



# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO  
EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO DE VIVIENDAS

Autor: Íñigo Urgel Martínez  
Director: Juan Norverto Moríñigo

Julio 2023

Madrid



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

*Eficiencia energética de un edificio de viviendas*

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2022/2023 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.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Íñigo Urgel Martínez', written in a cursive style.

Fdo.: Íñigo Urgel Martínez

Fecha: 18/ 07/2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan Norverto Morínigo

Fecha: 18/ 07/ 2023





# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO  
EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO DE VIVIENDAS

Autor: Íñigo Urgel Martínez  
Director: Juan Norverto Moríñigo

Julio 2023

Madrid

# Agradecimientos

Agradecimientos a mi familia y amigos.

Agradecimientos también a mi tutor, Juan Norverto, y mi directora, Eva Arenas, por su paciencia y ayuda.

# EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO DE VIVIENDAS

**Autor: Urgel Martínez, Íñigo.**

Director: Norberto Morón. Juan

Entidad Colaboradora: ICAI, Universidad Pontificia Comillas

**Palabras clave:** Sostenible, renovable, fotovoltaico

En este trabajo se estudiarán la viabilidad de la instalación de un sistema de paneles fotovoltaicos en un edificio residencial de Madrid. Se describirá detalladamente los componentes y su función.

## RESUMEN DEL PROYECTO

Durante los últimos tiempos, se ha observado una evolución y tendencia hacia la sostenibilidad y la neutralidad de emisiones de las distintas tecnologías que mejoran la vida humana. Los tres principales bloques que requieren energía son la industria, el transporte y, el que nos concierne y se tratará en este trabajo, el sector residencial y el consumo en los hogares.

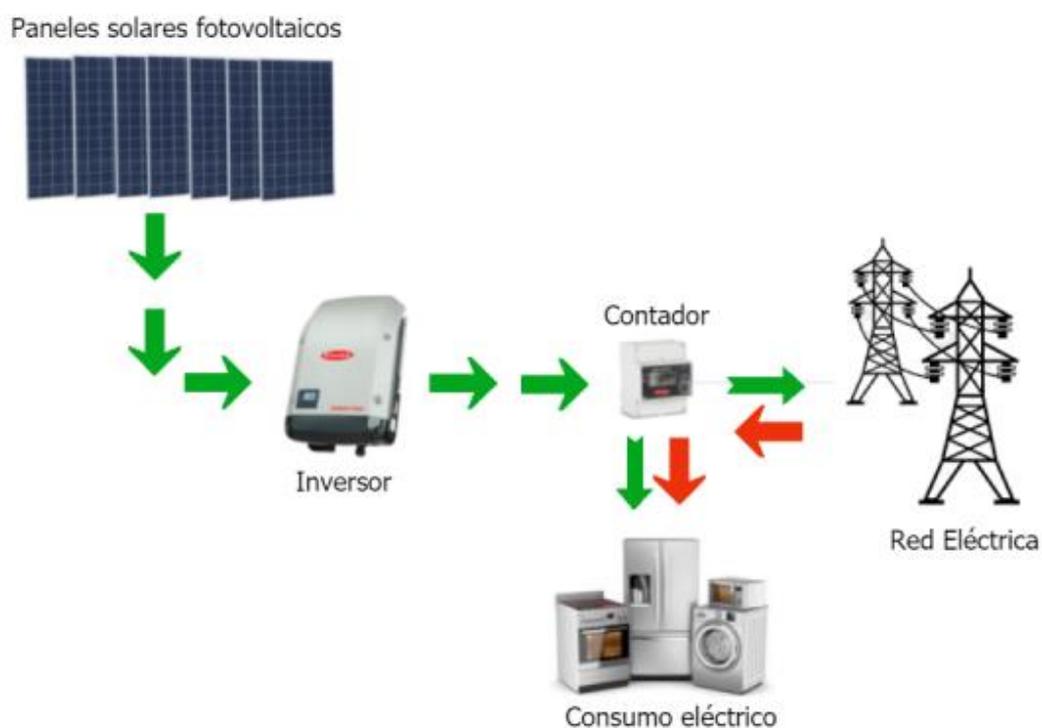
Actualmente, los edificios españoles representan un 40% del consumo total de la energía en España, y representan a su vez aproximadamente un tercio de las emisiones de dióxido de carbono totales. Durante décadas, la energía utilizada por los hogares ha tenido un origen principalmente fósil. Pero en la actualidad, planes como REpowerEU, o el objetivo de cero emisiones en 2050, están liderando un cambio de tendencia hacia fuentes de energía renovable o de bajas emisiones (como gas sintético, biometano...). Los gases renovables escapan el objetivo de este proyecto, ya que su implementación es externa a las viviendas y se debe hacer a través de la inversión en infraestructura complementaria a la red gasística existente, con puntos de inyección y plantas de producción adicionales.

Por tanto, para incrementar la eficiencia energética del edificio se considerarán diferentes alternativas renovables. En 2021, el 47% de la energía producida en España fue renovable. Y en 2022, más del 55% de la energía fue renovable, con un total de 4,6 GW (1,2 GW eólicos y 3,4 GW solares).

Las energías renovables además de en grandes parques fotovoltaicos o eólicos, se pueden implementar como soluciones viables desde el punto de vista tecnológico y económico en viviendas unifamiliares o complejos urbanísticos.

Con la volatilidad de los mercados energéticos actuales al alza por distintas tensiones geopolíticas y la concentración de las reservas de los recursos fósiles, es quizás más urgente e interesante desde el punto de vista financiero lograr la autosuficiencia energética de las sociedades occidentales mediante la inversión en renovables.

