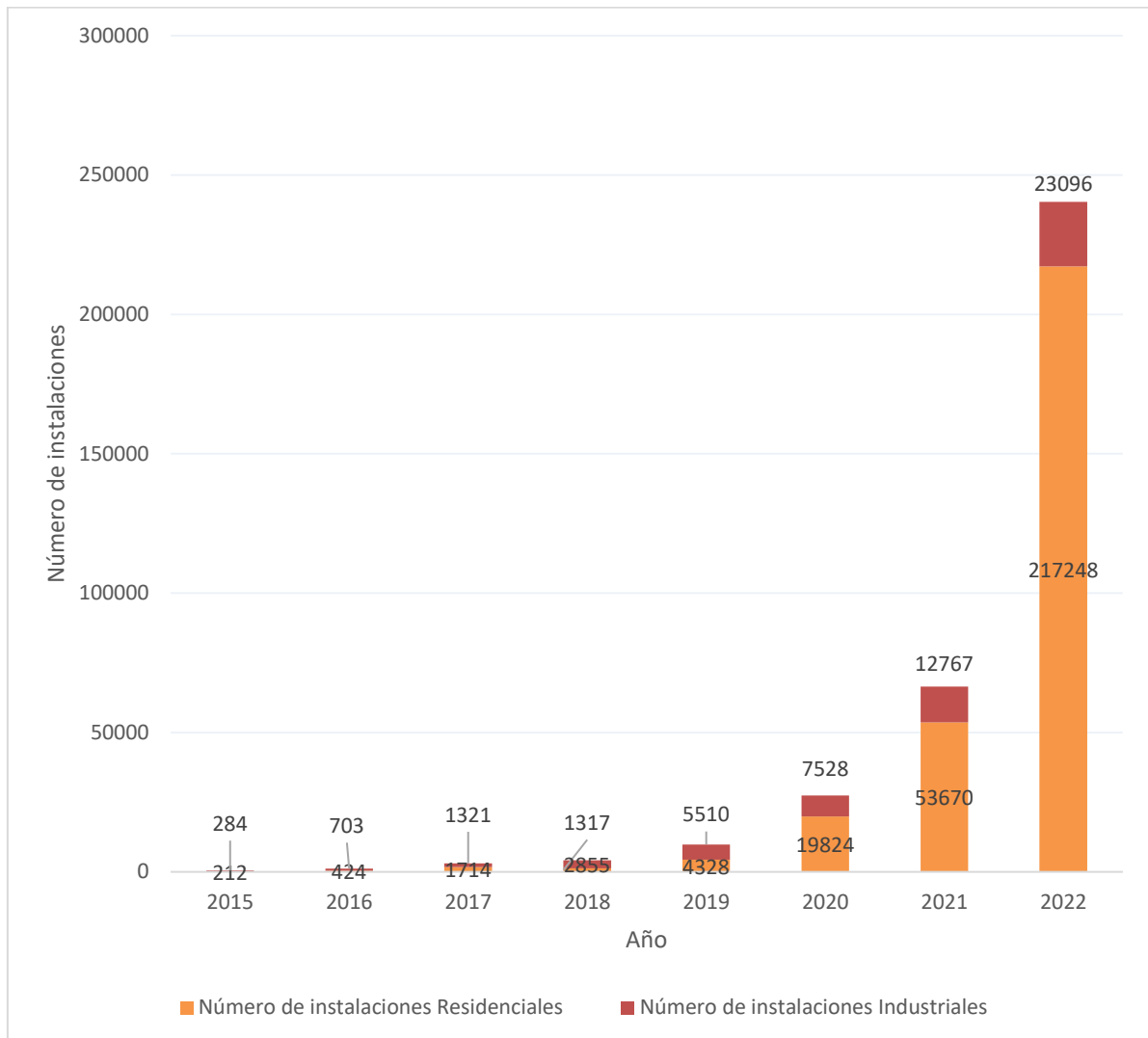


Figura 33. Evolución del número de instalaciones solares fotovoltaicas en España [20]

A pesar de que todos estos datos han de mirarse con cierto escepticismo, el autoconsumo se encuentra en un momento especialmente atractivo debido a las ayudas de los fondos europeos y a que los precios de la electricidad se encuentran en máximos históricos, y se puede suponer además que esta tendencia exponencial se relajará y estabilizará en los próximos años, parece que el autoconsumo como alternativa atractiva y rentable al consumo tradicional es real y ha venido para quedarse.

Y es que esta tendencia al alza parece que vaya a continuar los próximos años. Según el MITECO (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), se espera que

para 2030 haya en torno a 9 GW de autoconsumo. Si bien este dato puede que no parezca mucho en un principio, (sigue siendo en torno al 7,56% de la capacidad total instalada y un 45,08% de la potencia instala fotovoltaica actualmente datos REE), se tiene que entender que estas es la estimación del potencial real. Esto es, una vez descartados proyectos que no son viables tecnológicamente, pero también aquellos que no serían económicamente viables o que, aun siendo económica y tecnológicamente viables, por aspectos subjetivos no serían instalados. La imagen también hace una diferenciación entre el caso base y dos posibles alternativas del mercado: una alta penetración del autoconsumo y una baja penetración de este.

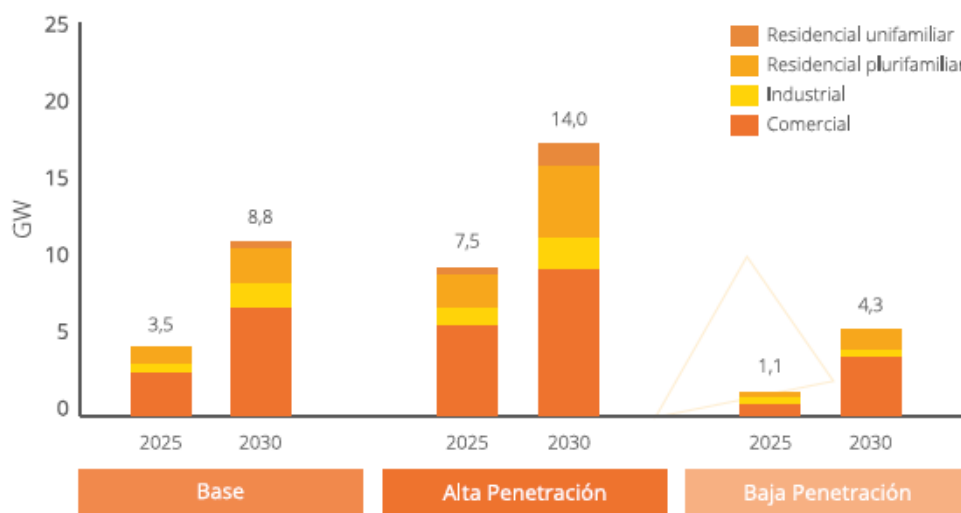


Figura 34. Comparación de escenarios para el autoconsumo fotovoltaico [21]

Pero ya no solo desde el punto de vista de potencia instalada, la producción anual de energía eléctrica a través de autoconsumo también está tomando importancia como se puede ver en la Figura 35, llegando a representar el 1,8% de la demanda eléctrica anual en 2022. Para poner los valores de la Figura 34 en contexto, la generación eléctrica de autoconsumo es superior en un:

- 21% a la generación con turbinación de bombeo
- 11% que la generación solar termoelectrica
- 64% generación con residuos

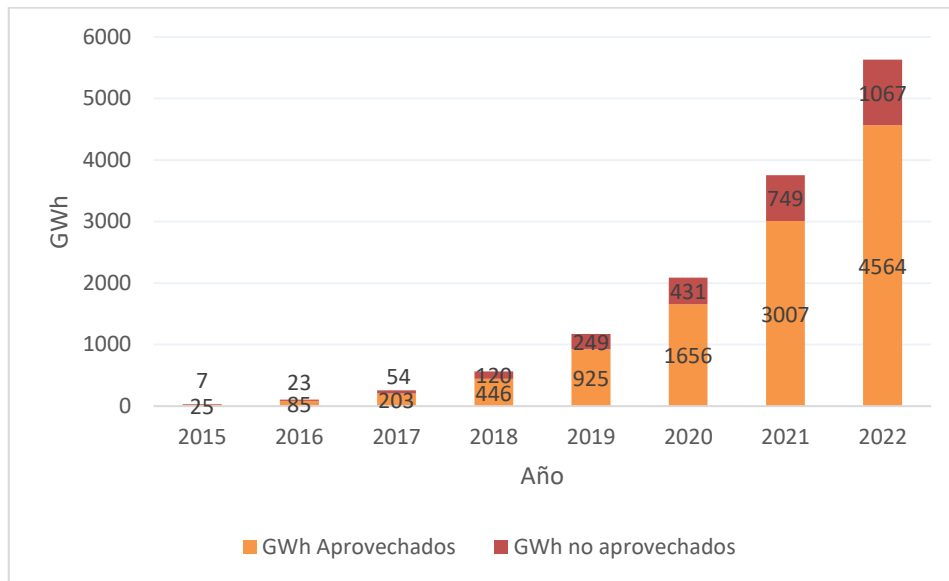


Figura 35. Evolución de la producción anual del autoconsumo [20]

Pero a una mayor producción de energía también se le une un mayor potencial de desaprovechamiento, como se puede ver en la Figura 36, donde en torno a 20 por ciento de la energía producida por el autoconsumo es desaprovechada, dando lugar a las pérdidas reflejadas en la Figura 36.

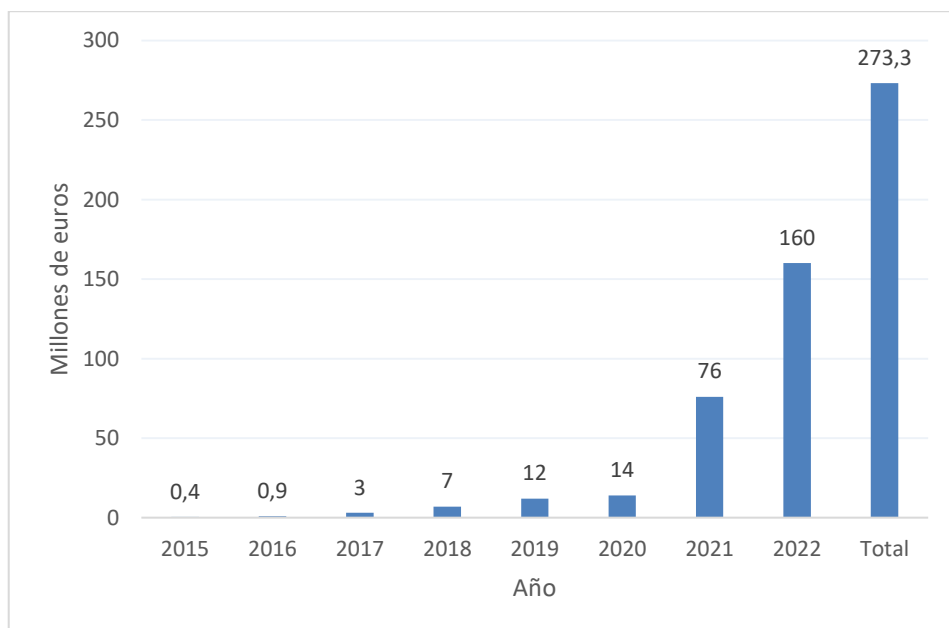


Figura 36. Millones de euros perdidos por energía no vertida al sistema

Finalmente, también se puede ver las emisiones ahorradas por la utilización de autoconsumo como fuente de energía eléctrica, las cuales vienen representadas en la Figura 37. Cómo se puede observar el pasado año se consiguió evitar la emisión de 0,931 millones de toneladas de CO₂.

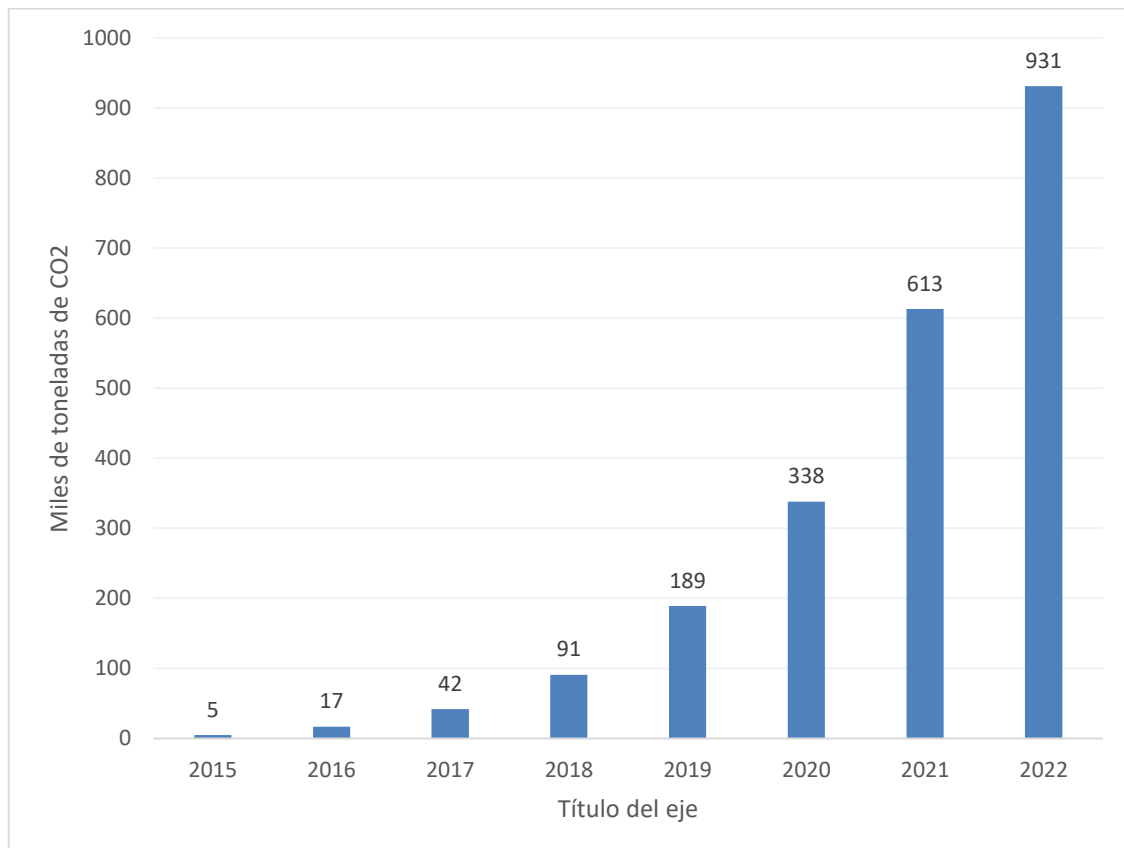


Figura 37. Millones de toneladas CO₂ evitadas [21]

Como se ha mencionado anteriormente, una de las razones por las que el autoconsumo ha crecido estos últimos años ha sido en parte gracias a la financiación y ayudas del Gobierno, haciendo más atractivo este tipo de proyectos.

Una de estas ayudas es la recogida en [22] donde se aprueban los fondos europeos conocidos como NextGenEU, los cuales cuentan con hasta 660 millones de euros, que se podrán ampliar hasta 1320 millones de euros si fuera necesario, para ayudas para las instalaciones de autoconsumo y almacenamiento, destinándose 200 millones de euros al sector residencial,

administraciones públicas y el tercer sector, además de destinar otros 15 millones para almacenamiento. También se destinaron 100 millones para instalaciones térmicas renovables en el sector residencial. Estos fondos están gestionados por cada comunidad autónoma, siempre con el visto bueno del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

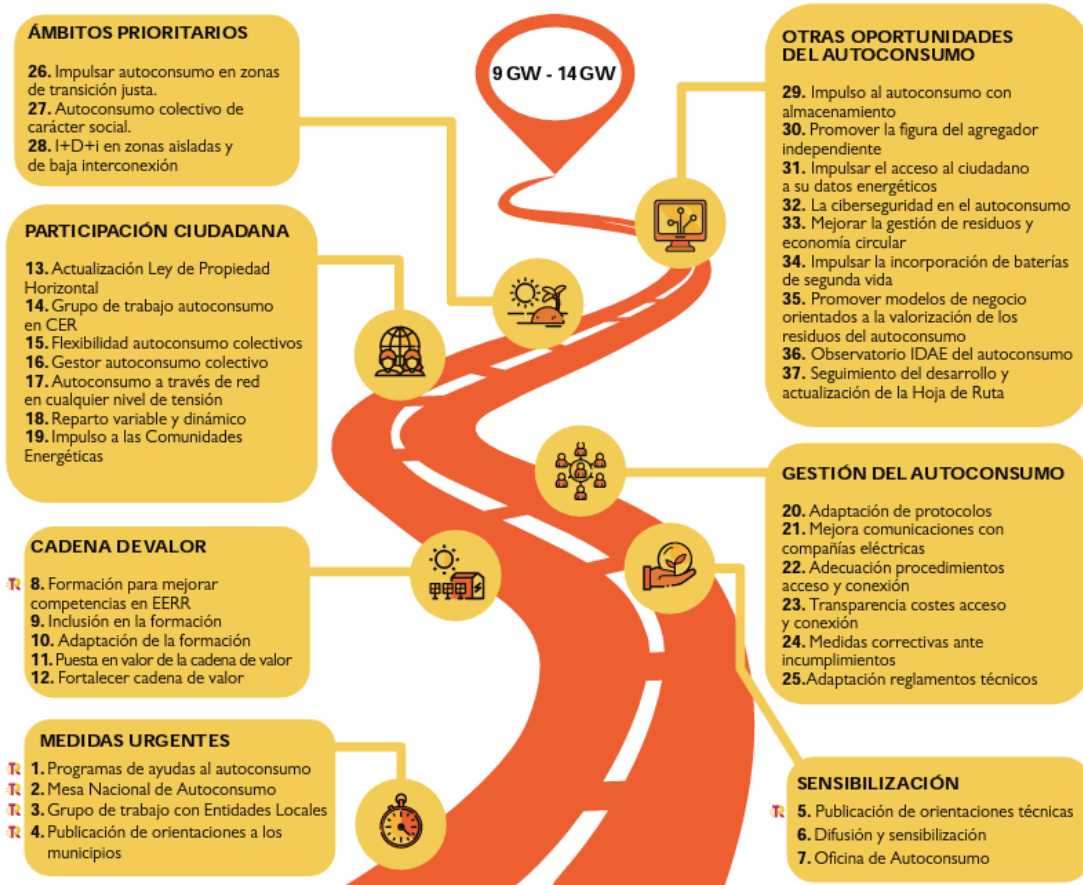
Otro de los grandes avances en materia de autoconsumo es la simplificación de los trámites para la solicitud y puesta en marcha de una instalación de autoconsumo. En [23] el Gobierno decide tomar una serie de medidas las cuales facilitan los trámites de una instalación fotovoltaica. Una de las medidas más destacadas de este real decreto-ley fue la exención de garantías económicas a proyectos que se acogen a una modalidad de autoconsumo con excedentes, siempre que la potencia no sea superior a 100 kW. Otra medida importante fue la implantación de un servicio de atención al cliente con el objetivo de facilitar trámites, la formulación de preguntas o quejas por parte de los propietarios de plantas de autoconsumo. Otra medida realizada por el Gobierno ha sido aumentar por cuatro la distancia entre generación y consumo. Anteriormente el punto de generación y de consumo no podían estar separados más de 500 metros, pero con la nueva medida el Gobierno ha aumentado esta distancia hasta los 2000 metros.

Otro gran avance para la simplificación de la tramitación es la eliminación de la licencia de obras. Si bien es cierto que esto todavía no es una realidad en todas las comunidades, son cada vez más las que están apostando por esta medida. A fecha de 2021 se sumaron a esta iniciativa las comunidades de La Rioja, Madrid y Cantabria, quedando el mapa nacional como se muestra en la Figura 38.



Figura 38. Comunidades en las que no es necesario la licencia de obra para instalación de autoconsumo

Aun así, la instalación de tecnología solar fotovoltaica para el autoconsumo está lejos de ser un trámite ágil y fácil, teniendo que superarse barreras que tan básicas como el desconocimiento o desinformación de la tecnología. Es por ello por lo que el Gobierno aprobó la Hoja de Ruta de autoconsumo en la que se recogen hasta 37 medidas para mejorar el conocimiento y la aceptación de la tecnología solar fotovoltaica para el autoconsumo por parte de toda la población, ya que esta es una de las principales barreras para su implantación en España (referencia). Como se puede ver en la Figura 39 las medidas principales o urgentes de esta “ruta” son algunas de las ya comentadas como las ayudas al autoconsumo o cambios normativos para agilizar la tramitación, pero incluye otras como la difusión y sensibilización para que la gente puede comprender la importancia y ventajas de autoconsumo.