Se consideran distintas soluciones renovables para este problema, y se opta finalmente por la instalación de paneles fotovoltaicos. el edificio de viviendas y locales comerciales situado en Calle Cosas, situado en la ciudad de Madrid. Este edificio cuenta con 12 viviendas, de entre 140 y 200 metros cuadrados de superficie, 4 locales comerciales y un bajo interior. Se tiene en cuenta su localización para hallar las horas de sol efectivas y las horas de sol pico, que nos darán una idea de la cantidad de irradiancia que recibirán estas a lo largo del año. Posteriormente, y teniendo en cuenta los consumos medios del edificio, se dimensionará la instalación para que autoabastezca el 80% de la potencia demanda mediante energía fotovoltaica. Esto implica que deberá tratarse de una instalación conectada a la red, capaz de absorber energía de la red.



*Ilustración. Instalación conectada a red (Amás plus 2023)*

Por último, se estudiarán los costes de esta inversión y su rentabilidad en relación con los ahorros en la factura de la luz. Además, en la perspectiva financiera se irá más allá y se buscará financiar el proyecto con aportación de capital inicial o con un préstamo.



# ENERGY EFFICIENCY OF RESIDENTIAL BUILDING

**Author: Urgel Martínez, Íñigo.**

Supervisor: Norberto Morínigo. Juan

Collaborating entity: ICAI, Universidad Pontificia Comillas

**Keywords:** Photovoltaic, renewable, sustainability

In this project, the feasibility of installing a photovoltaic panel system in a residential building in Madrid will be studied. The components of the system and their function will be described in detail.

## ABSTRACT

In recent times, there has been an evolution and trend towards sustainability and emission neutrality of the different technologies that improve human life. The three main blocks that require energy are industry, transport and, the one that concerns us and will be discussed in this paper, the residential sector and household consumption.

Currently, Spanish buildings account for 40% of total energy consumption in Spain, and in turn account for approximately one third of total carbon dioxide emissions. For decades, the energy used by households has been mainly of fossil origin. But today, plans such as REpowerEU, or the goal of zero emissions in 2050, are leading a shift towards renewable or low-emission energy sources (such as syngas, biomethane...). Renewable gases escape the target of this project, as their implementation is external to the dwellings and must be done through investment in infrastructure complementary to the existing gas network, with additional injection points and production plants.

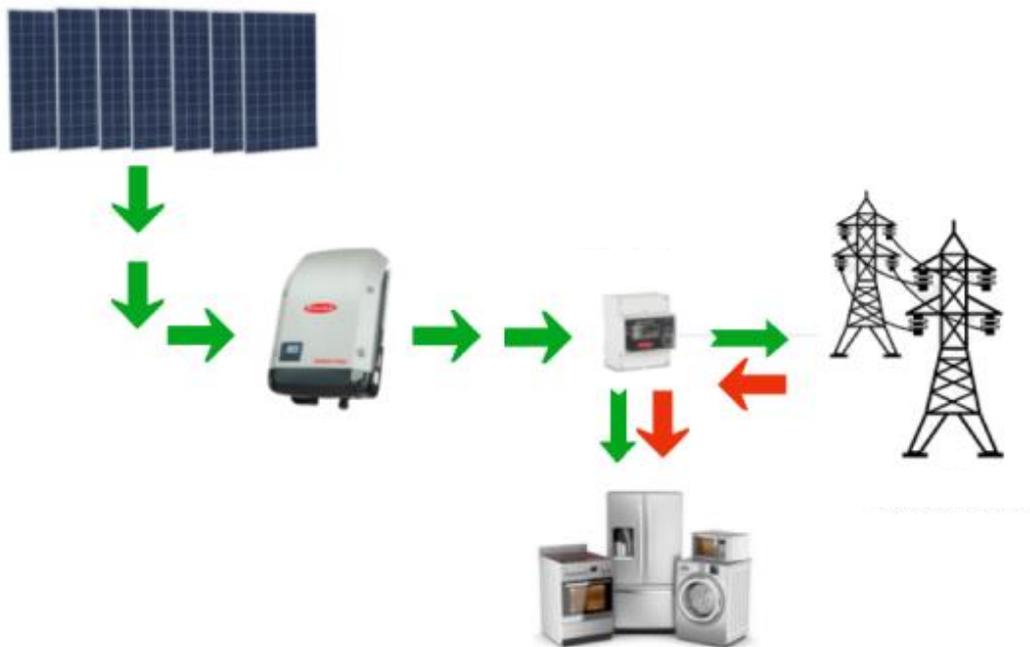
Therefore, in order to increase the energy efficiency of the building, different renewable alternatives will be considered. In 2021, 47% of the energy produced in Spain was renewable. And in 2022, more than 55% of the energy was renewable, with a total of 4.6 GW (1.2 GW wind and 3.4 GW solar).

Renewable energies in addition to large photovoltaic or wind farms, can be implemented as technologically and economically viable solutions in single-family homes or urban complexes.

With the volatility of today's energy markets being driven by various geopolitical tensions and the concentration of fossil resource reserves, it is perhaps more urgent and financially

interesting to achieve energy self-sufficiency in Western societies by investing in renewables.

Different renewable solutions to this problem are considered, and the installation of photovoltaic panels is finally chosen. The residential and commercial building located in Calle Cosas, located in the city of Madrid. This building has 12 dwellings of between 140 and 200 square meters, 4 commercial premises and an interior first floor. Its location is taken into account to find the effective sunshine hours and peak sunshine hours, which will give us an idea of the amount of irradiance that these will receive throughout the year. Subsequently, and taking into account the average consumption of the building, the installation will be sized to supply 80% of the power demand through photovoltaic energy. This implies that it should be a grid-connected installation, capable of absorbing energy from the grid.



*Illustration 1. Installation connected to the grid. (Amás plus ,2023)*

Finally, the costs of this investment and its profitability in relation to the savings in the electricity bill will be studied. In addition, from a financial perspective, we will go further and seek to finance the project with an initial capital contribution or a loan



## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>8</b>
<b>Capítulo 2. Contexto Político Energético .....</b>	<b>13</b>
2.1 Conflicto en Ucrania .....	13
2.2 Problemas con Argelia .....	15
2.3 Medidas del Gobierno .....	18
2.3.1 Reducción de los cargos .....	20
2.3.2 Extensión de la rebaja de impuestos .....	20
2.3.3 Aumento del descuento en el bono social eléctrico .....	20
2.3.4 Incremento del bono social térmico .....	20
2.3.5 Mayores esfuerzos para facilitar la transparencia de las distribuidoras del mercado eléctrico .....	21
2.3.6 Extensión del escudo social .....	21
2.3.7 Limitar el precio del gas en el Pool .....	21
2.3.8 Medidas adicionales .....	21
2.4 Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia .....	22
<b>Capítulo 3. Estado de la Cuestión .....</b>	<b>24</b>
3.1 Paneles solares .....	24
3.2 Eólica .....	25
3.3 Aerotermia .....	26
3.4 Biomasa .....	27
3.5 Alternativa seleccionada .....	27
<b>Capítulo 4. Motivación .....</b>	<b>29</b>
<b>Capítulo 5. Objetivos del Proyecto .....</b>	<b>30</b>
<b>Capítulo 6. Alineación con los Objetivos de desarrollo sostenible .....</b>	<b>31</b>
<b>Capítulo 7. Elementos de la instalación .....</b>	<b>33</b>
<b>Capítulo 8. Normativa Instalación de Placas .....</b>	<b>57</b>

<b>Capítulo 9. Consumos Y Localización del Edificio .....</b>	<b>59</b>
9.1 Localización .....	59
9.2 Consumos .....	59
<b>Capítulo 10. Cálculos .....</b>	<b>63</b>
<b>Capítulo 11. Selección .....</b>	<b>66</b>
11.1 Justificación de la no instalación de acumuladores .....	66
11.2 Celdas .....	66
<b>Capítulo 12. Cálculo del número de módulos .....</b>	<b>70</b>
12.1 Pérdidas .....	70
12.1.1 Pérdidas por incumplimiento de la potencia nominal.....	70
12.1.2 Mismatch .....	70
12.1.3 Pérdidas por polvo .....	71
12.1.4 Pérdidas por orientación.....	72
12.1.5 Pérdidas por temperatura .....	73
12.1.6 Pérdidas por el inversor.....	76
12.1.7 Pérdidas por cableado .....	76
12.1.8 Pérdidas por sombras.....	76
12.1.9 Pérdidas totales .....	77
<b>Capítulo 13. Disposición de los módulos .....</b>	<b>79</b>
<b>Capítulo 14. Estudio De La Viabilidad Económica .....</b>	<b>82</b>
14.1 Tasa de descuento .....	82
14.2 Inflación .....	82
14.3 Costes .....	82
14.3.1 Costes de la instalación.....	82
14.3.2 Costes de la instalación.....	83
14.3.3 Costes de mantenimiento .....	83
14.3.4 Impuesto de construcción.....	83
14.3.5 Coste de retirada .....	83
14.3.6 Presupuesto de licitación .....	83
14.3.7 Gastos de mantenimiento .....	84

14.4 Ingresos	85
14.5 Consolidación y descuento de los flujos	87
14.6 Financiación bancaria	89
<b>Capítulo 15. Conclusión</b> .....	<b>92</b>
<b>Capítulo 16. Bibliografía</b> .....	<b>93</b>

## *Índice de ilustraciones*

ILUSTRACIÓN 1. RELACIÓN ENTRE CONSUMO Y POBLACIÓN. (SMIL V. ENERGY MYTHS AND REALITIES, 2010. ).....	8
ILUSTRACIÓN 2. EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA POR HABITANTE. (BANCO MUNDIAL 2023) .....	9
ILUSTRACIÓN 3. ESCENARIO ENERGÉTICO NZE. (RENEWABLES NOW 2023) .....	11
ILUSTRACIÓN 4. INCREMENTO DE PRECIO PORCENTUAL. (WORLD ECONOMIC FORUM 2023) .....	14
ILUSTRACIÓN 5. PRECIO DEL BARRIL. (STATISTA 2023) .....	15
ILUSTRACIÓN 6. EVOLUCIÓN DEL BALANCE NX. (SECRETARÍA DE ESTADO DE COMERCIO, 2023) .....	17
ILUSTRACIÓN 7 PROCEDENCIA IMPORTACIONES DE GAS (BOLETÍN ESTRATÉGICO DE ENAGÁS, 2023) .....	18
ILUSTRACIÓN 8. EVOLUCIÓN MENSUAL PRECIO DE LA LUZ (GRUPO ASE, OMIE, 2023) .....	19
ILUSTRACIÓN 9. ESQUEMA BOMBA DE CALOR EMPLEADA EN AEROTERMIA. (LASSER 2023) .....	26
ILUSTRACIÓN 10. IRRADIANCIA EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA. (ÁREA TECNOLOGÍA, 2023) .....	37
ILUSTRACIÓN 11. SEMICONDUCTOR TIPO N. (EHU, 2023) .....	38
ILUSTRACIÓN 12. REGIÓN DE AGOTAMIENTO. (ÁREA TECNOLOGÍA, 2023) .....	40
ILUSTRACIÓN 13. CONEXIÓN EN CARGA. (EHU, 2023) .....	41
ILUSTRACIÓN 14. COLOCACIÓN DE LAS ZONAS. (WEBELECTRO, 2023) .....	42
ILUSTRACIÓN 15. COMPONENTES DE UN PANEL. (ECOLNVENTOS,2023).....	43
ILUSTRACIÓN 16. CURVA IV. (AUTOSOLAR, 2023).....	46
ILUSTRACIÓN 17. BATERÍAS MONOBLOCK (CYNETIC, 2023) .....	48
ILUSTRACIÓN 18. BATERÍAS DE CICLO PROFUNDO (ABS LEIUSURE, 2023) .....	49
ILUSTRACIÓN 19. BATERÍA AGM (ECOSOLAR,2023).....	50
ILUSTRACIÓN 20. BATERÍAS ESTACIONARIAS (FREEDOM 2022) .....	50
ILUSTRACIÓN 21. BATERÍA DE LITIO. (COOBANK, 2023) .....	51
ILUSTRACIÓN 22. REGULADOR PWM. (QUITOLED, 2023) .....	52
ILUSTRACIÓN 23. REGULADOR MPPT (EBAY, 2023) .....	53
ILUSTRACIÓN 24. PRECIO DE LA LUZ. AUTORÍA PROPIA .....	61
ILUSTRACIÓN 25. HSP Y HORAS DE SOL EFECTIVAS. (ASIF, 2023) .....	63