 Las medidas marcadas con el logo PRTR, son medidas destinadas a cumplir los hitos relativos a autoconsumo de la componente 7 del PRTR

Figura 39. Medidas para favorecer autoconsumo

Es con todas estas medidas que el Gobierno quiere potenciar y promover la tecnología solar fotovoltaica para el autoconsumo, y de esta manera intentar aprovechar al máximo de la gran cantidad de recurso solar con la que cuenta España, posicionándola en un lugar aventajado respecto al resto de países europeos.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Una vez vista la actualidad de las tecnologías que se pretenden estudiar en este proyecto, como estado de la cuestión, se plantea la situación actual de la vivienda con respecto a las tecnologías y parámetros vistos en el capítulo 2, es decir, su aislamiento, su sistema de climatización y por último la integración de renovables.

En cuanto al aislamiento, la situación actual de la vivienda es notablemente mala. Dado que la fecha de construcción de la vivienda es de la década de 1930, y que no se ha realizado ninguna actualización en ella, se puede suponer que la transmitancia térmica de la envolvente del edificio es de en torno a 3W/mK . Se entrará más en detalle sobre este valor en el apartado 4.1.2. además, los lucernarios y ventanas de la casa también tienen una transmitancia térmica muy elevada, de en torno a $4,83\text{ W/mK}$ (ver apartado 4.1.2.)

En cuanto al sistema de climatización., la vivienda cuenta con un sistema de calefacción de caldera de condensación, con una eficiencia de 0,9, la cual usa gas natural y un sistema de aire acondicionado, el cual usa electricidad, con un COP cercano a 5. Este proyecto intentará estudiar el cambio de ambos, aunque se supondrá que el sistema de refrigeración, es decir el aire acondicionado, mantendrá su parámetros constantes

Por último, la vivienda no cuenta con ningún tipo de generación renovable para suministrar la demanda de la casa, ni electricidad mediante fotovoltaica o mini eólica ni generación de ACS, mediante termosifón o algo parecido, por lo que la instalación de paneles fotovoltaicos será algo completamente nuevo para el edificio.

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

En este capítulo, se van a realizar, desde el punto de vista técnico, el estudio de la implantación de las tecnologías vistas en el Capítulo 2. Se expondrá las bases técnicas de las tecnologías, y se estudiará de qué manera se pueden implementar en la vivienda con el objetivo de mejorar su eficiencia energética .

4.1 AISLAMIENTO

Como se mencionó en el apartado 2, el aislamiento de una vivienda es uno de los parámetros fundamentales para aumentar la eficiencia energética de la misma, y muchas veces tiende a ser pasado por alto a la hora de considerar las diferentes estrategias para la mejora energética. Es por ello por lo que en este apartado se va a estudiar la situación actual de la vivienda, y se verán que medidas y que soluciones existen para mejorar el aislamiento de esta.

Para ello a lo largo de este apartado se introducirán los conceptos necesarios para entender la importancia del aislamiento en una vivienda para posteriormente se estudiar la situación del aislamiento actual de la vivienda, y ver que mejoras son capaces estudiando cuales se adaptan a este caso y cuales carecen de sentido de implantar.

4.1.1 INTRODUCCIÓN

Para poder entender las mejoras y las propuestas que se irán viendo a lo largo del siguiente apartado, conviene comprender la naturaleza de las pérdidas de calor por un mal aislamiento, así como ver de qué manera influye este aislamiento en la reducción de dichas pérdidas.

Las pérdidas por transmisión de calor que sufre un hogar se pueden cuantificar a través de la siguiente fórmula, según [24]:

$$Q = UA\Delta T \quad (4)$$

Donde,

- Q es el calor transferido, medido en W.
- U es la transmitancia térmica del material, medida en W/m^2K .
- A es el área del material, medida en m^2 .
- ΔT es la diferencia de temperatura, en este caso, entre el interior y el exterior de la vivienda.

Merece la pena explicar el parámetro de la transmitancia térmica, ya que es el parámetro que va directamente relacionado con la mejora del aislamiento de la vivienda. Dicho parámetro viene dado por la expresión:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (5)$$

Siendo R_T la resistencia térmica del material, la cual, para paredes planas, se calcula de la siguiente manera:

$$R_T = R_{si} + R_{se} + R_1 + \dots + R_n \quad (6)$$

Donde,

- R_{si} y R_{se} son las resistencias térmicas de cada capa en m^2K/W , las cuales, según [25], pueden aproximarse a los siguientes valores:

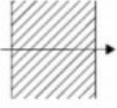
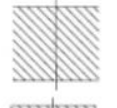
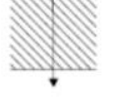
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Figura 40. Valores de las resistencias térmicas en función de la posición del cerramiento y del sentido del flujo

- R_n , son las resistencias térmicas de los materiales internos del muro en m^2K/W , las cuales se calculan de la siguiente manera:

$$R_i = \frac{esp}{k} \quad (7)$$

Siendo,

- esp el espesor del material en mm
- k la conductividad del material en W/mmK

En los siguientes apartados se verá la influencia de los materiales y del buen aislamiento y como una reducción de la transmitancia térmica de la envolvente de la vivienda puede ayudar a reducir las pérdidas de calor por transmisión en el edificio, pero primero se deben establecer las condiciones de contorno para poder evaluar dicha transmisión de calor. Dichas condiciones de contorno son las temperaturas tanto en el interior como en el exterior de la vivienda.

Para las condiciones de contorno de la temperatura del interior de la vivienda, se pueden tomar como referencias las propuestas por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios en [26], las cuales vienen recogidas en la siguiente tabla:

Tabla 2. Condiciones de confort de una vivienda

Estación	Temperatura operativa [°C]
Invierno	21-23
Verano	23-25

Dicha tabla recoge las condiciones de confort para una vivienda dependa de la estación del año. Por lo tanto, se puede establecer la tabla definiendo la temperatura de la vivienda en función del mes. Se considerará verano el periodo entre Abril y Septiembre, ambos incluidos, e invierno el resto del año.

Tabla 3. Temperatura de confort en función del mes

Meses	Temperatura de confort
Octubre-Marzo	22
Abril-Septiembre	24

Una vez recogidas las temperaturas de referencia para el interior de la vivienda para cada uno de los meses del año, se puede realizar un análisis de las temperaturas del exterior de la

vivienda. Para ello, se han obtenido los valores de las temperaturas de cada hora en un periodo de 15 años (2005-2020) en la ciudad de Madrid. Con dicha base de datos, se ha podido obtener un promedio del valor medio de la temperatura cada hora en cada mes del año, el cual se recoge en la Tabla 4.

Tabla 4. Temperaturas promedio en función del mes y hora

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	2,99	4,17	6,95	9,67	13,73	18,94	22,97	22,84	18,70	13,30	7,54	3,88
1	2,62	3,72	6,32	9,00	12,91	18,01	21,85	21,86	17,90	12,79	7,17	3,57
2	1,74	2,49	4,90	7,69	11,54	16,46	20,12	20,08	16,26	11,29	6,05	2,66
3	1,54	2,15	4,42	7,19	10,94	15,73	19,29	19,30	15,66	10,86	5,79	2,45
4	1,37	1,85	4,02	6,75	10,38	15,07	18,56	18,61	15,13	10,47	5,58	2,27
5	1,25	1,63	3,59	6,55	10,62	15,58	18,95	18,47	14,79	10,31	5,51	2,08
6	1,14	1,45	3,32	6,33	10,90	16,11	19,07	18,14	14,37	10,02	5,38	1,97
7	1,10	1,43	3,52	7,74	13,10	18,29	21,06	19,57	14,91	10,00	5,28	1,91
8	1,85	2,91	6,51	10,87	15,29	20,09	23,15	22,45	18,36	12,75	6,81	2,78
9	3,16	4,97	8,91	12,63	17,09	21,95	25,20	24,53	20,46	15,04	8,70	4,11
10	5,23	7,00	10,74	14,22	18,75	23,70	27,13	26,50	22,35	16,83	10,47	6,17

11	7,27	8,97	12,24	15,30	19,91	24,81	28,32	27,72	23,62	17,98	11,98	7,87
12	8,54	10,25	13,50	16,40	21,07	26,04	29,74	29,19	24,96	19,19	13,05	9,08
13	9,47	11,20	14,44	17,22	21,91	26,95	30,79	30,27	25,93	20,04	13,78	9,95
14	9,71	11,58	14,94	17,53	22,22	27,66	31,84	31,28	26,73	20,59	13,94	10,23
15	9,89	11,80	15,18	17,72	22,43	27,93	32,19	31,66	26,94	20,73	13,93	10,29
16	9,54	11,63	15,02	17,53	22,30	27,88	32,18	31,61	26,79	20,47	13,45	9,77
17	7,99	10,24	14,08	16,85	21,79	27,23	31,71	31,00	25,39	18,95	11,63	8,09
18	6,69	8,88	12,93	15,95	20,99	26,48	30,98	30,21	24,39	17,59	10,48	6,95
19	5,86	7,70	11,45	14,54	19,71	25,38	29,85	28,97	23,11	16,47	9,73	6,21
20	4,96	6,32	9,87	12,80	17,45	22,86	27,13	26,64	21,66	15,54	9,04	5,33
21	4,29	5,52	8,81	11,64	16,08	21,43	25,67	25,25	20,50	14,62	8,41	4,67
22	3,66	4,80	7,92	10,62	14,90	20,11	24,30	23,92	19,37	13,77	7,83	4,10
23	3,45	4,80	7,71	10,46	14,81	20,22	24,24	23,91	19,39	13,71	7,78	4,19

De esta manera, ya se puede analizar la pérdida de calor en la vivienda, la cual debería de ser compensada por un sistema de calefacción o refrigeración, y se pueden realizar comparaciones de las mejoras entre el caso base y las soluciones propuestas. También, como se verá más adelante, se podrá diseñar el nuevo sistema de climatización para la vivienda, ya que se conocerá exactamente la energía y potencia necesarios.

4.1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA VIVIENDA

Como se puede ver en ANEXO A Planos actualmente la vivienda dispone de una superficie de 245,43 m², de los cuales 205,54 m² son habitables.

Para realizar el análisis de la envolvente de la vivienda, se decidió realizar una separación por zonas, las cuales son:

- Norte
- Sur
- Este
- Oeste.

Teniendo en cuenta que, si se mira los planos, el hogar tiene una altura promedio de 3,05 metros de altura, se pueden sacar los valores, mediante aproximaciones en algunos casos ya que faltan algunas medidas en dichos planos, de la superficies de la envolvente para cada una de las zonas, las cuales están recogidas en la siguiente tabla. Teniendo en cuenta que las paredes y las ventanas tienen diferentes transmitancias térmicas, la tabla diferencia entre superficie ocupada por ventanas y superficie ocupada por pared.

Tabla 5. Dimensiones de la envolvente térmica

Zona	Valor total de la superficie [m ²]	Superficie de las ventanas [m ²]	Resto de la superficie (pared) [m ²]
Norte	76,34	12,604	63,74
Sur	34,526	13,52	21,02
Este	82,93	9,921	73,01
Oeste	71,67	14,67	57

Una vez vistas las superficies, se debe realizar el cálculo de las transmitancias actuales. Al no existir información sobre valores concretos del edificio se procede a realizar las siguientes estimaciones.

En cuanto a la envolvente del edificio, excluyendo las ventanas, el valor estimado de transmitancia es de 3 W/m²K, valor que se obtiene de utilizar la Figura 41, teniendo en cuenta que la construcción del edificio data de 1933.

Banda cronológica	A (anterior 1981)	B (1981-2007)				C (a partir de 2008)					
Zona climática		V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E
U (W/m ² K)	3,00	1,80	1,60	1,40	1,40	0,94	0,82	0,73	0,66	0,57	
masa/m ² (kg/m ²)	168	200				200					

Figura 41. Valores de la transmitancia de los muros de fachada en función al año de construcción

Como se ha mencionado anteriormente, las ventanas de la vivienda tienen una transmitancia térmica diferente a la transmitancia de las paredes, y en este apartado se va a realizar una aproximación de esta.

Como se puede ver en la Figura 42, las ventanas de la vivienda actuales tienen dos “zonas diferenciadas”: un marco de madera y el vidrio de la ventana.



Figura 42. Ventana actual de la vivienda

Según [27], la madera tiene una transmitancia térmica de entre 2-2,2 W/m²K.

En cuanto al vidrio de la ventana, teniendo en cuenta que se trata de vidrio sencillo, es decir de una única capa y que además es relativamente antiguo, se puede establecer según [27], que su transmitancia es de 5,7 W/m²K.

Por lo tanto, ya se puede estudiar la transmitancia térmica de las ventanas actuales de la vivienda según la siguiente fórmula, la cual se recoge en [27].

$$U_H = (1 - FM)U_{HV} + FM \cdot U_{HM} \quad (8)$$

Siendo,

- U_H , la transmitancia térmica del hueco
- U_{HM} , la transmitancia térmica del marco
- U_{HV} , la transmitancia térmica de la parte semitransparente
- FM la fracción del hueco ocupada por el marco

Por lo tanto, se necesita realizar una estimación de la fracción del marco de las ventanas. Cogiendo la ventana 13 como referencia, realizando algunas mediciones, se puede estimar que en torno al 24,3% de la superficie de la ventana está ocupada por el marco. Por lo tanto, la transmitancia actual de las ventanas es, de manera aproximada, 4,83 W/m²K.

Por último, hay que tener en cuenta que la vivienda cuenta con muros y paredes colindantes con otros edificios, y este tipo de paredes según [25], se suponen como adiabáticos ya que son básicamente separaciones de dos espacios con condiciones climáticas similares o iguales (en este caso las de confort recogidas en las Tabla 2) por lo que se supone que no habrá una transmisión de calor por ese tipo de paredes.

4.1.3 PROPUESTAS DE MEJORA

La propuesta de mejora del aislamiento de la vivienda va a consistir en dos estrategias claramente diferenciadas:

- El cambio de las ventanas por el sistema conocido como climalit.
- La mejora del aislamiento de la envolvente térmica

En los apartados siguientes se estudiará el impacto, desde el punto de vista tecnológico de cada una de las medidas y en un apartado posterior se estudiará el impacto desde el punto de vista económico.

4.1.3.1 Mejora del aislamiento de la envolvente

La mejora del aislamiento de la envolvente de la vivienda se centrará únicamente en las zonas de la casa que den al exterior, ya que como se ha visto en el apartado 4.2.2., el resto de las superficies son colindantes con otras viviendas y este tipo de superficies se pueden suponer adiabáticas. Por lo tanto, descontando el valor de la superficie de las ventanas y de las superficies colindantes son otras viviendas, el valor final obtenido de la envolvente de la vivienda a analizar en este apartado es de 142,36 m², lo cual es en torno a un 53,6 % de la envolvente global.

Desde el punto de vista tecnológico, este apartado buscará actualizar la envolvente del edificio para cumplir con la normativa actual del CTE, recogida en la Figura 41. Valores de la transmitancia de los muros de fachada en función al año de construcción Es decir, teniendo en cuenta que Madrid se encuentra, según el CTE en la zona D3, se mejorará la envolvente del edificio para que tenga una transmitancia de 0,66 W/m²K.

Una vez establecida la transmitancia necesaria para la envolvente, se hace necesario calcular el grosor del aislante a colocar. Para ello, se han hecho algunos cálculos y aproximaciones que se explicarán a continuación, se usan las de transmitancia y resistencia térmica explicadas en el apartado anterior. Teniendo esto en cuenta, la resistencia térmica de la nueva envolvente será de 1,52 m²K/W.

Según [25], se puede aproximar que las resistencias térmicas para las paredes interiores y exteriores son, respectivamente, 0,13 y 0,04 m²K/W. Por lo tanto, la resistencia térmica por conducción del interior de la pared debe ser de 1,35 m²K/W.

Para calcular el espesor del nuevo aislante se va a utilizar la siguiente fórmula:

$$1,35 \frac{m^2 W}{k} = R_{Cond\ actual} + R_{Cond\ aislante} \quad (9)$$

Para ello es necesario conocer la resistencia térmica a conducción de la actual envolvente térmica. Sabiendo que las resistencias térmicas de las paredes interiores y exteriores son, respectivamente, 0,13 y 0,04 m²K/W, y que la actual transmitancia térmica estimada es de 3W/m²K, se puede obtener un valor de en torno a 0,163 m²K/W, como resistencia térmica de conducción actual.

Por lo tanto, se hace necesario que la resistencia térmica a conducción del aislante sea de 1,187 m²K/W. Finalmente utilizando la fórmula (7), se puede obtener el espesor necesario, el cual dependerá del material aislante utilizado y por lo tanto de su conductividad térmica. En la siguiente tabla se pueden ver algunos materiales:

Tabla 6. Espesor necesario de la envolvente en función del material aislante

Material Aislante	Conductividad térmica [W/mK]	Espesor [m]
Poliuretano Rígido	0,02	0,023
Espuma de Poliuretano	0,024	0,028
Poliuretano Proyectado	0,024	0,0284
Resina de Melanina	0,034	0,0403
Espuma de Polietileno	0,035	0,042
Lana de Vidrio	0,036	0,043

Estos materiales y sus propiedades serán necesarios para realizar el estudio económico en un apartado más adelante.

4.1.3.2 Cambio de ventanas

El siguiente de los cambios propuestos es la mejora y “actualización” de las ventanas. Como se ha podido observar en el apartado 4.2.2., la transmitancia de las ventanas actuales es muy elevada, siendo además la superficie ocupada por las ventanas en torno a un 19,1% de la envolvente de la vivienda, dato el cual no es despreciable. Además, como se ha visto en apartados anteriores, la transmitancia actual de las ventanas es de en torno a 4,83 W/m²K, por lo tanto, la reducción de esta se hace necesaria con el fin de evitar excesivas pérdidas de calor.

Como estrategia, se decidió optar por la instalación de ventanas tipo climalit. La siguiente figura muestra la transmitancia térmica de las nuevas ventanas en función del espesor de la cámara de aire de esta.

U (W/m ² K) composición 4 / cámara de aire / 4														
					Cámara (mm)									
Vidrio de capa (cara2)	e	g (max)	T.L. (%)	R.L.e (%)	6	8	10	12	14	15	16	18	20	24
sgg PLANITHERM XN	0.03	0.59	80	12	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
sgg PLANITHERM XN (*)	0.03	0.62	80	12	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
sgg PLANITHERM 4S	0.01	0.43	65	26	2,4	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4
sgg PLANISTAR ONE	0.01	0.39	71	13	2,4	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4

Figura 43. Transmitancia térmica de ventanas climalit

Por lo tanto, si se escoge una ventana con una cámara de aire de 16 mm, la transmitancia térmica hasta un valor de 1,4 W/m²K, reduciendo la transmitancia en un 71% en cada ventana.

4.1.4 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

Con el objetivo de estudiar los cambios propuestos, y ver así la mejora de la eficiencia energética, se va a estudiar el porcentaje de energía ahorrada al mejorar el aislamiento. Para ello se utilizará la fórmula (10), y se verá el cambio porcentual:

$$\frac{Q_{SA} - Q_{CA}}{Q_{SA}} \times 100 \quad (10)$$

Siendo,

- Q_{CA} , las pérdidas de calor de la vivienda con la mejora del aislamiento
- Q_{SA} , las pérdidas de calor de la vivienda sin la mejora del aislamiento

Y realizando algebra básica se puede simplificar la ecuación, haciendo que sea independiente de la diferencia de temperatura:

$$\frac{U_{SA}A_{SA} - U_{CA}A_{CA}}{U_{SA}A_{SA}} \times 100 \quad (11)$$

Siendo, de manera esquemática

- U_{SA} , la transmitancia térmica de la envolvente sin aislamiento
- A_{SA} , el área de la envolvente sin aislamiento
- U_{CA} la transmitancia térmica de la envolvente con aislamiento
- A_{CA} el área de la envolvente con aislamiento

A modo de resumen y comparación, la siguiente tabla muestra los valores actuales de la vivienda y los valores con la mejora de aislamiento:

Tabla 7. Resumen parámetros de aislamiento

Superficie	Valor de superficie [m ²]	Transmitancia actual [W/m ² K]	Transmitancia		
			con nuevo aislamiento [W/m ² K]	UA [W/K]	UA [W/K]
Pared	142,36	3	0,66	427,08	93,96
Ventanas	50,72	4,83	1,4	244,96	71

Juntando ambas medidas, se puede concluir que la mejora del aislamiento de la envolvente de la vivienda y el cambio de ventanas por el sistema climalit, resulta en un ahorro de pérdidas de calor de hasta un 75,4 %.

4.2 AEROTERMIA

Una vez calculado el nuevo aislamiento, se puede pasar a calcular el nuevo sistema de refrigeración y calefacción, el cual, como se vio en el apartado 2, estará basado en una bomba de calor aerotérmica.

Para poder diseñar este nuevo sistema, se debe conocer cuál será la potencia necesaria del mismo. Para ello, se debe usar la ecuación (12).

$$Q_{Aerotermia} = Q_{Climatización} + Q_{ACS} \quad (12)$$

En donde la climatización se separa en los términos de la ecuación (13):

$$Q_{Climatización} = Q_{Transmisión} + Q_{Ventilación} \quad (13)$$

A lo largo de este apartado se estudiarán las diferentes cargas de la vivienda con el objetivo de cuantificar la potencia necesaria del nuevo sistema de aerotermia.

4.2.1 CARGAS DE TRANSMISIÓN

En este apartado se van a estudiar las pérdidas de calor por transmisión de la vivienda. Con el objetivo de hacer un estudio completo, se va a utilizar la “nueva” envolvente calculada en el apartado anterior, por lo que las cargas serán menores. Además, también se usará la actual envolvente con el objetivo de realizar un análisis comparativo.

Para poder cuantificar las pérdidas de calor por transmisión, se debe utilizar la fórmula (4), utilizando los nuevos parámetros calculados en el apartado anterior, los cuales vienen resumidos en la Tabla 7.

Dicha tabla no recoge otro parámetro esencial para cuantificar las pérdidas de calor por transmisión: la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la vivienda. Cuanto mayor sea esta diferencia de temperatura, mayor será la pérdida de calor por transmisión y por lo tanto más potente tendrá que ser el nuevo sistema de climatización. Con el objetivo de realizar un análisis comparativo se han propuesto tres situaciones diferentes:

- La máxima diferencia de temperatura para los valores medios
- La máxima diferencia de temperatura para todos los valores registrados en el periodo recogido (2005-2020)
- La diferencia de temperatura que cumple con el percentil del 99%.

Las tres diferencias de temperaturas se recogen en la tabla:

Tabla 8. Diferencia de temperatura entre interior y exterior de la vivienda para distintos casos

Máxima	Percentil	Medias
29,41	26,76	20,9

Una vez vistas las tres diferencias de temperaturas, se estima que la más representativa para el diseño es la que cumple con el percentil del 99%, por lo que se va a usar esa como referencia para el cálculo de la potencia.

Usando la fórmula (4), se estima que las potencia necesarias para poder compensar la diferencia de temperatura para que cumpla con el percentil del 99% se recogen en

Tabla 9. Potencia necesaria para compensar la diferencia de temperatura

Con aislamiento	Sin aislamiento
4,41 kW	12,98 kW

4.2.2 VENTILACIÓN

El nuevo sistema de climatización también ha de ser capaz de mantener una adecuada calidad del aire y de realizar las renovaciones acorde a la normativa. Por lo tanto, la carga de ventilación de la bomba de calor debe tenerse en cuenta a la hora de diseñarse. Esta carga de ventilación puede cuantificarse a través de la ecuación

$$Q_{\text{ventilación}} = V N C_{p,\text{aire}} \Delta T \quad (14)$$

Siendo,

- V , el volumen, en m^3 del recinto a ventilar
- N las renovaciones necesarias del recinto para mantener una buena salubridad
- $C_{P,aire}$ el calor específico del aire. En este caso se coge en función del volumen, siendo su valor de $1,21 \text{ kJ/m}^3\text{K}$
- ΔT la diferencia de temperatura entre el exterior e interior de la vivienda

En la Tabla 10 se recogen los volúmenes de cada espacio de la vivienda de manera diferenciada. Se realiza de esta manera y no toda la vivienda en conjunto, ya que, como se verá más adelante, la normativa recoge distintos parámetros de salubridad para las distintas zonas de una vivienda, ya que, como es lógico, no es necesario ventilar de igual manera una habitación y una cocina.

En cuanto a la normativa, esta viene recogida en [28] e indica el caudal mínimo, en función del tipo de recinto y del tipo de habitación, necesarios para garantizar la salubridad de estos. Dichos valores se pueden ver en la Figura 44.

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s				
	Locales secos ^{(1) (2)}			Locales húmedos ⁽²⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

(1) En los locales secos de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor

(2) Cuando en un mismo local se den usos de local seco y húmedo, cada zona debe dotarse de su caudal correspondiente

(3) Otros locales pertenecientes a la vivienda con usos similares (salas de juego, despachos, etc.)

Figura 44. Caudales mínimos para garantizar salubridad

Con estos valores, se puede obtener el número de renovaciones necesarias por habitación mediante la siguiente fórmula:

$$N = q_v \cdot \frac{1m^3}{1000l} \cdot \frac{1 \text{ renovación}}{\text{Volumen habitación } [m^3]} \quad (15)$$

Con esta fórmula, se obtienen las renovaciones por segundo necesarias para cada habitación de la vivienda.

Tabla 10. Volumen de las distintas zonas de la vivienda

Zona de la vivienda	Volumen [m³]
Cocina	52,37
Habitación 1	11,42
Cuarto de baño 1	6,51
Salón 1	26,7
Habitación 2	27,86
Habitación 3	30,36
Cuarto de baño 2	21,52
Cuarto de baño 3	16,18
Habitación 4	36,12
Salón	142,45
Comedor	32,11
Habitación principal	33,4
Cuarto de baño 4	9,17
Cuarto de baño 5	38,55
Despacho	15,17
Pasillo	46,56

Pasillo 2	5,40
Entrada	11,63

Por último, solo queda establecer la diferencia de temperatura, la cual seguirá la misma lógica que el apartado anterior, cogiendo el valor representativo del percentil del 99%, es decir una diferencia de temperatura de 26,76°C.

Por lo tanto, se puede recoger la potencia necesaria del equipo de aerotermia para la ventilación de la vivienda. Este parámetro de potencia será la suma de la potencia necesaria para la ventilación de cada una de las habitaciones de la vivienda. Los resultados se recogen en la tabla a continuación.

El valor final calculado necesario que el sistema de aerotermia necesita para la ventilación de la vivienda es de 5,05 kW.

4.2.3 ACS

El nuevo sistema de aerotermia también será utilizado para la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS en adelante), por lo tanto, es necesario calcular la potencia requerida para la producción de esta.

Para poder realizar una estimación de la demanda se va a tomar como base el cumplimiento de la normativa recogida en [29] y el consumo actual de la vivienda. De los dos resultados se cogerá el caso en el que el consumo sea mayor, ya que este supone un escenario más restrictivo.

Según la normativa recogida en [29], la cantidad mínima necesaria de ACS a 60 °C depende del tipo de establecimiento.

La normativa establece el consumo mínimo en una vivienda residencial por persona con el valor de 28 litros al día. También establece el número de personas en función de las habitaciones, como se recoge en la Figura 45.

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Figura 45. Número de personas en base a número de habitaciones

Al haber 5 habitaciones en la vivienda, se supone una ocupación de 6 personas. Por lo tanto, la vivienda debe cumplir con el requisito de proveer 168 litros de agua al día.

Por otro lado, se va a realizar el cálculo del consumo actual de la vivienda. El consumo de agua se realiza mediante la comunidad de vecinos, es decir, es comunitario. En el último ejercicio, 2022, el gasto del edificio en agua fue de 4620 €. Teniendo en cuenta que en el edificio existen 12 viviendas y 2 locales se puede suponer que el consumo de cada uno de ellos es de en torno a 330 euros anuales. Según [30], el precio del agua es de 1,47 € el metro cúbico en Madrid, por lo que el consumo anual se puede estimar a 224,5 metros cúbicos, haciendo que el consumo diario de la vivienda se estime a 615 litros al día.

Como se puede observar, el consumo de la vivienda estimado es mayor que el mínimo establecido por la normativa, por lo que se escoge este como referencia para el cálculo.

Para establecer la demanda energética que supone el ACS, se debe utilizar la ecuación:

$$Q_{ACS} = D_{ACS} \rho C_p (T_{ACS} - T_{red}) \quad (16)$$

Donde,

- D_{ACS} es la demanda de ACS
- ρ es la densidad del agua, la cual es de 1000 kg/m^3
- C_p es el calor específico del agua, con un valor de $4,18 \text{ kJ/kgK}$

- T_{USO} es la temperatura del ACS, es decir, 60°C
- T_{red} es la temperatura del agua de la red

La temperatura del agua de la red varía en función de la época del año y de la ciudad. Según [29], Madrid tiene el perfil de temperatura recogido en la Tabla 11:

Tabla 11. Temperatura agua red en Madrid

Mes	Temperatura agua de la red [$^{\circ}\text{C}$]
Enero	8
Febrero	8
Marzo	10
Abril	12
Mayo	14
Junio	17
Julio	20
Agosto	19
Septiembre	17
Octubre	13
Noviembre	10
Diciembre	8

Para diseñar el sistema, se va a escoger el mes en el que la demanda energética sea la mayor. Al ser únicamente la temperatura de red el parámetro que varía se va a escoger el mes en el que dicho parámetro sea el más bajo, es decir, Enero, Febrero o Diciembre.

La ecuación (16) da un resultado en kJ/día, por lo que es necesario utilizar la siguiente ecuación para transformar dicho valor en kW y obtener una aproximación de la potencia necesaria del equipo.

$$\dot{Q}_{ACS} = Q_{ACS} \left[\frac{kJ}{día} \right] \left(\frac{0,000278 kWh}{kJ} \right) \left(\frac{1 día}{24 horas} \right) \quad (17)$$

Con esta ecuación se obtiene que es necesario una potencia de 1,55 kW.

4.2.4 POTENCIA NECESARIA DEL EQUIPO

Una vez obtenidos los requisitos de potencia para cada una de las funciones del equipo de aerotermia, se puede establecer la potencia necesaria global de este. Los parámetros vienen recogidos en la tabla continuación.

Tabla 12. Resumen de potencia de equipo aerotérmico

	Transmisión	Ventilación	ACS	Total
Con aislamiento	4,41 kW	5,05 kW	1,55 kW	11,01 kW
Sin aislamiento	12,98 kW	5,05 kW	1,55 kW	19,58 kW

4.3 FOTVOLTAICA

En este apartado se va a estudiar la posibilidad de instalación de paneles solares fotovoltaico para la producción de electricidad en modo de autoconsumo. Primero se realizará un estudio

del recurso solar del emplazamiento y del potencial de este. Posteriormente se hará un dimensionado sencillo de los parámetros más importantes para poder luego introducirlos en un software y poder obtener así un estudio más completo.

4.3.1 RECURSO SOLAR

Teniendo en cuenta la localización de la vivienda en el centro de Madrid, se pueden obtener los datos del recurso solar con la herramienta PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), la cual es una herramienta que proporciona diferentes datos del recurso solar para una localización en concreto.

Como primera medida, se va a estudiar la irradiación en el plano horizontal, es decir, con una inclinación de los paneles de 0 grados. Con esa referencia se puede obtener la gráfica de la Figura 46:

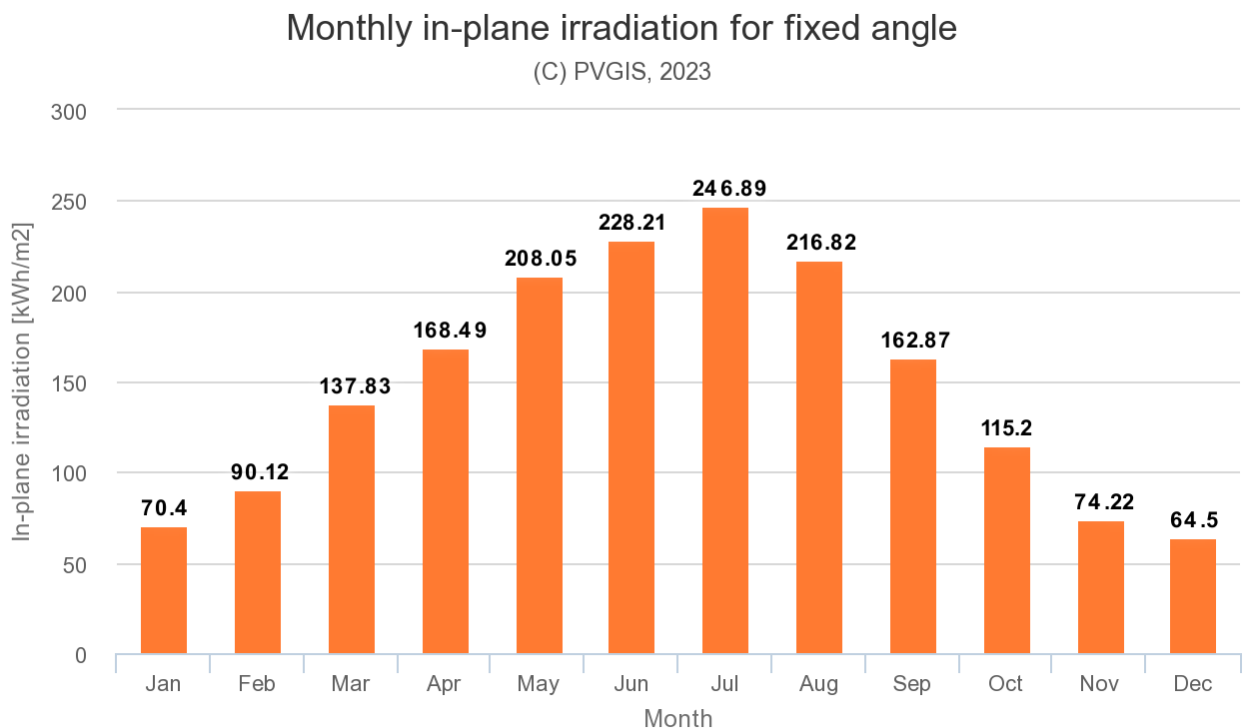


Figura 46. Irradiación mensual en plano horizontal en Madrid

Para obtener un valor aproximado diario, se dividen los valores anteriores entre el número de días del mes y se obtiene la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de irradiación en plano horizontal en Madrid

Mes	Irradiación diaria (kWh/m²/d)
Enero	2,27
Febrero	3,22
Marzo	4,45
Abril	5,62
Mayo	6,71
Junio	7,61
Julio	7,96
Agosto	6,99
Septiembre	5,43
Octubre	3,72
Noviembre	2,47
Diciembre	2,08

Como se puede observar en la Figura 23, Madrid tiene una irradiación elevada comparada con otras ciudades europeas, llegando a ser casi el doble comparado con algunas ciudades.

Esto demuestra que Madrid dispone de un gran recurso solar, haciendo cada vez más atractivo el autoconsumo fotovoltaico.

4.3.2 DIMENSIONADO DE LOS PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES

4.3.2.1 *Inclinación de los paneles*

Como primer parámetro, se ha de establecer la inclinación que tendrán los paneles solares. Esto es debido a que los paneles solares que van a instalarse no van a disponer de seguidores solares, por lo que no podrán cambiar su inclinación a lo largo del año, es decir, esta inclinación permanecerá constante los 12 meses del año.

Esto es relevante ya que la inclinación de los rayos solares varía a lo largo del año, siendo más vertical en los meses de verano (y por lo tanto necesitando una menor inclinación de los paneles para captar esa energía solar) y más horizontal en los meses de invierno (siendo necesaria una mayor inclinación de los paneles en dichos meses).

Para poder calcular de manera correcta la inclinación de los paneles solares fotovoltaicos, se pueden seguir varios métodos.

El primero de ellos es mirar las tablas y los datos propuestos por el IDAE en [31], del cual se puede extraer la Figura 47. En ella, el parámetro β_{opt} representa la inclinación óptima del panel y el parámetro ϕ representa la latitud a la que se encuentra el emplazamiento

Periodo de diseño	β_{opt}	$K = \frac{G_{dm}(\alpha=0, \beta_{opt})}{G_{dm}(0)}$
Diciembre	$\phi + 10$	1,7
Julio	$\phi - 20$	1
Anual	$\phi - 10$	1,15

Figura 47. Recomendaciones IDAE inclinación de paneles

Dado que la instalación no tendrá seguidores solares y por lo tanto la inclinación será constante a lo largo del año, habría que coger la siguiente fórmula:

$$\phi - 10 \quad (18)$$

Siendo la latitud del emplazamiento $40,42^\circ$, la inclinación para que el diseño sea óptimo de manera anual es de $30,42^\circ$.

Si bien este método es completamente válido, existe otro método que es más preciso y personalizado para cada instalación. Este método utiliza el criterio conocido como “el mes peor”. Este criterio, a grandes rasgos, busca establecer una comparativa entre el consumo del hogar y la irradiación del lugar, para establecer cuál es el mes en el que esta comparativa obtiene el peor resultado, y por lo tanto calcular la inclinación de los paneles solares en función a este parámetro. Por lo tanto, para utilizar este criterio se necesitan tanto el consumo por mes de la vivienda.

El consumo actual de la vivienda se puede obtener de la Figura 48. Estos valores de consumo eléctricos vienen recogidos en la primera columna de la Tabla 15.

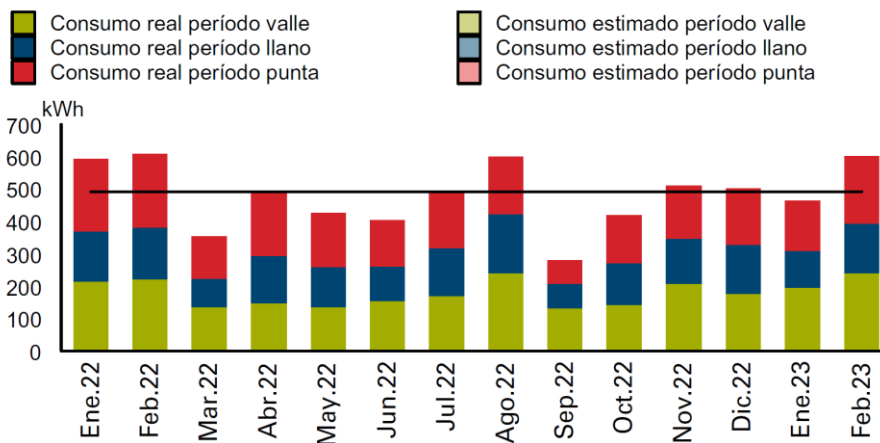


Figura 48. Consumo eléctrico actual de la vivienda

Siendo este el consumo actual de la vivienda se ha de tener en cuenta que este va a aumentar si se decide realizar la instalación del equipo de aerotermia, y dicho consumo no puede suponerse despreciable, por lo que es necesario realizar una estimación de cuál será el consumo del nuevo equipo y añadirlo al actual.

Tanto el consumo diario para la climatización de la vivienda como el consumo para la producción de ACS dependerá del mes del año, por lo tanto, en la tabla mostrada a continuación se puede ver dicho consumo desglosado.

Tabla 14. Consumo eléctrico del equipo aerotérmico

Mes	Consumo climatización [kWh/día]	Consumo ventilación [kWh/día]	Consumo producción ACS [kWh/día]
Enero	68,08	121,23	10,14
Febrero	62,78	121,23	10,14
Marzo	50,59	121,23	9,75
Abril	46,65	121,23	9,36
Mayo	28,89	121,23	8,97
Junio	16,47	121,23	8,39
Julio	16,86	121,23	7,80
Agosto	16,12	121,23	8,00
Septiembre	14,97	121,23	8,39
Octubre	27,16	121,23	9,17
Noviembre	50,92	121,23	9,75
Diciembre	65,56	121,23	10,14

Por último, se puede suponer que el consumo eléctrico para la ventilación de la vivienda será constante a lo largo del año, dado que el CTE no diferencia el número de ventilación en función de la estación del año.

Tabla 15. Nuevo consumo eléctrico de la vivienda

Mes	Consumo [kWh/mes]	Consumo diario sin aeroterminia [kWh/día]	Consumo aeroterminia [kWh/día]	Consumo total con aeroterminia [kWh/día]
Enero	615	19,84	199,45	219,29
Febrero	630	22,50	194,15	216,65
Marzo	375	12,10	181,58	193,68
Abril	500	16,67	177,24	193,91
Mayo	450	14,52	159,10	173,62
Junio	415	13,83	146,08	159,91
Julio	500	16,13	145,90	162,03
Agosto	605	19,52	145,34	164,86
Septiembre	300	10,00	144,59	154,59
Octubre	400	12,90	157,56	170,46
Noviembre	515	17,17	181,90	199,07
Diciembre	510	16,45	196,93	213,38

Obtenidos los consumos de la vivienda, se puede establecer y realizar el criterio del mes peor. Este criterio realiza la comparación entre los dos parámetros: recurso solar y consumo. Dicho valor relaciona el consumo de la vivienda y el recurso solar, por lo que un valor elevado del mismo indica un mes con mucho consumo y poco recurso solar. Por lo tanto, el ángulo de los paneles se diseñará en función al mes que este valor sea más elevado.