ILUSTRACIÓN 26. SOPORTE DEL PANEL. (AMAZON 2023) .....	69
ILUSTRACIÓN 27. EFECTO DE LA SUCIEDAD. (PHINEAL 2023) .....	71
ILUSTRACIÓN 28. PÉRDIDAS MÁXIMAS PERMITIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN NO ÓPTIMAS (IDAE 2023) .....	72
ILUSTRACIÓN 29. MÉTODO ÁNGULO DE INCLINACIÓN. (IDAE 2023).....	72
ILUSTRACIÓN 30. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR. (AUTOSOLAR 2023) .....	76
ILUSTRACIÓN 31. CONEXIÓN EN PARALELO (MPPT SOLAR, 2023) .....	79
ILUSTRACIÓN 32. CONEXIÓN EN SERIE (SOLARCELL 2023) .....	80
ILUSTRACIÓN 33. EVOLUCIÓN DEL PRECIO DE LA LUZ .....	86
ILUSTRACIÓN 34. EURIBOR (FUTUR FINANCES, 2023) .....	89

## *Índice de tablas*

TABLA 1, AUTORÍA PROPIA.....	27
TABLA 2. AMERISOLAR PANELES.(AMERISOLAR 2023) .....	44
TABLA 3. TRINA SOLAR CATÁLOGO (TRINA SOLAR,2023) .....	44
TABLA 4 CONSUMOS. ELABORACIÓN PROPIA.....	60
TABLA 5. PRECIOS DE LA LUZ. AUTORÍA PROPIA. ....	61
TABLA 6. CATÁLOGO ALEO 2022. FABRICACIÓN PROPIA .....	66
TABLA 7. INVERSOR APS D63. (AUTOSOLAR, 2023) .....	68
TABLA 8. LÍMITES DE PÉRDIDAS (IDAE 2023).....	72
TABLA 9. INCREMENTO DE TEMPERATURA RESPECTO A LA TEMPERATURA AMBIENTE. AUTORÍA PROPIA..	75
TABLA 10. SUMATORIO DE LAS PÉRDIDAS TOTALES. AUTORÍA PROPIA. ....	77
TABLA 11. COSTES DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN .....	83
TABLA 12. COSTES DIRECTOS Y PBL.....	84

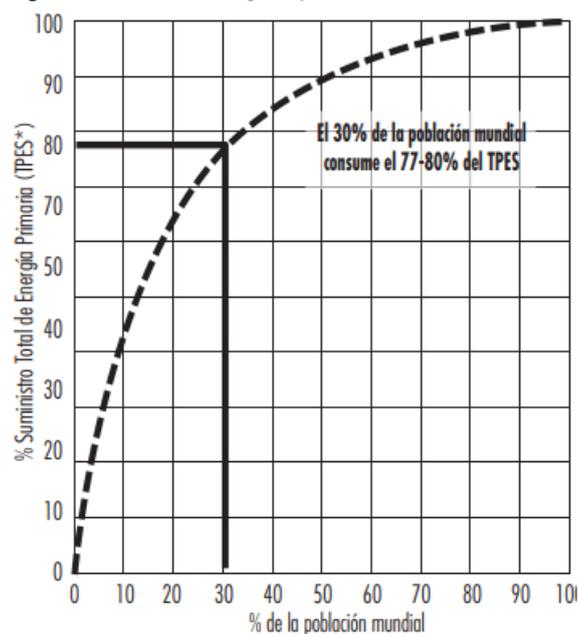
TABLA 13. COSTES DE MANTENIMIENTO 2023-48 .....	85
TABLA 14. INGRESOS .....	87
TABLA 15. RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN .....	88
TABLA 16. FLUJOS CONSOLIDADOS PRÉSTAMO BANCARIO. AUTORÍA PROPIA .....	91

## **Tabla de abreviaturas y acrónimos:**

1. Van: Valor Actual Neto
2. Tir: Tasa interna de retorno
3. HSP: Horas solar pico
4. MPPT: Maximum Power Point Tracking
5. PWM: Pulse Width Module
6. FF: Factor de forma
7. RD: Real Decreto
8. PBL: Presupuesto Base de la Licitación

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La energía es un bien limitado, y la optimización y eficiencia de su consumo y generación preocupa cada vez a las autoridades, las empresas y los particulares. La actual distribución del consumo de energía no es homogénea a lo largo del territorio mundial. Como muestra el estudio de la fundación Pfizer, gran parte del total de la energía primaria consumida lo es por un segmento menor de la población. Este corresponde a los países occidentales y China, cuya mayor actividad industrial y calidad de vida genera consumos mucho mayores per cápita.