Tabla 16. Resultados del criterio del mes peor

Mes	Irradiación diaria (kWh/m²/d)	Consumo diario kWh/día	Relación
Enero	2,27	219,29	96,60
Febrero	3,22	216,65	67,28
Marzo	4,45	193,68	43,52
Abril	5,62	193,91	34,50
Mayo	6,71	173,62	25,87
Junio	7,61	159,91	21,01
Julio	7,96	162,03	20,36
Agosto	6,99	164,86	23,59
Septiembre	5,43	154,59	28,47
Octubre	3,72	170,46	45,82
Noviembre	2,47	199,07	80,60
Diciembre	2,08	213,38	102,59

Por lo tanto, se tiene que dimensionar en función del mes de diciembre. Para dimensionar los paneles en función del mes de diciembre, se tiene que obtener el ángulo de inclinación que hará que el valor de la energía obtenida sea la máxima. Como primera aproximación para el ángulo se puede usar la siguiente tabla:

Month	Autor	José Luis Sanmartin	José Luis Sanmartin
	Modelo de transposición	Pérez	Pérez
	Número de emplazamientos	917	123
	Latitudes	0 a 37°	0 a -37°
JAN.: $\beta_{T(m)}(N)=0.89\phi+29^\circ$	Enero	$\beta_{opt} = 0.85750 + 28.0699^\circ$	$\beta_{opt} = -0.88860 - 22.9256^\circ$
FEB.: $\beta_{T(m)}(N)=0.97\phi+17^\circ$	Febrero	$\beta_{opt} = 0.86490 + 19.1736^\circ$	$\beta_{opt} = -0.916540 - 12.8171^\circ$
MARCH: $\beta_{T(m)}(N)=\phi+4^\circ$	Marzo	$\beta_{opt} = 0.89900 + 5.2582^\circ$	$\beta_{opt} = -0.970730 + 0.74921^\circ$
APRIL: $\beta_{T(m)}(N)=\phi-10^\circ$	Abril	$\beta_{opt} = 0.90620 - 9.6269^\circ$	$\beta_{opt} = -0.981510 + 14.6908^\circ$
MAY: $\beta_{T(m)}(N)=0.93\phi-24^\circ$	Mayo	$\beta_{opt} = 0.43400 - 4.6798^\circ$	$\beta_{opt} = -0.881680 + 26.4253^\circ$
JUNE: $\beta_{T(m)}(N)=0.87\phi-34^\circ$	Junio	$\beta_{opt} = 0.60900 - 16.8332^\circ$	$\beta_{opt} = -0.884980 + 30.9128^\circ$
JULY: $\beta_{T(m)}(N)=0.89\phi-30^\circ$	Julio	$\beta_{opt} = 0.61470 - 11.8888^\circ$	$\beta_{opt} = -0.885740 + 28.5221^\circ$
AUG.: $\beta_{T(m)}(N)=0.97\phi-17^\circ$	Agosto	$\beta_{opt} = 0.91950 - 14.1454^\circ$	$\beta_{opt} = -0.92910 + 19.7574^\circ$
SEP.: $\beta_{T(m)}(N)=\phi-2^\circ$	Septiembre	$\beta_{opt} = 0.99660 - 3.0946^\circ$	$\beta_{opt} = -0.906070 + 7.3316^\circ$
OCT.: $\beta_{T(m)}(N)=\phi+12^\circ$	Octubre	$\beta_{opt} = 0.98530 + 11.953^\circ$	$\beta_{opt} = -0.848610 - 6.203^\circ$
NOV.: $\beta_{T(m)}(N)=0.93\phi+25^\circ$	Noviembre	$\beta_{opt} = 0.92610 + 24.1824^\circ$	$\beta_{opt} = -0.726960 - 15.3646^\circ$
DEC.: $\beta_{T(m)}(N)=0.87\phi+34^\circ$	Diciembre	$\beta_{opt} = 0.87930 + 30.1179^\circ$	$\beta_{opt} = -0.52270 - 14.4921^\circ$

Figura 49. Ángulo de inclinación en función del mes [32]

Teniendo en cuenta que la latitud es de 40,42° el ángulo inicial se puede aproximar a 65,67°, a partir de este dato inicial, se irá variando poco a poco hasta obtener el ángulo donde se aproveche el máximo recurso solar. En este caso el ángulo de inclinación de los paneles solares fotovoltaicos para optimizar el recurso solar en diciembre es de 68°.

Tabla 17, Valores de irradiación en función del ángulo

Latitud = 40,422	
Inclinación	Irradiación mensual (kWh/m ²)
65,67	119,4
67	119,46
68	119,48
69	119,44

Por tanto, el ángulo para usar el criterio del mes peor sería de 68 °.

Por último, también se puede utilizar la herramienta PVGIS, la cual calcula el ángulo que maximiza la producción de energía, en este caso, para que un panel maximice la energía producida a lo largo del año, su inclinación a de ser de 37°.

Por lo tanto, se han obtenido tres ángulos diferentes:

- Criterio IDAE: 30°
- Criterio del mes peor: 68°
- Optimización del software PVGIS: 37°

4.3.2.2 Ground coverage ratio (GCR)

Otro de los parámetros que se va a usar para el dimensionamiento de los paneles es el conocido como Ground Coverage Ratio. Este ratio da la relación entre la longitud del panel y la distancia de separación entre paneles como se puede ver en la ecuación (19) y en la Figura 50

$$GCR = \frac{L}{R} \quad (19)$$

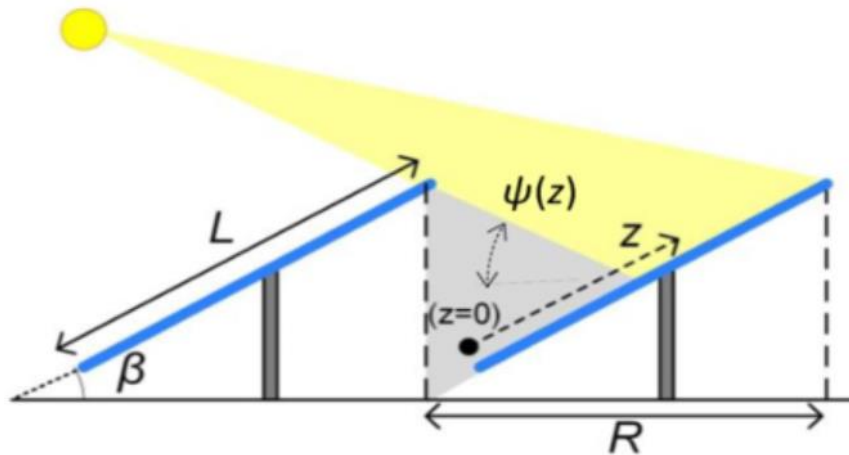


Figura 50. Ground Coverage Ratio [33]

Este parámetro será fundamental para reducir las pérdidas por sombreado de la instalación y para optimizar la utilización del suelo.

4.3.2.3 Dimensión de la instalación

Por último, otro parámetro muy importante para el correcto dimensionamiento de la instalación es como de grande y cuanto espacio se dispone para ella.

En este caso en concreto, la instalación se hará en la azotea del edificio. Dicha azotea no es “privada” y exclusiva de la vivienda, es decir, es un azotea compartida por las 14 residencias del edificio y, por lo tanto, no se puede hacer uso de la azotea por completo para la instalación.

Es por ello por lo que, para el estudio de la instalación, se decidió dividir, mediante la herramienta de sistemas de información geográfica ARCGis Pro, la superficie de la azotea en 14 partes iguales, como se puede ver en la Figura 51. De esa manera se puede hacer una aproximación de cuanta superficie le corresponde a cada vivienda y se puede estimar la

superficie que ocupará la instalación solar, dando una superficie aproximada de 27 metros cuadrados.

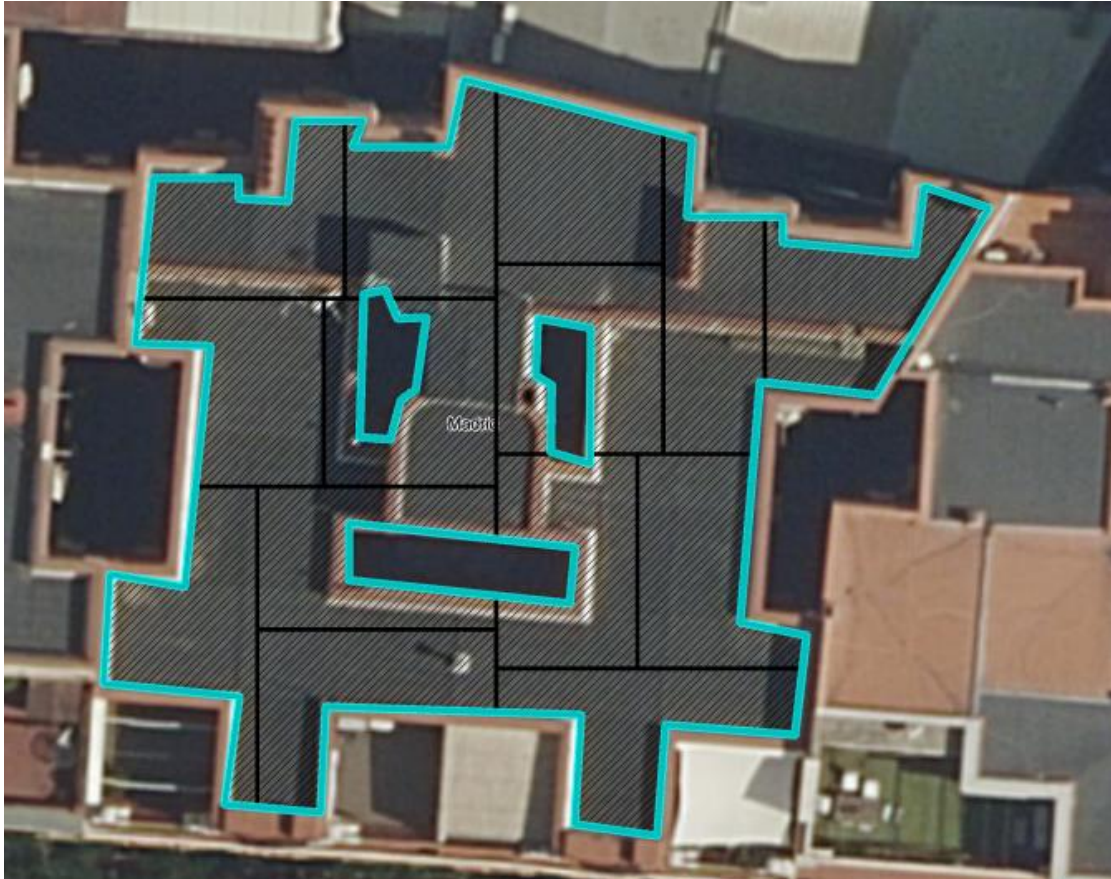


Figura 51. Partición de la azotea en 14 partes iguales

Con el objetivo de reducir las pérdidas por sombreado, no se va a coger exactamente las particiones propuestas por ARCGis Pro y se va a modificar un poco el emplazamiento de los paneles a los mostrados en la Figura 52 los cuales tendrán el mismo valor que la superficie propuesta por el programa:



Figura 52. Superficie utilizada para la instalación fotovoltaica

4.3.3 SOFTWARE UTILIZADO

Una vez hecho el dimensionamiento de los parámetros más importantes de los paneles se puede utilizar un software informático para obtener los resultados de la instalación propuesta. Para este estudio se optó por la utilización del software conocido como HelioScope.

Con dicho software se pueden “introducir” los parámetros discutidos anteriormente (inclinación de los paneles, GCR y superficie) además de otros como paneles elegidos por ejemplo y el propio programa calculará los parámetros más relevantes como el output de energía.

Como se ha visto en el apartado anterior, algunos de los parámetros, como por ejemplo la inclinación, no son parámetros fijos, si no que existen diferentes alternativas dependiendo

del criterio que se quiera escoger. Algo similar ocurre con el GCR. Debido a la flexibilidad y potencia de este software, se decidió realizar varios estudios preliminares en los cuales se modifican los parámetros de inclinación y GCR. Esto se debe a que realizar un estudio en profundidad de todas las posibilidades es algo que llevaría mucho tiempo y sería muy poco efectivo, por ello se realiza un estudio preliminar en el que se evaluarán solo algunos parámetros y se escogerá la opción que resulte más interesante para el proyecto. Las combinaciones que se realizaron se pueden ver en la Tabla 18.

Tabla 18. Alternativas propuestas

Inclinación	GCR
30	0,5
	0,75
	1
	1,15
37	0,5
	0,75
	1
	1,25
68	0,75
	1
	1,5
	2
	2,64

Los resultados que van a comparar para este estudio preliminar son:

- La cantidad de energía producida en un año en MWh
- El Performance Ratio (PR) de la instalación
- El ratio Wh/Wp
- El ratio kWh/m²
- El ratio kWp/m²

Los resultados se pueden ver en la Tabla 19.

Con el objetivo de hacer una comparación más justa, se propuso, en lugar de hacer comparaciones con los valores absolutos, hacer comparaciones con valores relativos. La lógica para obtener los parámetros relativos consiste en comparar el parámetro obtenido para una inclinación y CGR concreta y dividirlo por el máximo valor del parámetro de todas las simulaciones. Cogiendo la energía producida como ejemplo:

$$E_{relativa} = \frac{E_{producida}}{E_{max\ producida}} \quad (20)$$

Con ello se puede obtener la Tabla 20.

Tabla 19. Valores absolutos de las alternativas planteadas

Inclinación	GCR	P. instalada [kWp]	Energía [MWh]	Performance Ratio	Wh/Wp	kWh/m ²	W/m ²
30	0,5	1,86	2,37	70,90%	1273,4	85,606	67,184
30	0,75	2,79	3,4	67,80%	1217,1	122,810	100,776
30	1	3,72	4,19	62,70%	1125,8	151,345	134,368
30	1,15	4,65	4,85	58,10%	1042,7	175,184	167,960
37	0,5	1,86	2,34	69,90%	1257	84,522	67,184
37	0,75	3,26	3,85	65,70%	1181,6	139,064	117,753
37	1	4,19	4,54	60,30%	1084,4	163,987	151,345
37	1,25	5,12	4,86	52,90%	951,1	175,546	184,937
68	0,75	3,72	4,01	69,10%	1078,5	144,843	134,368
68	1	5,58	5,52	63,40%	989,5	199,385	201,552
68	1,5	7,44	5,93	51,10%	797,7	214,195	268,737
68	2	9,3	5,78	39,80%	621,1	208,777	335,921
68	2,64	11,2	5,11	29,40%	458,1	184,576	404,550

Tabla 20. Valores relativos de las alternativas planteadas

Inclinación	GCR	P.instalada [kWp]	Energía [MWh]	Performanc Ratio	Wh/Wp	kWh/m²	W/m²
30	0,5	0,1661	0,3997	1,0000	1,0000	0,3997	0,1661
30	0,75	0,2491	0,5734	0,9563	0,9558	0,5734	0,2491
30	1	0,3321	0,7066	0,8843	0,8841	0,7066	0,3321
30	1,15	0,4152	0,8179	0,8195	0,8188	0,8179	0,4152
37	0,5	0,1661	0,3946	0,9859	0,9871	0,3946	0,1661
37	0,75	0,2911	0,6492	0,9267	0,9279	0,6492	0,2911
37	1	0,3741	0,7656	0,8505	0,8516	0,7656	0,3741
37	1,25	0,4571	0,8196	0,7461	0,7469	0,8196	0,4571
68	0,75	0,3321	0,6762	0,9746	0,8469	0,6762	0,3321
68	1	0,4982	0,9309	0,8942	0,7771	0,9309	0,4982
68	1,5	0,6643	1,0000	0,7207	0,6264	1,0000	0,6643
68	2	0,8304	0,9747	0,5614	0,4877	0,9747	0,8304
68	2,64	1,0000	0,8617	0,4147	0,3597	0,8617	1,0000

Una vez obtenidos los parámetros relativos, se hace necesario establecer los criterios para comparar las distintas alternativas. Con este objetivo en mente, se decidió establecer un sistema de puntuación basado en la ecuación (21).

$$P = E \cdot 0,7 + PR \cdot 0,1 + R_1 \cdot 0,1 + R_2 \cdot 0,05 + R_3 \cdot 0,05 \quad (21)$$

Donde,

- E es la energía producida, en términos relativos
- PR es el Performance Ratio, en términos relativos
- R1 es Wh/Wp de cada instalación, en términos relativos
- R2 es kWh/m2, en términos relativos
- R3 es Wp/m2, en términos relativos

Por último, se puede completar dicho sistema de puntuación teniendo en cuenta también el coste que tendría la instalación. De manera aproximada, ya que el coste se hará con más detalle en apartados posteriores, se puede estimar el coste de una instalación como 1,5 €/W instalado. Por lo tanto, se pueden resumir las opciones en la siguiente tabla:

Tabla 21. Aproximación del precio de las alternativas

Inclinación	GCR	Precio	Porcentaje respecto al máximo
30	0,5	2790	0,166
30	0,75	4185	0,249
30	1	5580	0,336
30	1,15	6975	0,415

37	0,5	2790	0,166
37	0,75	4890	0,291
37	1	6285	0,374
37	1,25	7680	0,457
68	0,75	5580	0,332
68	1	8370	0,498
68	1,5	11160	0,664
68	2	13950	0,830
68	2,64	16800	1

Por último, se puede completar la puntuación de la ecuación (22) de la siguiente manera:

$$P_2 = \frac{P}{\sqrt{\text{Precio}}} \quad (22)$$

Donde

- P2 es la nueva puntuación
- P es la puntuación dada por (21)
- Precio es el precio relativo de cada proyecto

Por lo tanto, una vez establecido el método de puntuación, se pueden observar los resultados obtenidos en la Tabla 22.

Tabla 22. Puntuación de las alternativas

Inclinación	GCR	Puntuación
30	0,5	1,247
30	0,75	1,270
30	1	1,255
30	1,15	1,238
37	0,5	1,231
37	0,75	1,273
37	1	1,248
37	1,25	1,164
68	0,75	1,225
68	1	1,261
68	1,5	1,126
68	2	0,963
68	2,64	0,774

De dicha tabla se obtiene que la alternativa que mayor potencial presenta es la combinación de un ángulo de inclinación de 37° y un GCR de 0,75.

Una vez elegida la alternativa que se considera la mejor, se pueden realizar algunas modificaciones que se adapten mejor al estudio realizado. Por ejemplo, se decidió realizar un cambio de inversor con el objetivo de reducir pérdidas eléctricas.

4.3.4 RESULTADOS

Una vez elegida la alternativa que se considera que más beneficia a la vivienda, se pueden estudiar los resultados, pero antes de entrar al detalle sobre ellos, cabe mencionar que se realizaron algunas modificaciones en el proyecto, por ejemplo, se cambió el modelo de inversor, con el objetivo de obtener un Factor de Dimensionado del Inversor más próximo a 1, y así aprovechar todo el potencial de esta alternativa.

También se introdujeron los modelos tanto de los paneles como de los inversores que habrá en la instalación, los cuales serán necesarios para el posterior estudio económico que se hará:

- Paneles solares fotovoltaicos: AS-6M144-HC-465 W (Amerisolar)
- Inversores YC500i (APS)

Uno de los resultados más importantes que se debe analizar es la energía producida por la instalación a lo largo del año. Dicho parámetro se puede ver en la y asciende a un total de producida 4564 MWh.