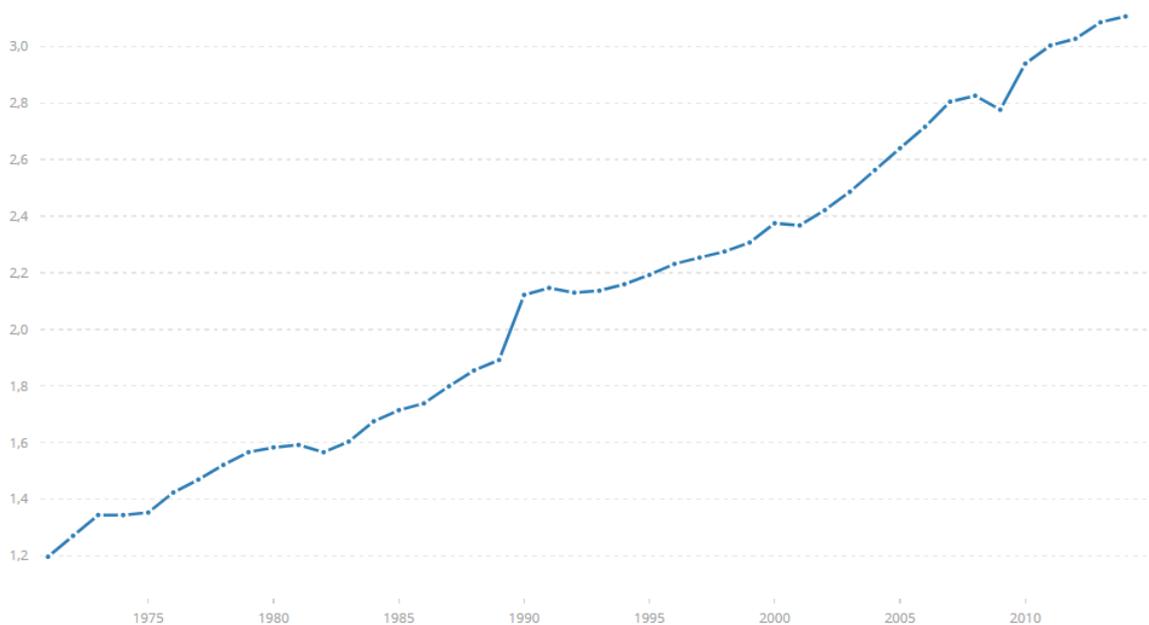


*Ilustración 1. Relación entre consumo y población. (Smil V. Energy Myths and Realities, 2010. )*

Con estos datos, solo cabe esperar que el consumo de energía per cápita continúe aumentando. Desde mediados del s. XIX hasta la actualidad la población ha aumentado multiplicándose por seis, mientras que el consumo de energía lo ha hecho por más de cincuenta. Esta tendencia, de acuerdo con datos del banco mundial persistirá a lo largo del

tiempo; incrementándose el consumo per cápita acorde al desarrollo industrial de los países en vías de desarrollo.

Como muestra el gráfico del Banco Mundial, en los últimos años el consumo de energía por habitante ha alcanzado máximos de 3,2 kWh por habitante, manteniendo la tendencia alcista.



*Ilustración 2. Evolución del consumo de energía por habitante. (Banco Mundial 2023)*

Pese a que la reducción y optimización del consumo de energía debe ser otro foco de investigación, y se deben proporcionar soluciones que aumenten los rendimientos de los consumos y los centros de generación, así como reducir el gasto ineficiente; parece claro que la tendencia al incremento del consumo es inevitable, y que es necesario encontrar fuentes de energía que conforme un porcentaje creciente de la oferta para asegurar precios permisivos y un impacto medioambiental tan reducido como sea posible.

Con la llegada de la Revolución Industrial y la llegada de tecnologías que necesitaban un suministro de energía, la sociedad comenzó a utilizar combustibles fósiles para generar energía en centrales térmicas o calderas para la quema de carbón. La energía generada a

partir de estos combustibles se denomina no renovable, y pese a que se encuentra en la naturaleza y se forma a través de distintos procesos naturales, principalmente tratamiento a altas presiones de residuos orgánicos, tienen reservas limitadas. Según aumenta la demanda y se reduce o agotan las reservas de estos combustibles, la extracción se vuelve más costosa y compleja, siendo necesario hallar nuevos yacimientos, muchas veces mediante el uso de tecnologías más costosas y menos sostenibles. Otro de los grandes perjuicios de este tipo de energías, quizás el más importante es su impacto medioambiental y su contribución al calentamiento global y a la emisión de gases de efecto invernadero. Todo esto afecta a una gran variedad de ecosistemas, e incluso pone en peligro la salud y el bienestar de los núcleos de población humanos.

Con el fin de encontrar otras alternativas de oferta energética que abastecieran la demanda, se busca aprovechar y canalizar otras fuentes de energías, de menor coste e impacto medioambiental, y que además se pueden considerar ilimitadas. Se desarrollan así las energías renovables. Las principales diferencias es que se encuentran en abundancia en todo el planeta, democratizando la energía ya que la oferta ya no estaría en manos de unos pocos países, que por su privilegiada localización geográfica cuentan con gran parte de las reservas; también tienen emisiones nulas o muy bajas de gases de efecto invernadero. Además, otra gran ventaja económica y social, es que suponen una oportunidad de desarrollar una amplia gama de infraestructuras que necesitan ser construidas y mantenidas generando empleo y actividad económica en los países que decidan embarcarse en la transición energética.