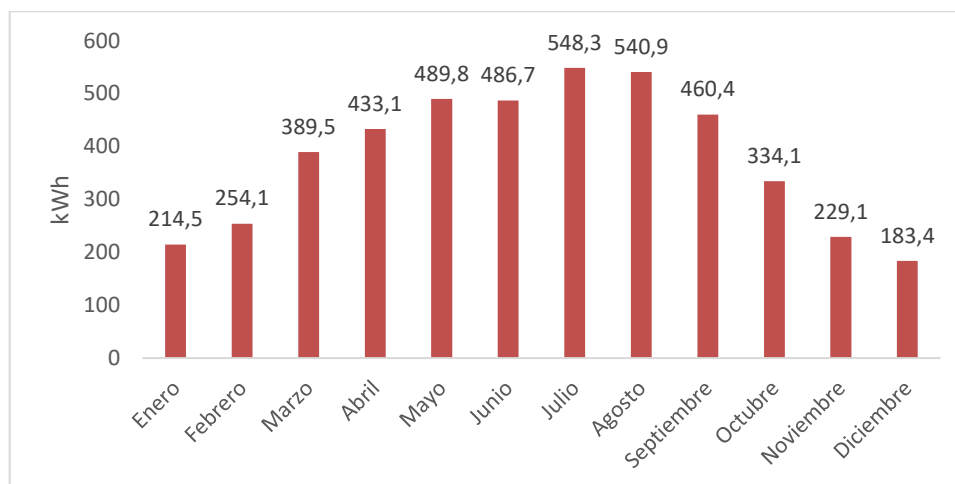


Figura 53. Gráfica de la producción eléctrica

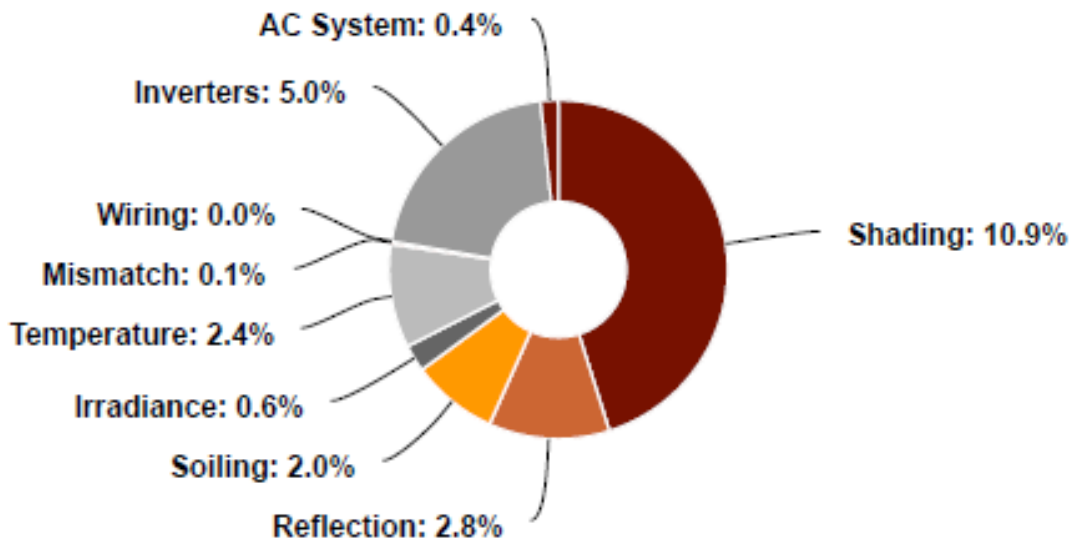


Figura 54. Origen de las pérdidas de la instalación fotovoltaica

El software es también capaz de establecer cuáles serán las causas de las pérdidas del sistema. En el caso de la instalación creada, una gran parte de estas pérdidas, en torno a un 45% relativo, vendrán por el sombreado de los paneles, y esto es debido en gran parte al CGR escogido. Otras pérdidas vienen dadas por la temperatura, el reflejo o la suciedad de los paneles.

Resumiendo, los resultados más interesantes del proyecto son los recogidos en Tabla 23.

Tabla 23. Resultados de la simulación

Potencia	Energía producida	Performance Ratio	Numero de paneles	Numero de inversores	Longitud de cableado
3,26	4564 MWh	78%	7	7	24 m

Capítulo 5. PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

Una vez estudiados los parámetros técnicos, se va a estudiar los parámetros económicos del proyecto, es decir, se va a estudiar si la instalación de las distintas opciones es viablemente rentable. Se estudiarán los resultados como el Valor Actual Neto (VAN) o el periodo de retorno para ver si las inversiones necesarias para cada proyecto son rentables y atractivas económicamente.

5.1.1 ESTUDIO DEL AISLAMIENTO

Para poder realizar el estudio económico del aislamiento, primero se ha de establecer la inversión inicial necesaria. Se establecen dos tipos de gastos: materia prima y mano de obra. Dichos gastos se pueden ver resumidos en la Tabla 24:

Tabla 24. Gastos de la inversión inicial del aislamiento

Componente	Cantidad	Precio por unidad	Precio (€)
Material Aislante	176 paneles	27,32 €/panel [34]	4999,56
Ventanas climalit	18	600 €/ventana	10800
Mano de obra	32 h	60 €/h	1920
Mano de obra	32 h	45 €/h	1440

Siendo la inversión inicial de 19.159,56 euros.

Para poder estudiar parámetros económicos como el Valor Actual Neto (VAN) o la Tasa Interna de Retorno (TIR), se ha de establecer los flujos de caja que esta inversión tendrá en el futuro. Para ello se debe comprender que este proyecto o inversión no generará flujos de caja directos, si no que contribuirá al ahorro disminuyendo el uso de la caldera y el aire acondicionado.

Primero se debe establecer cuál ha sido la mejora gracias al nuevo aislamiento. Para ello se utilizan tanto los datos de la Tabla 7, Tabla 4 y ecuación (1). Con los datos de la transmitancia térmica, la superficie y la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de la vivienda se puede establecer la transmisión de calor entre el interior y el exterior de la vivienda para cada una de las horas del mes y del año tipo. Sumando los 24 periodos de un día y multiplicando por el número de días de cada uno de los meses, se puede estimar la transmisión de calor que hay cada uno de los meses y la cual será necesaria compensar mediante calefacción y aire acondicionado. Por último, se resta la transmisión de calor que había antes de realizar el aislamiento con la nueva transmisión de calor con el aislamiento instalado y se obtiene la cantidad de calor que se ahorra mes a mes gracias al proyecto, la cual viene recogida en la Tabla 25.

Tabla 25. Cantidad de calor y aire acondicionado ahorrado en kWh mes a mes gracias al asilamiento

	Sin asilamiento		Con asilamiento		Diferencia	
	Calefacción	AC	Calefacción	AC	Diferencia de calefacción	Diferencia de AC
Enero	-8598,1	0,0	-2110,5	0,0	-6487,6	0,0
Febrero	-7161,0	0,0	-1757,8	0,0	-5403,3	0,0
Marzo	-6389,7	0,0	-1568,4	0,0	-4821,2	0,0
Abril	-5701,6	0,0	-1399,5	0,0	-4302,1	0,0
Mayo	-3649,2	0,0	-895,7	0,0	-2753,4	0,0
Junio	-1521,7	490,7	-373,5	120,5	-1148,2	370,3
Julio	-645,0	1484,8	-158,3	364,5	-486,7	1120,3
Agosto	-726,3	1309,0	-178,3	321,3	-548,0	987,7
Septiembre	-1220,6	609,1	-299,6	149,5	-921,0	459,6
Octubre	-3430,4	0,0	-842,0	0,0	-2588,4	0,0
Noviembre	-6223,2	0,0	-1527,6	0,0	-4695,7	0,0
Diciembre	-8279,5	0,0	-2032,3	0,0	-6247,2	0,0

Este es el calor que no será necesario compensar, siendo por lo tanto los ahorros que generará el nuevo asilamiento. Aunque bien es cierto que esto sería si el aire acondicionado o calefacción actuaran constantemente cada vez que hay una mínima diferencia de temperatura

entre interior y exterior. Como esto no es cierto, se puede estimar que los equipos de climatización operan en torno a un tercio del tiempo, por lo que los calores “ahorrados” en la Tabla 26 deberían resultar los siguientes:

Tabla 26. Cantidad de calor ahorrado mes a mes gracias al asilamiento (ajustado)

Mes	Calefacción ahorrada	AC ahorrado
Enero	-2162,5	0,0
Febrero	-1801,1	0,0
Marzo	-1607,1	0,0
Abril	-1434,0	0,0
Mayo	-917,8	0,0
Junio	-382,7	123,4
Julio	-162,2	373,4
Agosto	-182,7	329,2
Septiembre	-307,0	153,2
Octubre	-862,8	0,0
Noviembre	-1565,2	0,0
Diciembre	-2082,4	0,0

Una vez establecidos los calores ahorrados, se pueden establecer los flujos de caja que estos calores supondrán. Para ello, se debe estimar el precio del gasoil y cómo evolucionará este a lo largo de los años.

Debido a la volatilidad del mercado del gas, es muy difícil estimar la evolución futura de los precios de este combustible fósil. Es por ello por lo que la manera de estimar el precio de este fue tomar la evolución de los precios del gas en los últimos dos años y calcular su valor medio, siendo este de 109,67 €/MWh [35]. Pero este es el precio medio ofrecido por MIBGAS y en la factura final de la vivienda será un poco más elevado. Por ello, se decidió tomar como referencia una factura de gas de la vivienda la cual ascendía a 76,44 € el MWh, en el periodo desde el 15 de Diciembre de 2022 hasta el 10 de Febrero de 2023. Si se compara este precio con el precio medio establecido por MIBGAS (67,38 € el MWh) se puede estimar que existe un factor de en torno a 1,135 entre la factura de gas y los precios establecidos por el MIBGAS, por lo que el precio medio calculado anteriormente se debe actualizar a 124,43 €/MWh.

Se toma este valor como referencia y se ajusta su futuro valor multiplicando año a año el precio del año anterior por el IPC promedio de los últimos 20 años, el cual se encuentra en torno al 2,198%. [36]

Con estas estimaciones y datos se puede cuantificar de manera monetaria los ahorros generados por el aislamiento y realizar los estudios económicos pertinentes. Los flujos se pueden ver de manera resumida en la Figura 55. También se puede ver en la Figura 55 que para el año 10 se ha llegado al punto donde ya se ha pagado la inversión y se está empezando a “generar” dinero. Esto resulta destacable, ya que teniendo en cuenta que este tipo de instalaciones suelen tener una vida muy prolongada, la instalación de este proyecto reportará ahorros durante un muy largo periodo de tiempo, haciendo que sea posible utilizar dichos ahorros (flujos de caja positivos) en tratar de mejorar otros aspectos o instalar otros proyectos como la aerotermia o los paneles solares fotovoltaicos para el autoconsumo.

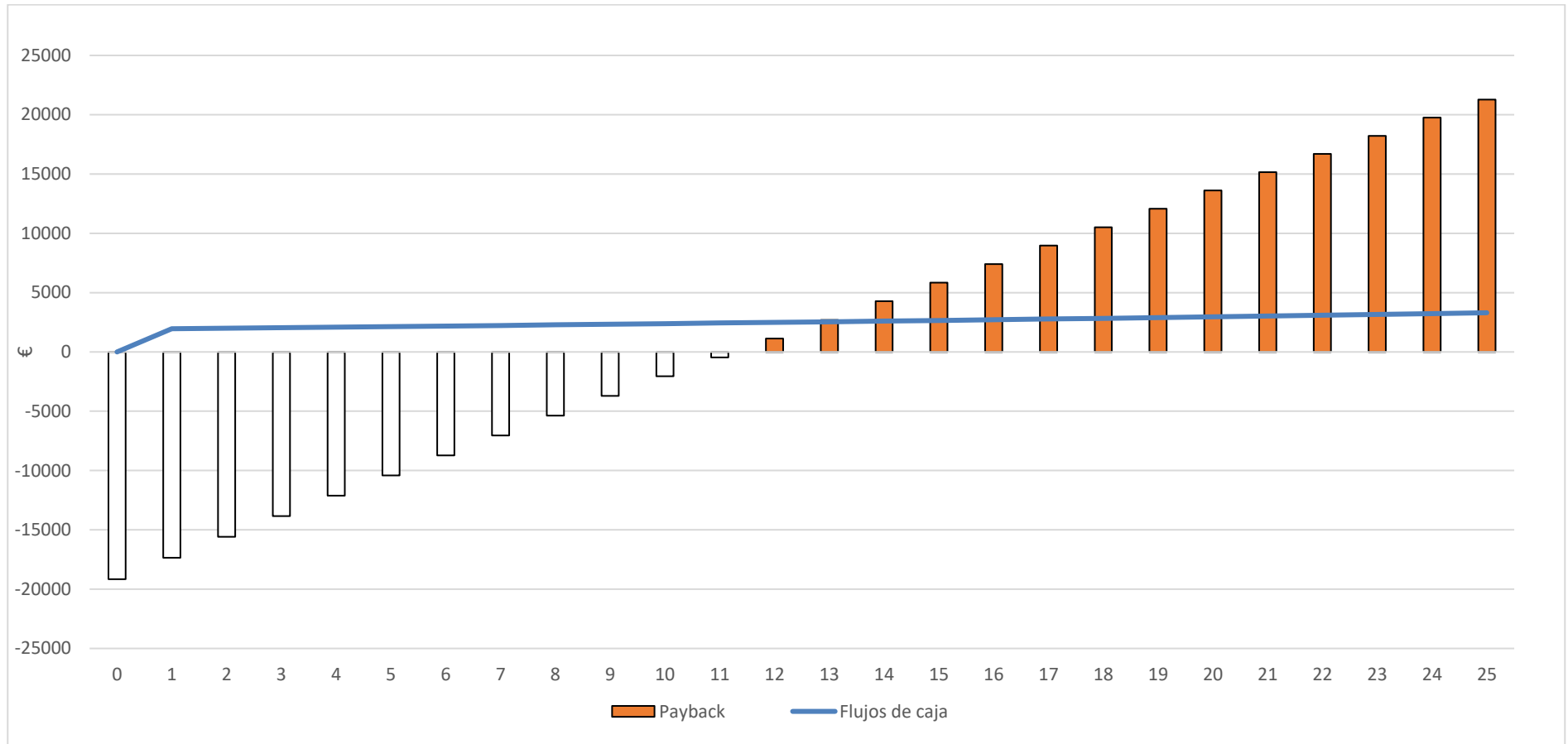


Figura 55. Flujos de caja y Payback de aislamiento

Por último, el proyecto tiene un VAN de 21.277,63 euros y una TIR del 10%, lo que lo hace viable e interesante desde el punto de vista económico. Todo ello teniendo en cuenta que solo se está estudiando durante un periodo de 25 años, que en realidad este podría ampliarse hasta un periodo de 40 o 50 años, y teniendo en cuenta que a partir del año 11 ya se ha recuperado la inversión, el VAN y la TIR aumentarían mucho, aunque debido a la gran incertidumbre se ha decidido centrare únicamente en un horizonte de tiempo que sería similar a los proyectos de aerotermia y fotovoltaica.

5.1.2 ESTUDIO DEL EQUIPO AEROTÉRMICO

En este caso, se van a hacer dos estudios diferenciados. El primero únicamente estudiará que impacto tiene la instalación del equipo aerotérmico, sin tener en cuenta los efectos de la instalación del aislamiento. Es decir, se supondrá que solo se lleva a cabo el proyecto de aerotermia. El segundo estudio se hará en conjunto con la instalación del nuevo aislamiento. Se hace de esta manera ya que la cantidad de calor a compensar por las distintas opciones será distinta, y por tanto sus flujos de caja también.

5.1.2.1 Aerotermia sin aislamiento

La inversión inicial de este proyecto viene desglosada en la Tabla 27.

Tabla 27. Inversión inicial de aerotermia sin aislamiento

Componente	Cantidad	Precio por unidad	Precio
Radiadores	16	362,42	5798,72
Bomba de calor	1	7736,97	7736,97
Acumulador	1	1558,06	1558,06
Mano de obra	160	140 €/h	22400

Haciendo que la inversión inicial ascienda a 37.493,75 euros.

Para estudiar los futuros flujos de caja que esta inversión tendrá, estos se deben ver como los ahorros anuales que generará el cambio de una caldera de gasoil a un equipo de aerotermia, el cual usa electricidad. En la Tabla 26, se puede observar la cantidad de calor necesaria a compensar mes a mes para climatizar la vivienda, ya sea cantidad de calor necesario a aportar (calefacción) o cantidad a extraer (refrigeración). El ahorro, como se ha mencionado antes, vendrá dado por el cambio de combustible (de gasoil a electricidad) y por la diferencia de rendimientos de los equipos. Para ello es necesario tener en cuenta varias cosas:

- La demanda calculada anteriormente es demanda térmica. Si bien esto sirve para hacer cálculos con la caldera de gasoil, (únicamente se debería tener en cuenta el rendimiento de esta) para los equipos aerotérmicos esto no sirve ya que se trabaja con electricidad. Por lo tanto, es necesario la utilización de COP, que en este caso es de 5.
- De manera similar al aislamiento los valores de la Tabla 28 muestran valores para cada hora siempre que haya una diferencia de temperatura, pero como esto no es así, se va a suponer que los equipos de climatización se usan un tercio del tiempo.

Con ello se puede estimar la demanda térmica de la caldera y la demanda eléctrica del equipo aerotérmico, resumidos en la Tabla 28.

Por último, teniendo en cuenta la estimaciones para la evolución del precio del gasoil, comentadas en el apartado 5.1.1 y las estimaciones de los precios de electricidad comentados en el apartado 5.1.3 se puede realizar el estudio de los futuros flujos de caja. Para estudiar los flujos de caja, se va a usar la siguiente ecuación:

$$F_t = \frac{Q_i \cdot P_t - E_i \cdot L_t}{(1 + r)^t} \quad (23)$$

Donde,

- F_t es el flujo de caja del año t

- Q_i es la demanda de calor de la caldera del mes i
- P_t , es el precio del gasoil ajustado al año t
- E_i es la demanda de electricidad del equipo aerotérmico en el mes i
- L_t es el precio de electricidad del año t
- r es la tasa de descuento utilizada (un 2,5%)

Tabla 28. Energía necesaria de la caldera y equipo aerotérmico

Mes	Calor caldera [kWh]	Electricidad equipo aerotérmico [kWh]
Enero	3184,49	573,21
Febrero	2652,24	477,40
Marzo	2366,54	425,98
Abril	2111,72	380,11
Mayo	1351,55	243,28
Junio	563,61	101,45
Julio	238,90	43,00
Agosto	269,00	48,42
Septiembre	452,08	81,37
Octubre	1270,52	228,69
Noviembre	2304,90	414,88
Diciembre	3066,50	551,97

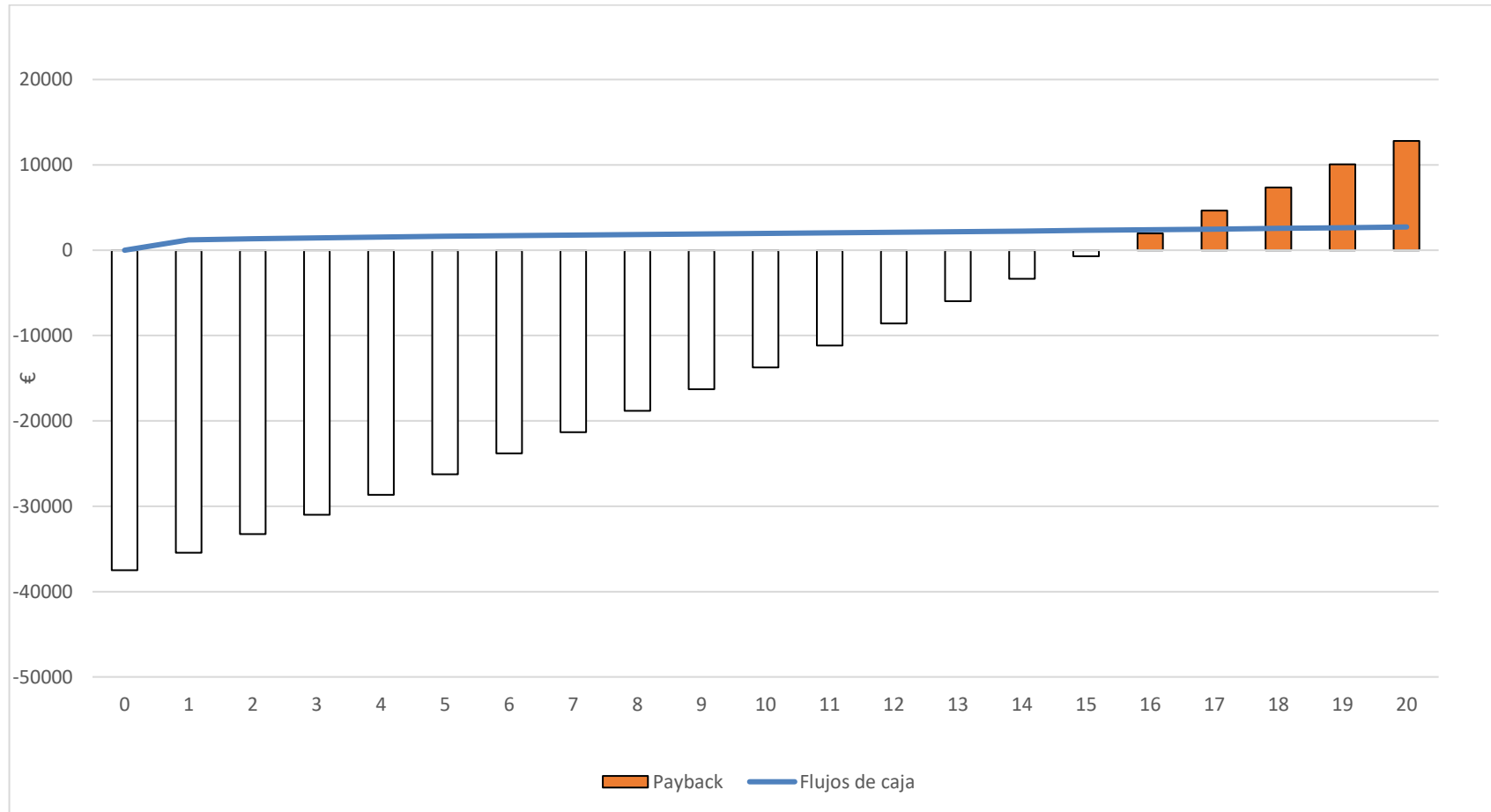


Figura 56. Flujos de caja y Payback de aerotermia sin aislamiento

En este caso la inversión no se recuperaría hasta el año 16, haciendo que el proyecto solo genere beneficios durante cuatro años. Esto es debido al elevado coste inicial de la instalación, y en gran parte a las estimaciones propuestas para la evolución de los precios del gas y de la electricidad. Es decir, si el mercado del gas y el mercado de la electricidad evolucionan de manera diferente al propuesto, los ahorros generados variarán pudiendo ser mayores o menores y rentabilizando en mayor o menor medida el proyecto.

Por lo tanto, con las estimaciones realizadas, el VAN asciende a 12.793,75 euros y la TIR es de 1%, haciendo el proyecto no sea interesante desde el punto de vista económico, ya que la TIR es menor que la tasa escogida del 2,5%.

5.1.2.2 Aerotermia con aislamiento

La lógica de este apartado es idéntica al apartado anterior, pero en este caso, debido al aislamiento, las pérdidas de calor son menores.

Como punto de partida se debe estudiar la inversión inicial, la cual variará con respecto al apartado anterior, ya que la bomba de calor necesaria es de menor potencia. Los gastos iniciales se recogen en la Tabla 29

Tabla 29. Inversión inicial de aerotermia con aislamiento

Componente	Cantidad	Precio por unidad	Precio
Radiadores	16	362,42	5798,72
Bomba de calor	1	4449	4449
Acumulador	1	1558,06	1558,06
Mano de obra	160	140	22400

Haciendo que la inversión inicial ascienda a 34.205,78 euros.

De manera similar a la Tabla 28, la demanda de la caldera y del equipo de aerotermia se recogen en la Tabla 30.

Tabla 30. Energía necesaria de la caldera y equipo aerotérmico (con aislamiento)

Mes	Calor caldera [kWh]	Electricidad equipo aerotérmico [kWh]
Enero	-781,67	-140,70
Febrero	-720,78	-129,74
Marzo	-580,90	-104,56
Abril	-535,63	-96,41
Mayo	-331,75	-59,72
Junio	-96,86	-17,43
Julio	76,34	13,74
Agosto	52,97	9,53
Septiembre	-57,45	-10,34
Octubre	-311,87	-56,14
Noviembre	-584,63	-105,23
Diciembre	-752,71	-135,49

De esta manera y con los parámetros ya estimados de la evolución del gasoil y de la electricidad, y con la ecuación (23), planteada en el apartado anterior, se puede realizar las estimaciones económicas necesarias del proyecto.

En la Figura 57 se pueden ver tanto los futuros flujos de caja como el periodo de recuperación de la inversión.

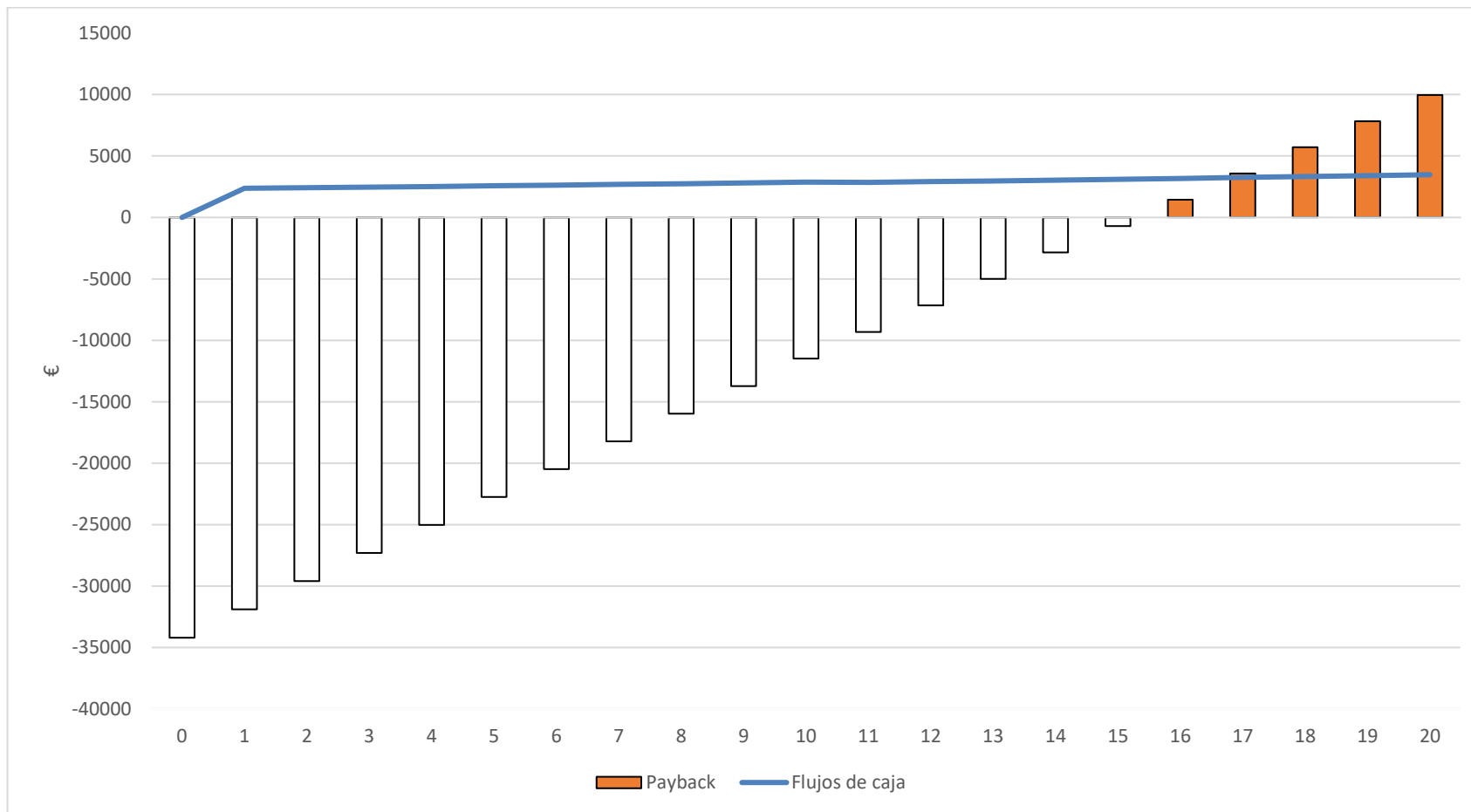


Figura 57. Flujos de caja y Payback de aerotermia con aislamiento

Como se puede ver, el periodo de retorno de la inversión en este caso sería de en torno a los 15 años. Un periodo que se puede considerar elevado, ya que los proyectos de aerotermia suelen estimarse de una duración cercana a 20 años, por lo tanto, el proyecto únicamente genera valor durante 5 años. Por otro lado, el VAN del proyecto asciende a 9.952,05 euros y la TIR de 6%, haciendo el proyecto viable e interesante desde el punto de vista económico.

En este caso, si se compara la inversión con su homóloga, esto es, la inversión de aerotermia sin aislamiento se puede ver que el VAN es menor en este caso, cosa que puede resultar contra intuitivo. Pero esto se debe a la manera en la que se han cuantificado los flujos de caja, ya que estos se han cuantificado como ahorros generado, y este proyecto los ahorros generados serían menores, ya que la cantidad de calor necesaria para climatizar la casa sería menor debido a la actuación del aislamiento, haciendo por lo tanto que el VAN ascienda a un valor inferior. Pero esto también tiene un aspecto positivo, y es que el proyecto tiene una incertidumbre mucho menor. Debido a que el calor ahorrado es menor, los precios tanto de la electricidad como del gas afectan en menor medida al proyecto, haciendo que su incertidumbre se vea reducida, y esto se puede ver en la TIR, que en este caso es mayor que la tasa interna escogida, a diferencia de la instalación de la aerotermia sin aislamiento.

5.1.3 ESTUDIO FOTOVOLTAICO

Una vez calculada la producción del equipo fotovoltaico a instalar, la cual se puede ver en la Figura 53 se pueden estudiar los futuros flujos de caja de la instalación, así como el coste inicial de inversión para llevar a cabo la instalación del equipo, pudiendo de esta manera estudiar la rentabilidad del proyecto.

Los costes iniciales de la instalación se pueden ver reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 31. Gastos de la inversión inicial fotovoltaica

Componente	Cantidad	Precio por unidad	Gasto total (€)
Paneles	3260 kW	0,191 €/kW [37]	622,66
Inversor	7	160 €/inv [38]	1120
Cable	24 m	5,05 €/m [33]	121,2
Regulador	1	824,89 €/reg [33]	824,89
Mano de obra	40 h	35 €/h	1400
Mano de obra	40 h	50 €/h	2000

Sumando los diferentes parámetros, se obtiene una inversión inicial de un total de 6.088,75 euros.

En cuanto a los futuros flujos de caja estos vendrán únicamente del ahorro por no comprar la electricidad generada por los paneles a la compañía eléctrica, ya que no habrá vertido de energía a la red. Por lo tanto, para poder estudiar este ahorro, es necesario estudiar el precio de la electricidad en el futuro. Según [39], la electricidad seguirá la evolución de la Tabla 32.

Tabla 32. Evolución del precio de la electricidad en mercado mayorista

Año	Precio (€/MWh)
2024	92,5
2025	76
2026	68
2027	60
2028	52
2029	47,7
2030	46,5
2031	45,35
2032	44,35
2033	44,25

Pero se ha de tener en cuenta que este el precio de venta mayorista, el cual no es representativo del ahorro real de la factura, ya que este no es el precio al que la vivienda está pagando su electricidad. Para ello se decidió realizar la comparación del precio de electricidad mayorista con la factura de electricidad de la vivienda para un determinado período. Se escogió el periodo que abarca desde el 1 de enero de 2023 hasta el 5 de febrero de 2023. Durante ese periodo, el precio medio de venta de electricidad mayorista fue de 78,86 euros el megavatio hora, en cambio el precio facturado a la vivienda fue de 153,23 euros el megavatio hora. Esto quiere decir que hay una relación de en torno a 1,943 entre el

precio mayorista y el precio pagado por la vivienda, por lo tanto, se puede modificar la tabla anterior a la siguiente:

Tabla 33. Evolución del precio de la factura de electricidad

Año	Precio (€/MWh)
2024	179,73
2025	147,67
2026	132,13
2027	116,58
2028	101,04
2029	92,68
2030	90,35
2031	88,12
2032	86,17
2033	85,98

Una vez establecidos los precios y la energía generada, se pueden establecer los flujos de caja del proyecto fotovoltaico. Una instalación fotovoltaica tiene una vida estimada de entorno a 25 años [40]. Por simplicidad e incertidumbre (no se tiene seguridad de como evolucionarán los precios de electricidad a partir del horizonte 2033) se muestran únicamente los flujos de caja de los 10 primeros años. Del año 10 al 25, se estima que el

precio de electricidad no varía y que por lo tanto los flujos de caja serán iguales a los de 2033. Se estima un gasto anual de mantenimiento de la instalación de 60 euros.

A partir del año 2033, se suponen todos los flujos de caja iguales. Con los datos estimados en el apartado, se puede hacer la Figura 58.

Dicha gráfica indica que hasta el año 2045 no se recupera la inversión inicial y que se empiezan a generar “ingresos” a partir del año 22, es decir que únicamente se empieza a generar dinero durante cuatro años, haciendo que el VAN del proyecto fotovoltaico ascienda a 593,8 € y una TIR del 5%. Si bien el proyecto es económicamente viable, e incluso atractivo ya que los dos parámetros estudiados devuelven valores positivos, se puede ver que, si se compara con las otras inversiones, esta no es tan rentable como puede ser la aerotermia o la mejora del aislamiento.

De manera similar a la aerotermia, esta inversión depende fuertemente de cómo evolucione el precio de la electricidad en el sector eléctrico. Es decir, si el precio evoluciona a la baja y acaba teniendo valores bajos, instalaciones como estas no serán tan rentables, pero si por otro lado la Transición energética reduce su evolución y sigue habiendo elevados precios de electricidad, la rentabilidad de este proyecto aumentará con creces.

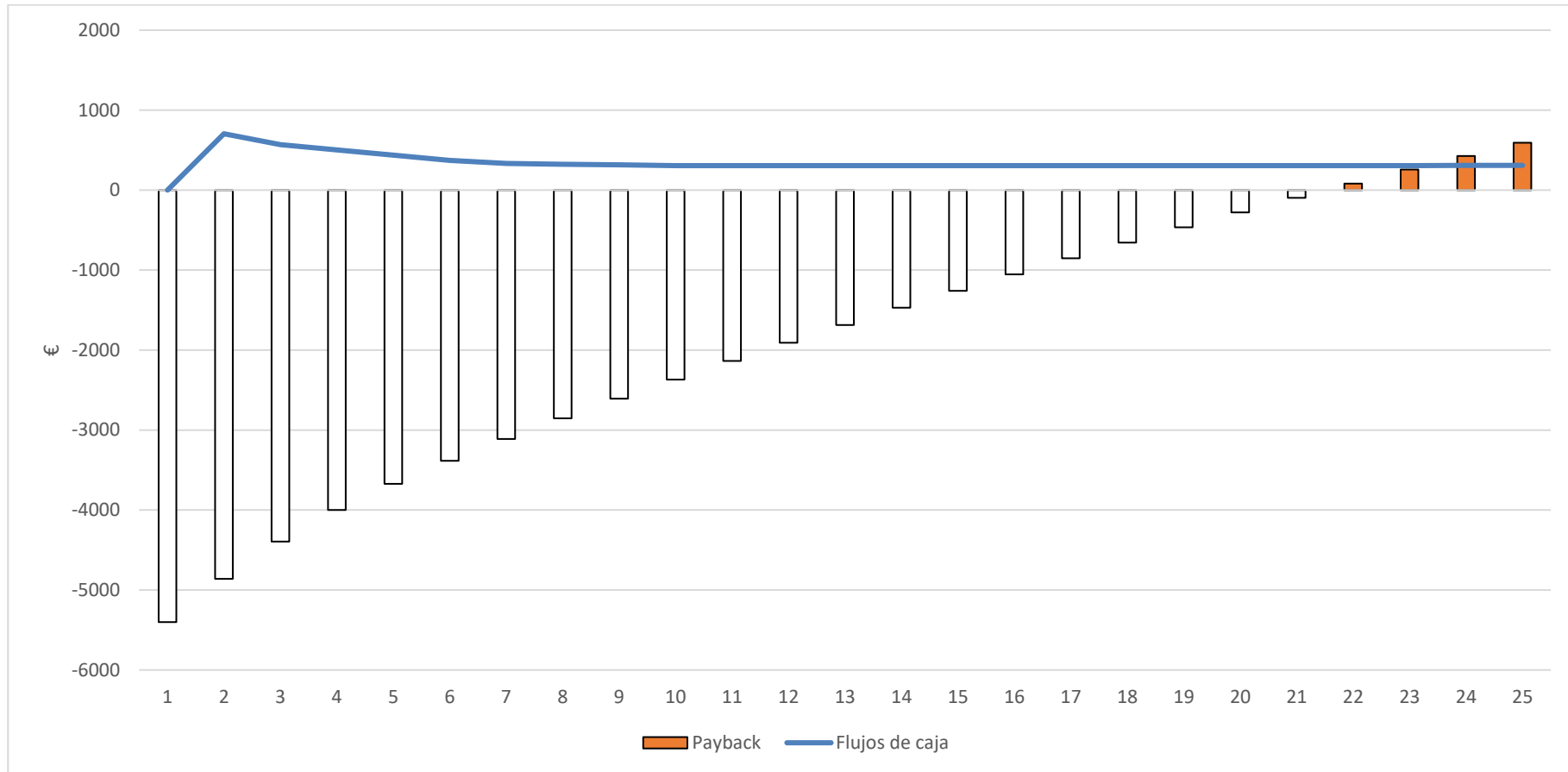


Figura 58. Periodo de retorno de la instalación fotovoltaica

5.2 AYUDAS ECONÓMICAS Y SUBVENCIONES

La Comunidad de Madrid ofrece, a través de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Cultura y su Plan de Recuperación, Transformación Y resiliencia, atufas a la remodelación y mejora de la eficiencia energética tanto de viviendas particulares como de edificios enteros [41].

De dichas ayudas, los proyectos se pueden beneficiar del Programa 4, el cual se trata de ayudas a las actuaciones de mejora de la eficiencia energética en viviendas. Dicho programa: “financiará actuaciones que consigan una reducción de al menos el 7% de la demanda energética de calefacción y refrigeración, rebajar el consumo de energía primaria no renovable un 30% o la sustitución de elementos constructivos de la fachada (envolvente térmica), como el cambio de ventanas.” Como contrapartida, únicamente se puede presentar una solicitud por vivienda, independientemente de que se incluyan varias actuaciones en la misma.

Como importe, la ayuda se hace responsable de hasta un 40 % de la inversión, con un límite de 3000 euros, siendo necesaria que la inversión sea de más de 1.000 euros. Si bien esta ayuda no es muy elevada teniendo en cuenta el coste de los proyectos, hará que obviamente estos mejoren sus rentabilidades haciéndolos más económicamente atractivos.

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez propuestas las soluciones y estudiados sus impactos, tanto tecnológicos como económicos, se van a discutir en este apartado los resultados de los diferentes proyectos, además de estudiar su potencial en ahorro de emisiones generadas.

6.1 AISLAMIENTO

Como se ha estudiado en el apartado 4.1 y más concretamente como se pueden ver los resultados en la Tabla 26, la actualización del aislamiento de la vivienda tiene un gran impacto. Desde el punto de vista energético, e incluso también económico, esta medida no tiene un impacto directo en ahorro, más bien el ahorro surge como una consecuencia de la aplicación de esta medida. Si se decide mejorar el aislamiento térmico de la envolvente de la vivienda, las necesidades para climatizar la vivienda serán menores ya que como se ha visto, la vivienda será capaz de conservar la temperatura de confort de manera más prolongada y eficiente, haciendo que se reduzcan los consumos de calefacción y refrigeración, llevando así a una reducción de consumos energéticos y aumentando la eficiencia energética de la vivienda. También, el ahorro de estos consumos lleva a un ahorro económico, que se puede traducir a unos flujos de caja positivos, haciendo que la inversión no solo se recupere, si no que esta llegue a ser muy rentable.

Por otro lado, si se estudia la reducción de gases de efecto invernadero, se puede ver que estas también reducen de manera significativa. Para ello, se van a estudiar las emisiones que la vivienda produce antes de realizar la nueva instalación del aislamiento, y las que produciría después de la instalación. Es necesario contar con los factores de emisión de gas natural que tiene la caldera de la vivienda para ver las emisiones a la hora de calefactar la vivienda, y las emisiones que tiene la electricidad a la hora de usar el aire acondicionado para refrigerar la vivienda. Según [42] el gas natural tiene un factor de emisión de 0,184 kg de dióxido de carbono por cada kilovatio hora térmico. En cuanto al mix eléctrico, la empresa

que proporciona la electricidad a la casa, Comercializadora Regulada, establece en sus facturas que su mix energético produce cerca de los 0,259 kilogramos de dióxido de carbono por cada kilovatio hora eléctrico. Con estos valores, se pueden establecer ya los ahorros de emisiones que producirán mes a mes, debido al ahorro de calefacción y refrigeración, los cuales vienen recogidos en la Tabla 34.