Entre este tipo de energías, se encuentran la energía solar, la eólica, la mareomotriz, la biomasa, el biogás, la geotérmica, la aerotermia y la oleo voltaica. El uso de estas energías ha ido aumentando gradualmente, tanto en España como a nivel mundial. A nivel mundial según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), el % de energías renovables del total de energía generada ha ido aumentando gradualmente, si bien es cierto que en 2021 este aumento ha sido de solo un 0,4%. Se estima que de cara a lograr el escenario NZE, Net Zero Emissions, esta fracción de energías renovables siga aumentando. En 2021 fue de

28,1%. En España de acuerdo a Renewables Now, la fracción de energía correspondiente a renovables fue de un 42,2%, y se espera que con el crecimiento del autoconsumo y la inversión en infraestructura de generación eólica y solar alcance el 50% en 2023. El potencial de España en cuanto a renovables es muy alto por su perfil de demanda y sus condiciones meteorológicas, de hecho, en Marzo de 2020, se logró que las fuentes renovables abastecieran el 78,8% de la demanda de electricidad.

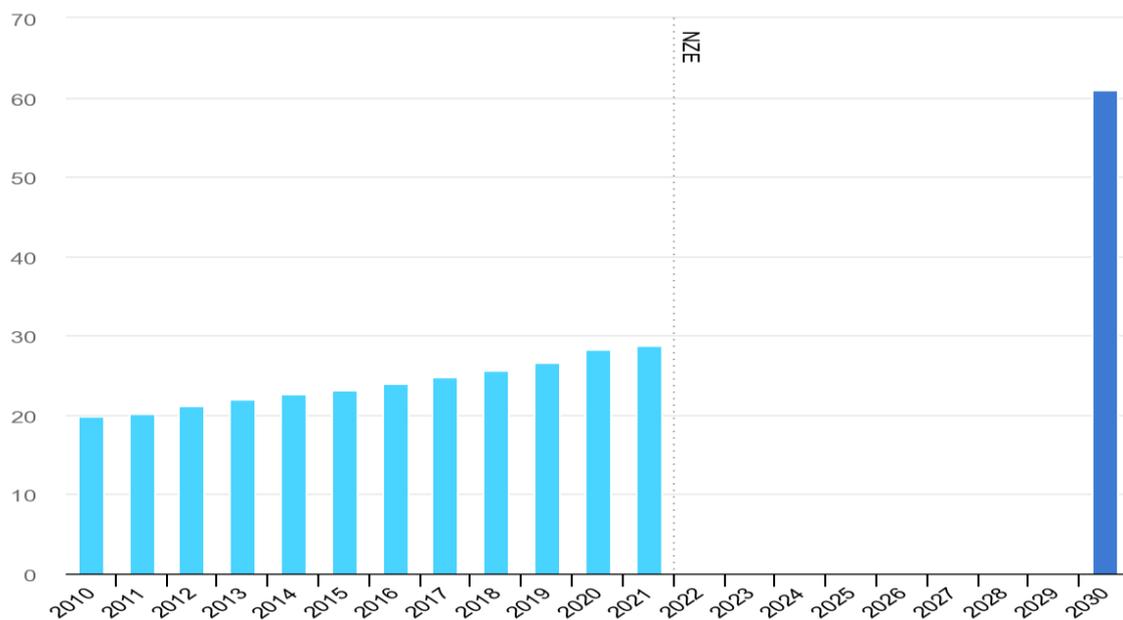


Ilustración 3. Escenario energético NZE. (Renewables Now 2023)

El escenario NZE plantea una combinación de renovables y nuclear que permitirá reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mientras se satisface toda la demanda.

Hoy en día, este tipo de energías renovables se pueden instalar en viviendas de diferentes maneras. Desde la implantación de paneles solares hasta la implantación de aerogeneradores domésticos que aprovechen recursos naturales para autoabastecer los consumos de edificios, industrias y comercios. Actualmente, el 1,8% de la energía total

consumida procede del autoabastecimiento. Esto sumado a la disminución del consumo de energía de 2,9% y a que más del 50% de las nuevas fuentes de energía instaladas han sido renovables, dan esperanza a un futuro más sostenible en España.

## **Capítulo 2. CONTEXTO POLÍTICO ENERGÉTICO**

Además de por evolucionar hacia una economía y una sociedad sostenible y respetuosa con el medioambiente, otro de los grandes alicientes para España y para Europa es la independencia energética y la moderación de los precios de la energía. En la actualidad, el contexto geopolítico y energético están muy ligados por la globalización de la economía y la importación de combustibles fósiles y gas natural de distintos territorios. La actual volatilidad de algunas de estas relaciones internacionales debido a conflictos o tensiones políticas afecta a los precios de la energía (gas y electricidad), poniendo en peligro el acceso a la energía de algunos consumidores e incrementando el precio de los productos industriales. Por ello es necesario entender algunos de estos problemas:

### **2.1 CONFLICTO EN UCRANIA**

El 24 de febrero de 2022, tropas rusas invadieron Ucrania reclamando la soberanía rusa de ciertas regiones de la nación ucraniana. Esto represento el comienzo del mayor conflicto militar en Europa desde la ruptura de la Antigua Yugoslavia. Demográficamente, las consecuencias están siendo aún ahora desoladoras, generando la mayor migración de refugiados desde la II Guerra Mundial. El origen de este conflicto es multifacético y complicado de achacar a un solo factor. Ucrania se divide en dos facciones, una prorrusa y otra que se quiere liberar del yugo político y la influencia soviética y que busca políticas prooccidentales, e incluso unirse a la UE o a la OTAN. En 2014, tras rechazar unirse a la OTAN bajo el mandato de un presidente prorruso, estallaron revueltas a lo largo de la nación ucraniana, y se formó un nuevo gobierno afín a Occidente. Esto dio lugar a una respuesta de los prorrusos, que finalmente en 2022 autoproclamarían dos Repúblicas Populares en Donetsk y Lugansk, ambas regiones orientales de Ucrania. Rusia, el 21 de febrero envió tropas y recursos militares a estos, tras reconocerlos como territorios independientes. Tras una fase especialmente cruenta de la contienda, donde tropas rusas invadieron gran parte del país, el 19 de Abril las tropas rusas de retiraron de Ucrania Central, manteniéndose aún el conflicto en la

zona de Dombás, en el este de Ucrania. Actualmente el conflicto sigue en vigor, con Rusia destruyendo poblaciones e infraestructuras ucranianas, la última la presa de Nova Kajovka, que ha resultado en el vertido de toneladas de aceite y el desabastecimiento de poblaciones cercanas.

Este conflicto es muy relevante para entender la situación energética europea. En el año siguiente a la guerra los precios de las energías no renovables aumentaron de acuerdo a la Ilustración 4 (World Economic Forum). Esta evolución de los precios ha hecho que los costes asociados directa o indirectamente a la energía se hayan incrementado entre un 63% y un 113% en el conjunto de la economía. Para los hogares a nivel global, esto ha supuesto un coste en facturas de energía de entre un 2,7% y un 4,8%.

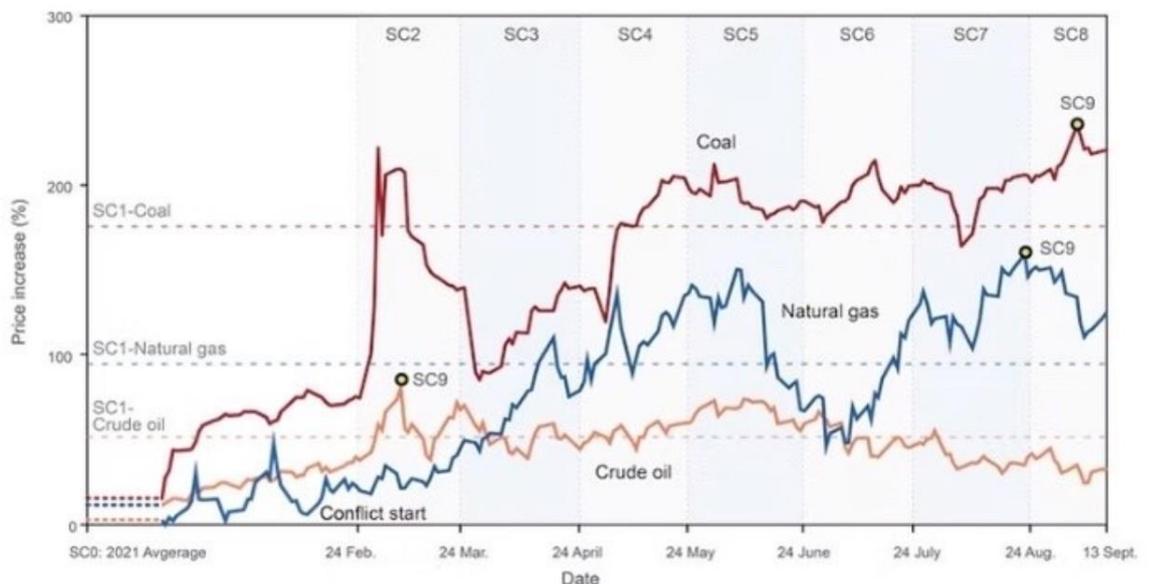
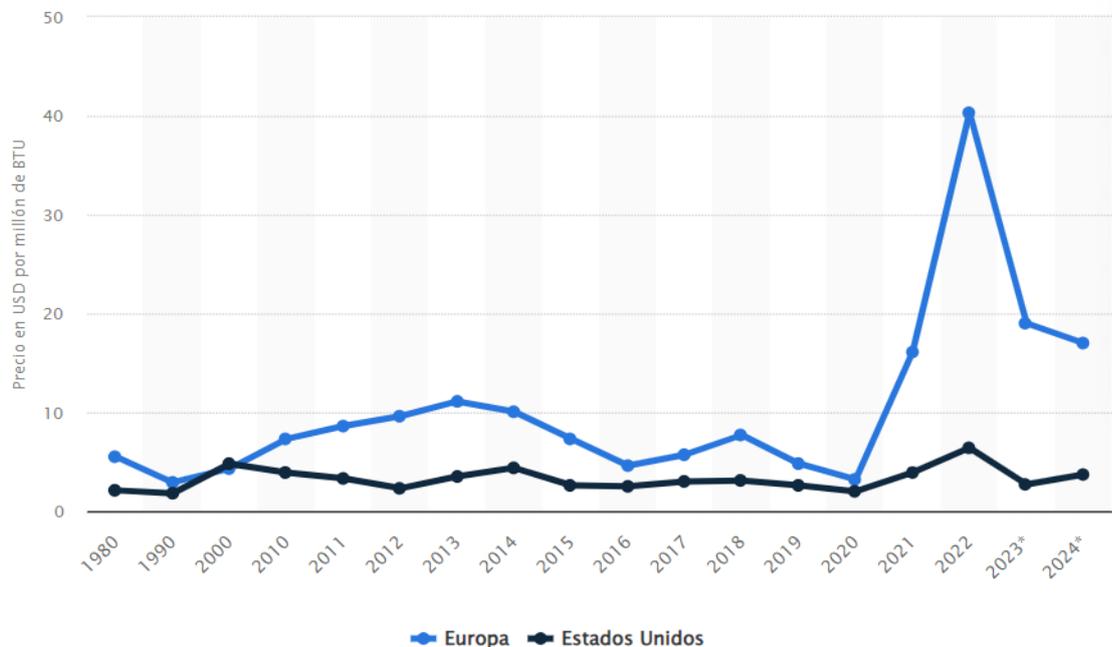