Tabla 34. Valores de emisiones ahorradas por mes gracias al nuevo aislamiento

Mes	kg de CO2 ahorrados calefacción	kg de CO2 ahorrados AC
Enero	388,33	0
Febrero	323,43	0
Marzo	288,59	0
Abril	257,52	0
Mayo	164,82	0
Junio	68,73	31,19
Julio	29,13	94,39
Agosto	32,80	83,21
Septiembre	55,13	38,72
Octubre	154,94	0
Noviembre	281,07	0
Diciembre	373,95	0

Según el modelo planteado y las estimaciones y consideraciones tomadas en cuenta, la instalación de un nuevo aislamiento sería capaz, por sí sola, de llegar a reducir en torno a un 75 % de las emisiones actuales del equipo de climatización de la vivienda.

Otro de los aspectos importantes de esta instalación, es su elevada vida útil. Algunas estimaciones llegan a considerar que la vida útil de hasta 45 años, lo que en este caso estaría siendo traducido en un ahorro de gastos de climatización y por tanto de flujos de caja positivos de casi 35 años.

Por lo tanto, como inversión, el aislamiento es la que sin duda más sentido tiene. Es una inversión con muy poco riesgo, que reporta grandes cantidades de ahorro y que en muy poco tiempo estaría amortizada, siendo además una inversión que durará muchos años, haciendo que el ahorro y los flujos de caja positivos se mantengan constantes y prolongados durante una gran cantidad de años.

6.2 AEROTERMIA

El consumo energético final de la vivienda, tras aplicar la instalación del equipo aerotérmico, se va a mantener constante. Es decir, en este caso, la instalación del equipo aerotérmico no pretende conseguir un ahorro energético final por parte de la vivienda ni de sus integrantes, si no que busca reducir el consumo energético primario de la vivienda para su climatización y transformarlo para que este fuera de origen limpio o renovable. En otras palabras, el apartamento seguirá demandando la energía como hasta ahora, pero el origen de dicha energía será limpio, en lugar del usado actualmente en la caldera de condensación.

Dicho esto, y como se verá más en detalle en el apartado 6.4, la instalación de un equipo aerotérmico tiene en principio un ahorro significativo de energía primaria por parte de la vivienda, si esta se considera como la cantidad de energía eléctrica que consume el equipo. Además al tener un origen eléctrico en lugar de provenir directamente del gas natural, como lo es actualmente, si se estudian las emisiones de dióxido de carbono de este proyecto, tomando como referencia los valores de emisiones del gas natural y del mix energético de la

compañía eléctrica 6.1 y se toman como valores los calculados en los 5.1.2.1 y 5.1.2.2, se llega a una reducción de las emisiones debido a los sistemas de climatización de la vivienda de en torno al 53,125 % con respecto a las emisiones que ocasiona la vivienda actualmente debido a la climatización, dato que es muy similar si se mejora el aislamiento y se compara con las emisiones producidas por la vivienda después de mejorar el aislamiento. Si por el contrario se compara con la situación inicial y se le añade la mejora del aislamiento, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero debido a la climatización se ve reducida hasta un 88,75 por ciento de las emisiones iniciales producidas por la vivienda.

Pero también cabe mencionar que estos resultados solo reflejarían una “fotografía” actual. Es decir, actualmente y con el mix energético actual de la compañía eléctrica, si se realiza el cambio de una climatización basada en gas natural a una climatización basada en electricidad, se reduciría en ese porcentaje, pero si en el futuro la compañía eléctrica decide aumentar en su mix energías limpias haciendo por lo tanto que este sea menos contaminante, la reducción de emisiones sería mayor si cabe, favoreciendo la instalación del equipo, desde un punto de vista medioambiental.

Desde el punto de visto económico, se ha podido observar que la instalación de un equipo aerotérmico sin llevar a cabo la inversión previa de la mejora de aislamiento no resulta ser una buena inversión ya que la TIR del proyecto sería menor a la tasa escogida. En cambio, si se realiza primero la inversión del aislamiento, los aspectos económicos indican que la instalación del equipo aerotérmico resulta una opción interesante.

Por otro lado, esta es una de las inversiones con más incertidumbre debido a dos factores principales:

- La evolución del precio del gas natural: si la evolución del precio del gas natural no es muy agresiva, es decir, mantiene un precio similar al de la actualidad, esta inversión puede que se haga todavía menos atractiva de lo que es.
- La evolución del precio de la electricidad: de manera similar a la evolución del precio del gas, esta inversión depende fuertemente de la evolución del precio de la electricidad. Si España consigue realizar una transición energética rápida, podrá

reducir drásticamente el precio de la electricidad haciendo mucho más atractiva esta inversión, pero si por el contrario sigue dependiendo de los combustibles fósiles y de su volatilidad, el precio de la electricidad puede no llegar a disminuir lo suficiente para que este proyecto sea atractivo o incluso viable.

Por lo tanto, se puede resumir que el quepo aerotérmico tiene un fuerte impacto medioambiental en la vivienda, ya que reduce de manera significativa tanto las emisiones de gases de efecto invernadero como el consumo de energía primaria no renovable, pero esta reducción viene a un precio muy elevado, que hace que el equipo pueda llegar a no ser rentable de manera económica, sobre todo si se instala de manera independiente, sin realizar la mejora del aislamiento primero.

6.3 FOTVOLTAICA

Por último, la instalación fotovoltaica planteada parece ser una inversión atractiva y rentable, pero, al igual que ocurría en el apartado anterior, esta inversión va a depender fuertemente de la evolución del sector energético de España, ya que, en este caso, si la electricidad reduce mucho su precio, puede llegar a hacer esta inversión muy poco rentable.

Por otro lado, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en este caso sufre un aspecto similar a la aerotermia. Si bien se puede estudiar cuanto y en qué porcentaje reducirían las emisiones de gases de efecto invernadero en la actualidad, lo que ocurra en el futuro dependerá de la transición energética del país, pudiendo llegar a ser incluso peor la instalación de los paneles. También dependerá fuertemente de la estrategia seguida por la empresa suministradora de electricidad, si esta persigue reducir a título personal, sus emisiones, la diferencia de emisiones en el futuro será menor para el proyecto. Para esto sería necesario realizar un estudio en detalle de todas las emisiones que tendría esta instalación (fabricación de los componentes, su transporte e instalación, así como su disposición final).

Actualmente la instalación de los paneles solares fotovoltaicos reduciría la emisión de 1.101,7 kilogramos de dióxido de carbono anuales. Si se compara con las actuales emisiones

de la vivienda por demanda eléctrica, la cual teniendo en cuenta el facto de emisión comentado anteriormente son de 1494,43 kilogramos anuales, se estaría reduciendo en un 73,72 %, en caso de que los paneles solares se instalasen para compensar la actual demanda eléctrica de la vivienda, porcentaje significativo, pero como se ha mencionado anteriormente, este es el porcentaje actual, el cual, seguramente, irá cambiando durante los próximos años.

Si bien la instalación de paneles solares fotovoltaicos para el autoconsumo reduce la huella de carbono y aumenta la eficiencia energética de la vivienda, esta es sin duda la que menos rentabilidad de las alternativas planteadas presenta, siendo su VAN de un orden de magnitud menos que el resto. Cabe mencionar que esto dependerá de la evolución del precio de la electricidad en el futuro y que esta rentabilidad puede aumentar de manera considerable, pero actualmente el proyecto no generaría una enorme cantidad de ahorros.

6.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA

Por último, se va a estudiar la mejora de la eficiencia energética de la vivienda. Si bien esa es la intención, este parámetro es muy complejo, y por lo habitual se hace necesario la ayuda de un profesional, tanto para la evaluación inicial de la vivienda (valor actual), para el análisis una vez realizadas las mejoras. Por lo tanto, este apartado no pretende ser preciso, si no que pretende ilustrar la mejora de los valores de manera representativa.

Como indica [43], la calificación energética de un edificio “incluye la energía consumida en refrigeración, calefacción, producción de agua caliente sanitaria, ventilación y en su caso iluminación”. Los parámetros que se estudian son:

- Demanda de energía en kilovatio hora por metro cuadrado y año
- El consumo de energía no renovable en kilovatio hora por metro cuadrado y año
- La emisiones generadas en kilogramos de dióxido de carbono por metro cuadrado y año

Dicho esto, los valores, tanto antiguos como nuevos, se pueden ver en la Tabla 35.

Tabla 35. Resumen de eficiencia energética

Media	Demanda [kgWh/m2*año]		Consumo E _{pnr} [kgWh/m2*año]		Emisiones [kgCO2/m2*año]	
	Cal	Ref	Cal	Ref	Cal	Ref
Inicial	86,8	6,3	96,5	6,6	16,0	1,6
Medida 1	21,3	1,5	23,7	1,6	3,9	0,4
Medida 2	86,8	6,3	30,5	6,64	7,5	1,63
Medida 3	21,3	1,5	7,5	1,6	1,84	0,4
Medida 4	86,8	6,3	13,14	5,5	3,5	1,4
Medida 5	21,3	1,5	0,0	0,4	0,0	0,4

Donde:

- La medida 1 es el cambio del aislamiento
- La medida 2 es el uso de aerotermia sin el cambio de aislamiento
- La medida 3 es el uso de la aerotermia con cambio de aislamiento
- La medida 4 es el uso de los paneles solares fotovoltaicos de manera exclusiva para la aerotermia sin aislamiento
- La medida 5 es el uso de los paneles solares fotovoltaicos de manera exclusiva para la aerotermia con aislamiento

... viene de la página anterior

Límite superior de la clase	Demanda [kWh/m ² · año]		Consumo de EP _{nr} [kWh/m ² · año]				Emisiones [kgCO _{2e} /m ² · año]			
	cal.	ref.	cal.	ref.	ACS	total	cal.	ref.	ACS	total
<i>Zona C4</i>										
A	7,7	7,8	11,2	7,9	4,7	26,2	3,3	1,9	1,1	6,0
B	17,9	12,6	26,0	12,8	5,5	45,2	6,2	3,1	1,3	10,4
C	32,4	19,5	46,9	19,9	6,7	73,7	10,5	4,9	1,6	16,9
D	54,2	30,0	78,5	30,6	8,4	115,8	16,8	7,5	2,0	26,5
E	99,8	36,9	179,6	37,6	19,8	237,0	40,9	9,2	4,8	54,9
F	108,8	45,4	210,1	46,3	21,6	267,8	47,9	11,3	5,6	62,1
<i>Zona D1</i>										
A	11,7	-	16,9	-	10,0	37,5	4,9	-	2,4	8,4
B	27,0	-	39,2	-	11,8	57,7	9,3	-	2,9	12,9
C	48,7	-	70,7	-	14,3	86,1	15,8	-	3,5	19,3
D	81,6	-	118,3	-	18,0	128,2	25,3	-	4,4	28,7
E	144,1	-	250,8	-	21,1	271,9	54,8	-	5,1	59,9
F	157,1	-	293,4	-	23,0	318,1	64,1	-	6,0	71,8
<i>Zona D2</i>										
A	11,7	2,1	16,9	2,1	7,7	35,3	4,9	0,5	1,9	7,9
B	27,0	3,9	39,2	4,0	9,0	57,2	9,3	1,0	2,2	12,9
C	48,7	6,6	70,7	6,7	10,9	88,7	15,8	1,7	2,6	20,0
D	81,6	10,6	118,3	10,8	13,8	136,3	25,3	2,6	3,3	30,7
E	144,1	12,8	250,8	13,0	20,9	284,7	54,8	3,2	5,1	63,0
F	157,1	15,7	293,4	16,0	22,8	333,1	64,1	3,9	5,9	73,7
<i>Zona D3</i>										
A	11,7	5,5	16,9	5,6	5,6	37,1	4,9	1,4	1,3	8,4
B	27,0	8,9	39,2	9,1	6,5	60,1	9,3	2,2	1,6	13,6
C	48,7	13,9	70,7	14,1	7,9	93,2	15,8	3,5	1,9	21,1
D	81,6	21,3	118,3	21,7	10,0	143,3	25,3	5,3	2,4	32,4
E	144,1	26,3	250,8	26,9	20,4	298,1	54,8	6,6	4,9	66,3
F	157,1	32,4	293,4	33,0	22,3	336,8	64,1	8,1	5,8	79,6

Figura 59. Resumen de valores de eficiencia energética establecidos por [41]

Como se puede observar en la Tabla 35, la inversión esencial para obtener una mejora significativa de la eficiencia energética de la vivienda es la mejora del aislamiento actual. Dicha mejora, por si sola, tiene unos resultados positivos muy significativos y un aumento de la eficiencia energética que no es comparable a las otras medidas por si solas, si estas actuasen de manera independiente. Por otro lado, el emparejamiento de la mejora del aislamiento con las otras medidas da resultados muy interesantes y tienen un claro aumento de la eficiencia energética, como bien se puede ver con la medida 5, es decir, aplicando todas las propuestas, los consumos, demandas y emisiones acaban siendo una parte ínfima de lo

que eran en un principio, llegando a tener valores nulos incluso, y esto tomando valores muy precavidos, que bien podrían estar arrojando resultados infravalorados, habiendo en realidad una mejora mucho más significativa.

Otro parámetro interesante es que la aerotermia es que si bien la aerotermia no reduce los valores de la demanda, como se comentaba en el apartado 6.2 esta no era la intención de su instalación, si reduce de manera significativa tanto el uso de energía primaria no renovable, como las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto se debe a que el equipo aerotérmico utiliza la energía que se encuentra en el propio aire (y este tipo de energía se puede llegar a suponer renovable) y solo usa una fracción de electricidad para poder llevar a cabo la climatización de la vivienda, haciendo que por lo tanto el consumo de energético no renovable sea elevado. Esto unido a que el mix energético puede llegar a arrojar valores bajos de emisiones de dióxido de carbono por kilovatio hora, se traduce en una evidente reducción de gases contaminantes por parte del equipo aerotérmico con respecto a la situación actual de la vivienda.

También se puede observar que, si se utiliza la fotovoltaica como apoyo, los parámetros estudiados se reducen de manera significativa, aumentando la eficiencia energética, aunque no de manera tan considerable como el resto de las propuestas.

Por lo tanto, viendo las mejoras y teniendo en cuenta que Madrid se encuentra dentro de la zona D3 de la Figura 59, se puede ver que todas las medidas propuestas consiguen que la vivienda aumente dentro de la escala energética de cada uno de los diferentes apartados haciendo que por lo general la vivienda cuente con certificados elevados de eficiencia energética después de la aplicación de las distintas propuestas.

Capítulo 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Presentadas y analizadas todas las opciones planteadas en este proyecto, se han obtenido las siguientes conclusiones principales:

- El proyecto, de los tres analizados, que más seguridades, más rentabilidad y más sentido tiene llevar cabo es la mejora del actual aislamiento para ponerlo en regla con el Código Técnico de la Edificación. Es una inversión con muy poco, o mejor dicho ningún riesgo, que llevará a ahorros asegurados durante un muy largo periodo de tiempo. Si bien no tiene flujos de caja “directos”, el no tener necesidad, o tener una necesidad menor de climatizar la vivienda produce unos ahorros elevados a la vivienda. Es un proyecto con un muy larga vida útil que independientemente de la evolución de los precios del mercado del gas y del mercado de la electricidad continuará generando ahorro. No solo ello, si no que, desde el punto de vista energético, es una de las medidas que más impacto tiene sobre la mejora de la eficiencia energética de la vivienda, así como de su ahorro de futuras emisiones. Es un proyecto relativamente sencillo con resultados garantizados y muy favorables, por lo que es lógico embarcarse en él.
- El proyecto de aerotermia es que el más incertidumbres tiene. Esto es debido a que este proyecto depende de dos elementos los cuales han tenido mucha volatilidad en estos últimos años: el precio del gas y el precio de la electricidad. Si ambos precios son “estables” y evolucionan como se tienen previsto, es decir el gas aumenta de precio mientras que la electricidad disminuye, entonces es una inversión y un proyecto los cuales si tienen sentido embarcarse en ellos. Todo ello dependerá también de como sea la evolución de dichos precios, una evolución agresiva de ambos hará el proyecto más rentable y por lo tanto más atractiva. Si en caso contrario los precios se mantienen estables la rentabilidad se vería reducida considerablemente. Desde el punto de vista energético, es un proyecto muy atractivo, ya que aumenta enormemente la eficiencia energética de la vivienda, y reduce de manera significativa

la huella de carbono ocasionada por la climatización de esta, todo esto debido a que la utilización de energía primaria no renovable disminuye de manera significativa. Dicha huella de carbono también dependerá en gran medida de la Transición Energética que lleve a cabo España en los próximos años, ya que el equipo de aerotermia se alimentará de la Red Eléctrica. Si esta tiene un elevado factor de emisiones por cada kilovatio hora eléctrico, las reducciones no serán muy elevadas y la eficiencia energética seguirá siendo parecida.

- El proyecto de aerotermia debe realizarse si primero se realiza el proyecto de aislamiento. Desde el punto de vista económico, el proyecto aerotérmico solo tiene sentido si se realiza después de mejorar el aislamiento de la envolvente del edificio, ya que si no los parámetros económicos de este proyecto mostrarían una inversión con mucha incertidumbre e incluso no rentable. También si se ven los parámetros técnicos el proyecto aerotérmico se ve muy beneficiado si se mejora el aislamiento de la vivienda primero y luego se lleva a cabo la instalación de los equipos necesarios para la aerotermia.
- La inversión fotovoltaica es rentable. Si bien esta inversión tiene más incertidumbre que el proyecto de mejora de aislamiento, tiene mucha menos incertidumbre que el proyecto de aerotermia, y esto es debido a que esta inversión solo depende de un parámetro: la evolución del precio de la electricidad. Si el precio no disminuye mucho esta inversión será muy rentable y proporcionará muchos ahorros en el futuro. Pero también es cierto que esta no tiene un VAN excesivamente elevado, debido a que tarda bastante en recuperar la inversión inicial y únicamente generará dinero en los últimos años de vida de los paneles. Por otro lado, este es claramente uno de los proyectos que más aumenta la eficiencia energética de la vivienda y más reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. Pero esto también dependerá de la transición energética de España, ya que, si España decide embarcarse en una Transición Energética “agresiva” y reducir de manera drástica las emisiones de gases de efecto invernadero del sector eléctrico, las reducciones de emisiones de los paneles solares no serán muy elevadas e incluso la eficiencia energética tampoco se verá muy afectada por dicha instalación. Pero por el momento parece que, si tiene sentido la

instalación, ya que no se prevé que en muy pocos años cambie completamente el paradigma del sector eléctrico.

- La aerotermia y la fotovoltaica pueden llegar a ser mutuamente excluyentes. Esto se debe a que ambos dependen de un parámetro, pero de manera inversa: el precio de la electricidad. Si el precio disminuye, esto hace que la aerotermia sea más rentable pero la fotovoltaica menos y viceversa. Por ello se debe hacer un estudio más en detalle del futuro de la electricidad en España, el cual pueda arrojar más certidumbre al proyecto. Por otro lado, se puede llegar a plantear que la energía eléctrica producida por la instalación fotovoltaica se destine únicamente al consumo del equipo aerotérmico, haciendo de esta manera que estén conectados y que las rentabilidades vayan enlazadas.

Si bien el documento termina aquí, el proyecto, o los proyectos mejor dicho todavía no han terminado. Este ha sido un primer estudio cuya misión ha sido establecer las bases técnicas de los proyectos y realizar un primer análisis económico de estos con el objetivo de estudiar el atractivo de las inversiones. Una vez hecho esto, se hace necesario continuar mediante las siguientes acciones:

- Realizar un estudio más preciso y en detalle de la evolución de los precios. Se hace necesario realizar este estudio tanto para la evolución de los precios de la electricidad y el gas natural. Esto es necesario ya que probablemente las inversiones sigan siendo rentables (los parámetros económicos sigan siendo favorables) pero puede que dicha rentabilidad disminuya y de una imagen más verídica de la inversión.
- Puesta en contacto con profesionales para presupuestos y tiempos de obra. En este documento se han realizado aproximaciones y estimaciones de los costes que tendría la mano de obra, pero para ver la realidad de estos costes es necesario ponerse en contacto con profesionales para el desglose y las estimaciones reales de los mismos.
- Solicitudes de ayudas. Si bien en este documento se han propuesto subvenciones y ayudas a los proyectos, se hace necesario realizar todo el papeleo y documentación para poder aprovechar dichas subvenciones y rentabilizar más las inversiones, tarea que, si bien puede resultar tediosa, es necesaria.

- Adquisición de permisos y licencias de obra si fuese necesario. A pesar de que instalaciones como el proyecto fotovoltaico no lo necesitan, puede que sí sea necesaria la obtención de una licencia de obra para las otras inversiones, por lo que es necesario estudiar este punto y ponerse en contacto con la Administración y la Comunidad.
- Otra línea que resultaría interesante explorar en trabajos futuros, es el aumento de la eficiencia tecnológica a través de otros elementos convencionales, como puede ser una mejora de la iluminación o electrodomésticos y a través de elementos no tan convencionales como el uso de domótica y reutilización de aguas, por ejemplo.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. R. a. P. R. Hannah Ritchie, «Emissiones by sector,» Our world in data, [En línea]. Available: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector#citation>. [Último acceso: 18 Febrero 2023].
- [2] E. J. Macías, *Análisis económico, energético y ambiental del uso de la aerotermia*, Universidad de la Rioja, 2017.
- [3] Universidad Carlos III de Madrid, «Ciclos de Refrigeración,» Aplicaciones de Ingeniería Térmica, Madrid, 2020.
- [4] Universidad Pontificia de Comillas, «Ciclos de refrigeración y bombas de calor avanzados,» Ingeniería Térmica, Madrid, 2022.
- [5] *Directiva 2009/28*, 2009.
- [6] O. G. Alonso, *Implantación de un sistema de aerotermia para la climatización de una vivienda*, Bilbao, 2019.
- [7] Universidad de Oviedo, «Cátedra Hunosa,» Universidad de Oviedo, 2020. [En línea]. Available: <https://www.unioviedo.es/catedrahunosa/index.php/geotermia/#:~:text=En%20Espa%C3%B1a%20la%20temperatura%20media,agua%20subterr%C3%A1nea%20en%20estas%20instalaciones>. [Último acceso: 17 Febrero 2023].

- [8] P. Rovas, «Instalaciones y eficiencia energética,» 9 Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/radiadores-de-calefaccion/>. [Último acceso: 25 Mayo 2023].
- [9] P. Rovas, «Instalaciones y eficiencia energética,» 1 Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/radiadores-de-baja-temperatura-ahorro-de-energia/>. [Último acceso: 25 Mayo 2023].
- [10] O. M. González, «Radiadores de baja temperatura: precio, tipos y funcionamiento,» Selectra, 22 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://preciogas.com/instalaciones/equipamiento/radiadores/baja-temperatura>. [Último acceso: 25 Mayo 2023].
- [11] I. Arnat, «Suelo radiante ventajas e inconvenientes,» Calor y frío, 18 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/suelo-radiante/suelo-radiante-ventajas-e-inconvenientes.html>. [Último acceso: 31 Mayo 2023].
- [12] P. E. Azqueta, «Una Mirada al aislamiento térmico y la eficiencia energética,» Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires, 2018.
- [13] IDAE, «Guía práctica de la energía para la rehabilitación de edificios,» Madrid, 2020.
- [14] R. M. Hazen, The Composition of Earth, The Cambridge Handbook of Earth Science Data, 2019.
- [15] J. G. Amieva, *Potencial autoconsumo de energía solar fotovoltaica de la ETSII*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2022.
- [16] IEA, «Solar PV power generation in the Net Zero Scenario, 2010-2030,» IEA, 26 Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://www.iea.org/data-and->

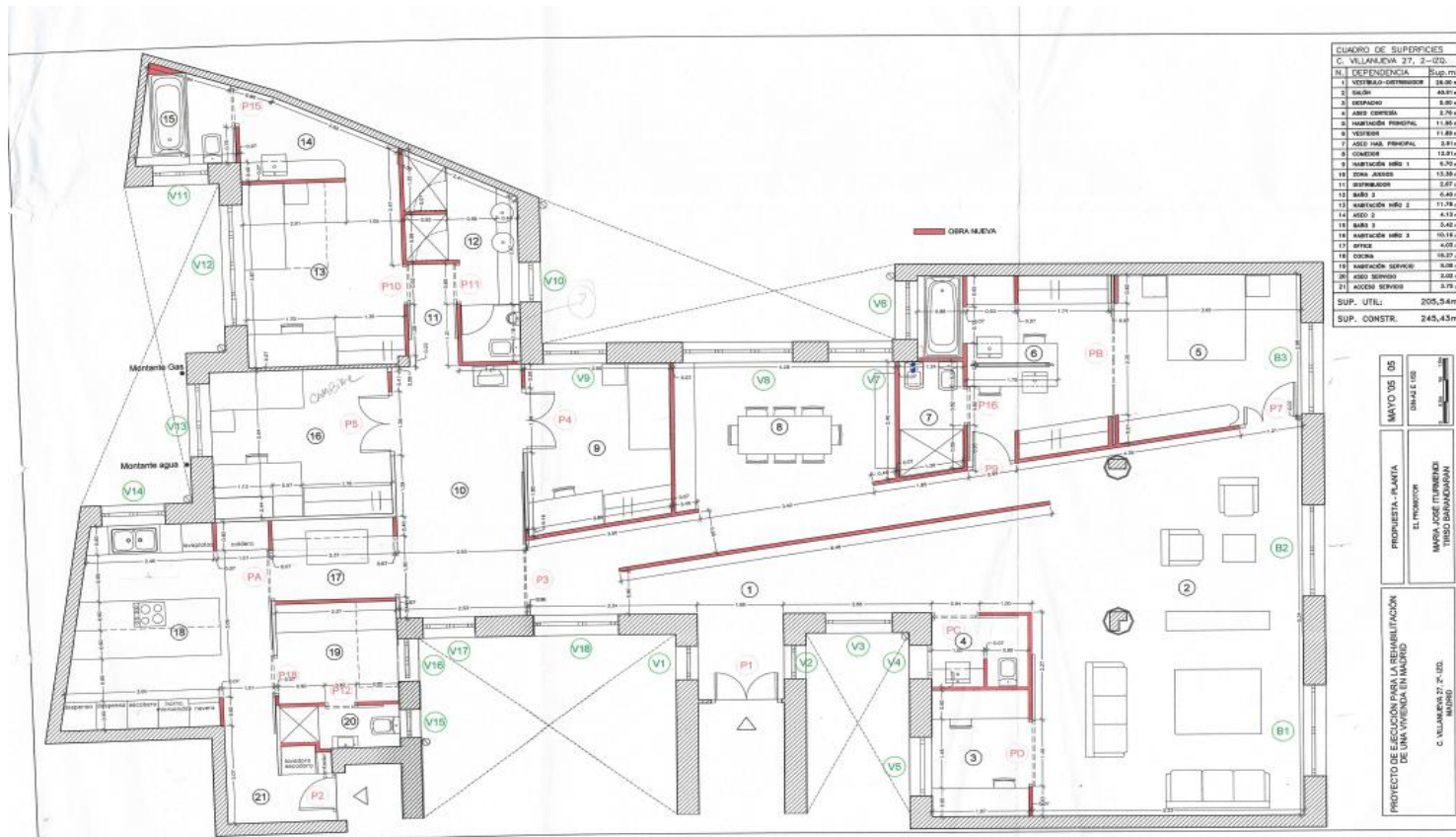
- statistics/charts/solar-pv-power-generation-in-the-net-zero-scenario-2010-2030.
[Último acceso: 15 Febrero 2023].
- [17] UNEF, «Energía Solar Apuesta segura para la recuperación económica,» 2022.
- [18] Lazard, «Levelized Cost of Energy,» [En línea]. Available:
<https://www.lazard.com/research-insights/2023-levelized-cost-of-energyplus/>.
[Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [19] NREL, «Best Research-Cell Efficiency Chart,» NREL, [En línea]. Available:
<https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>. [Último acceso: 18 Febrero 2023].
- [20] APPA, «Informe anual del autoconsumo fotovoltaico,» 2022.
- [21] MITECO, «Hoja de ruta del autoconsumo,» Madrid, 2021.
- [22] MITECO, *Real Decreto 477/2021*, 2021.
- [23] MITECO, *Real Decreto 29/2021*, 2021.
- [24] IDAE, «Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones aparatos y equipos,» Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid, 2007.
- [25] IDAE, «Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3X,» Sedán Oficina de Imaginación, Madrid, 2012.
- [26] Ministerio de España , «Real Decreto 178/2021,» 2021.
- [27] IDAE, «Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente térmica de los edificios, soluciones de aislamiento con vidrios y cerramientos,» Madrid, 2007.
- [28] Ministerio de España, «Documento Básico HS Salubridad,» 2022.

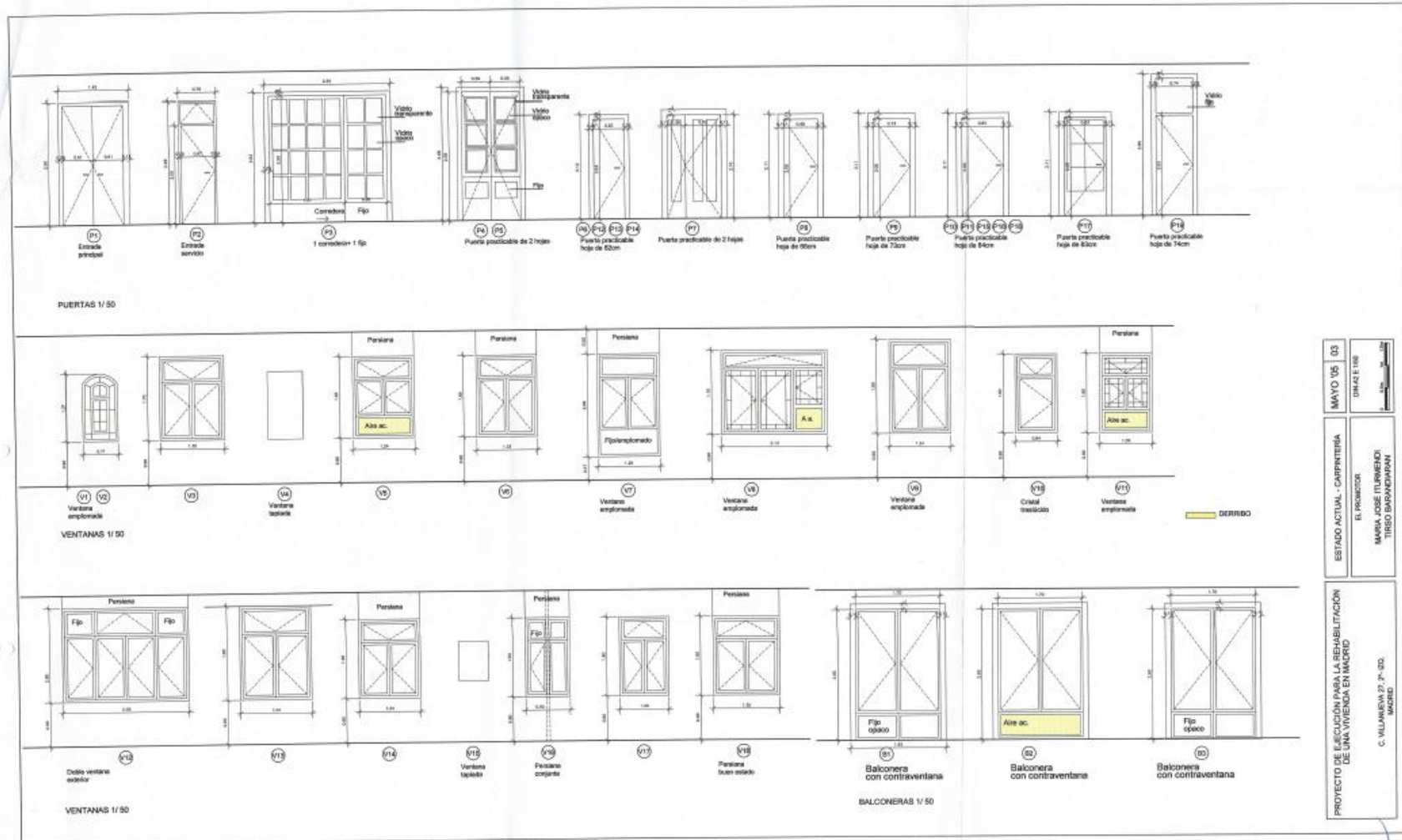
- [29] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, «Documento Básico HE Ahorro de Energía,» 2022.
- [30] Madrid, Comunidad de, «Actualidad del Gobierno,» Comunidad de Madrid, 14 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.comunidad.madrid/noticias/2022/12/14/diaz-ayuso-anuncia-2023-tarifas-agua-comunidad-madrid-seguiran-congeladas-octavo-ano-consecutivo#:~:text=En%20la%20regi%C3%B3n%20madrile%C3%B1a%2C%20el,1%2C97%20de%20media%20nacional..> [Último acceso: 22 Abril 2023].
- [31] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*, Madrid, 2009.
- [32] M. Chichilla, *Tema 6. Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos Aislados (sistemas Off-grid)*, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2020.
- [33] P. G. Ruiz, *INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA BIFACIAL PARA AUTOCONSUMO DOMÉSTICO TFG*, Universidad de Cantabria, 2022.
- [34] Pladur, «URSA Terra base,» Pladur, [En línea]. Available: <https://www.pladur.com/es/fuenlabrada-madrid/aislamientos/lana-vidrio/ursa-terra-base>. [Último acceso: 7 Junio 2023].
- [35] MIBGAS, «Ficheros,» MIBGAS, 2023. [En línea]. Available: <https://www.mibgas.es/es/file-access>. [Último acceso: 6 Junio 2023].
- [36] Instituto Nacional de Estadística, «El IPC en un clic,» INE, 2023. [En línea]. Available: <https://www.ine.es/ss/Satellite?L=0&c=Page&cid=1254735893337&p=1254735893337&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayout>. [Último acceso: 4 Junio 2023].

- [37] ENF, «AS-6M144-HC-435W~465W,» ENF, [En línea]. Available: <https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/45677>. [Último acceso: 30 Mayo 2023].
- [38] Solaris, «APSYSTEMS YC500I 548W MICROINVERTER,» [En línea]. Available: <https://www.solaris-shop.com/apssystems-yc500i-548w-microinverter/>. [Último acceso: 30 Mayo 2023].
- [39] Mercado Oficial de futuros y opciones financieros en España, «Derivados commodities,» MEFF, 5 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.meff.es/esp/Derivados-Commodities/Precios-Cierre>. [Último acceso: 6 Junio 2023].
- [40] Lucera, «Lucera, Dando Luz,» [En línea]. Available: <https://lucera.es/blog/mantenimiento-placas-solares-cual-es-el-coste-y-la-normativa#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1%20es%20el%20coste%20de,la%20empresa%20que%20se%20contrate..> [Último acceso: 31 Mayo 2023].
- [41] Comunidad de Madrid, «Ayudas a las actuaciones de rehabilitación energética de edificios residenciales y viviendas - PRTR,» Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Resiliencia, [En línea]. Available: <https://www.comunidad.madrid/servicios/vivienda/ayudas-actuaciones-rehabilitacion-energetica-edificios-residenciales-viviendas-prtr>. [Último acceso: 9 Junio 2023].
- [42] M. p. I. T. E. y. e. R. Demográfico, «FACTORES DE EMISIÓN REGISTRO DE HUELLA DE CARBONO, COMPENSACIÓN Y PROYECTOS DE ABSORCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO,» 2023.
- [43] IDAE, «Calificación de la eficiencia energética de los edificios,» Madrid, 2015.

- [44] O. d. I. N. Unidas, «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>. [Último acceso: 15 Junio 2023].
- [45] O. d. I. N. Unidas, «La Agenda para el Desarrollo Sostenible,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>. [Último acceso: 15 Junio 2023].

ANEXO A PLANOS





ANEXO B. OBJETIVOS DE DESARROLLO

SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (en adelante ODS), son una serie de medidas propuestas por la Organización de las Naciones Unidas con el objetivo de: “erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos” [44]. Es decir, los ODS tratan de luchar contra la pobreza, cuidar el planeta y disminuir las desigualdades.

Dichos ODS son 17, y se pueden ver en la Figura 60.



Figura 60. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Estos objetivos fueron aprobados en 2015, cuando todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas dieron su visto bueno, como parte de la Agenda 2030, acuerdo que tiene como fin resolver los problemas del planeta y de la sociedad actual con el objetivo de revertir los efectos del cambio climático y establecer la igualdad para todos los seres humanos, independientemente de su condición. Los elementos fundamentales que considera esta agenda 2030 son cinco (conocidos como 5Ps) [45]:

- Personas: busca no dejar nadie atrás persiguiendo la dignidad e igualdad de todas las personas en un medioambiente saludable
- Planeta: se quiere colocar la protección del plante en el centro.
- Prosperidad: trata de transformar las economías para conseguir una vida prospera y plena y en armonía con la naturaleza
- Paz: se busca fomentar sociedades pacíficas
- Alianza (Partnership): intentar crear una alianza mundial entre los diferentes actores.

Tanto los ODS como los objetivos de la Agenda 2030 cobran una especial importancia en un proyecto de ingeniería. Esto es debido a la dimensión y potencial impacto que este tipo de proyectos suelen tener no solo medioambientalmente, si no socialmente también. Y es que los proyectos de ingeniería suelen afectar de manera importante a comunidades e incluso sociedades enteras tanto de manera directa como de manera indirecta, por lo que tener en cuenta otras dimensiones del proyecto y no solo su solución final es de vital importancia tanto para la sociedad, como para el futuro y sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

Cada uno de los ODS tienen unas metas concretas y para poder decir que el proyecto incluye algún ODS, alguna de dichas metas debe ser cumplidas. Por lo tanto, los ODS que este proyecto incluyen son los mostrados en la Figura 61.



Figura 61. ODS alineados con el proyecto

- ODS 7: Energía asequible y no contaminante. Una de las partes del proyecto consistía en la instalación de paneles solares fotovoltaicos. Este tipo de instalación proporcionaría a la vivienda un energía, eléctrica en este caso, no contaminante, y como se vio en el estudio, probablemente asequible a largo plazo, es decir, rentable económicamente. Por otro lado, el proyecto también valoraba la instalación de aerotermia, instalación que como bien se vio en su apartado, si se cumplen ciertos requisitos se puede llegar a suponer renovable, haciendo que sea un tipo de tecnología no contaminante. Por último, se podría incluir la instalación del aislamiento en este ODS, ya que dicha instalación contribuye a que la vivienda disponga de una energía más asequible por metro cuadrado, ya que, al reducir la energía necesaria, se reduce el gasto necesario por metro cuadrado. Por lo tanto, este proyecto cumple con varias metas propuestas por el ODS, como pueden ser la de aumentar la proporción de energía renovable o aumentar la eficiencia energética.
- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura. El proyecto consigue cumplir con este ODS ya que se está innovando la actual infraestructura de la vivienda y se está actualizando a parámetros recogidos por la normativa vigente en España. Como metas del objetivo que se están cumpliendo, se encuentran la creación de estructuras más resilientes y también sostenibles.
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles. Con este proyecto, la vivienda está aportando su grano de arena para que el ciudad de Madrid pueda ser considerada una ciudad medioambientalmente sostenible. Si el proyecto se lleva a cabo, parte de la energía utilizada por la vivienda será sostenible. Una de las metas que claramente esta alcanzado este proyecto es la reducción del impacto ambiental negativo per cápita. Si el proyecto sale adelante, la huella ambiental de los residentes de la vivienda se vería reducida significativamente. Otra meta que se puede considerar que el proyecto estaría cumpliendo es el uso eficiente de los recursos y la mitigación del cambio climático, ya que la vivienda emitiría menos gases de efecto invernadero y estaría reduciendo las necesidades energéticas, haciendo por lo tanto un uso más eficiente de los recursos.

- ODS 12: Producción y consumo responsables: claramente si el proyecto sale adelante, la producción y el consumo de la vivienda serán responsables, o cuanto menos, más responsables de lo que son en la actualidad. Si se instala el nuevo asilamiento, el consumo energético térmico se verá reducido drásticamente, haciendo que el consumo energético para la climatización de la vivienda sea mucho más responsable de lo que es en la actualidad. Por otro lado, en cuanto a producción se refiere, la instalación de paneles solares fotovoltaicos para el autoconsumo haría que la reducción de electricidad fuese más responsable, ya que sería producción de energía eléctrica limpia, a diferencia de la electricidad proporcionada por la red.