Ilustración 4. Incremento de precio porcentual. (World Economic Forum 2023)

España, como parte de Europa, se ha visto especialmente afectada por la situación, ya que gran parte de nuestro suministro de gas dependía directamente de Rusia, y por las distintas restricciones impuestas al gigante soviético estos han reducido la oferta aumentando el precio de equilibrio de mercado. Alemania depende en más de un 50% del gas ruso para satisfacer su demanda de gas, otros como Bulgaria o Finlandia lo hacen en un 100%; esto imposibilita que Europa pueda emanciparse

completamente de Rusia energéticamente, y por sus distintas leyes y recursos, es incapaz de autoabastecerse en la actualidad. Como respuesta ha seguido importando gas y crudo ruso, y buscado otros proveedores como EEUU. Actualmente, debido a las grandes reservas europeas, la reducción de la demanda y la modificación de ciertas leyes el precio se ha moderado, pero sigue muy por encima de la media histórica europea, como se observa en la Ilustración 5( Statista, 2023).



*Ilustración 5. Precio del barril. (Statista 2023)*

## **2.2 PROBLEMAS CON ARGELIA**

El conflicto entre Argelia y Marruecos comenzó hace algún tiempo, el estado de las relaciones entre ambas naciones se ha ido deteriorando con el tiempo, llegando al extremo de la ruptura total de las relaciones diplomáticas entre ambas naciones. El origen de este

conflicto se debe a la compleja situación del Sahara Occidental. Desde que España abandonase el territorio en 1975, la nación marroquí lo ha reclamado para sí, mientras que Argelia ha apoyado al Frente Polisario de Liberación Saharaui. En contraposición Marruecos defiende el derecho a la autodeterminación de pueblos argelinos de la zona. Hay que tener en cuenta que el precio de la luz y de la energía se ve fuertemente influenciada por los precios del gas, y que Argelia cuenta actualmente con la tercera mayor reserva de gas de esquisto del mundo. Este gas llega a Europa en estado gaseoso a través de un gasoducto que en primera instancia lo transporta primero de Argelia a Marruecos. La escalada de tensiones entre ambos países escaló en primer lugar con la cerrada del espacio aéreo nacional de Argelia a Marruecos, a lo que la nación marroquí respondió cerrando el gasoducto mencionado con anterioridad en octubre de 2021. Las consecuencias económicas para España son muy graves, ya que Argelia es uno de los principales socios comerciales en África. Estas consecuencias se vieron agravadas cuando el poder ejecutivo del Estado español cambió su postura acerca del conflicto, apoyando a Marruecos. Esto supuso una gran reducción del balance comercial entre ambas naciones afectando a los precios del gas y a las exportaciones españolas como se observa en la Ilustración 6:

### Exportaciones España a Argelia y Marruecos

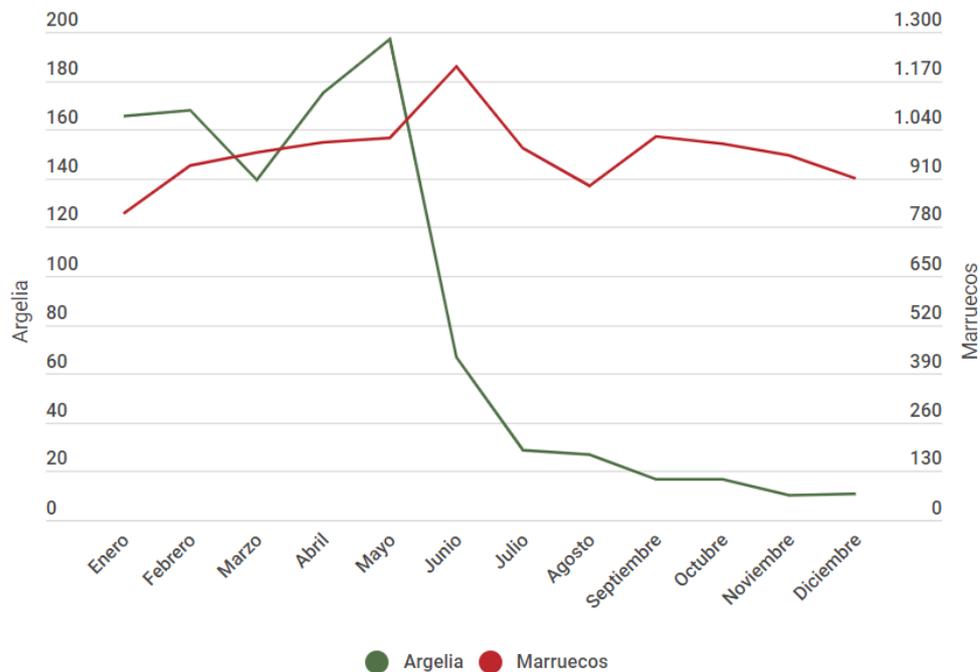


Ilustración 6. Evolución del balance NX. (Secretaría de Estado de comercio, 2023)

En 2021, España supuso el 9,8% de las exportaciones argelinas y un 6,2% de las importaciones. Como se observa en el gráfico las exportaciones cayeron de 197 millones de euros a 11 en el último mes del año 2022. De las importaciones de España que provienen de Argelia, más del 90% tiene carácter energético. Por poner en contexto la importancia de este suministro, en la Ilustración 7, se muestra la ponderación del suministro de gas argelino:

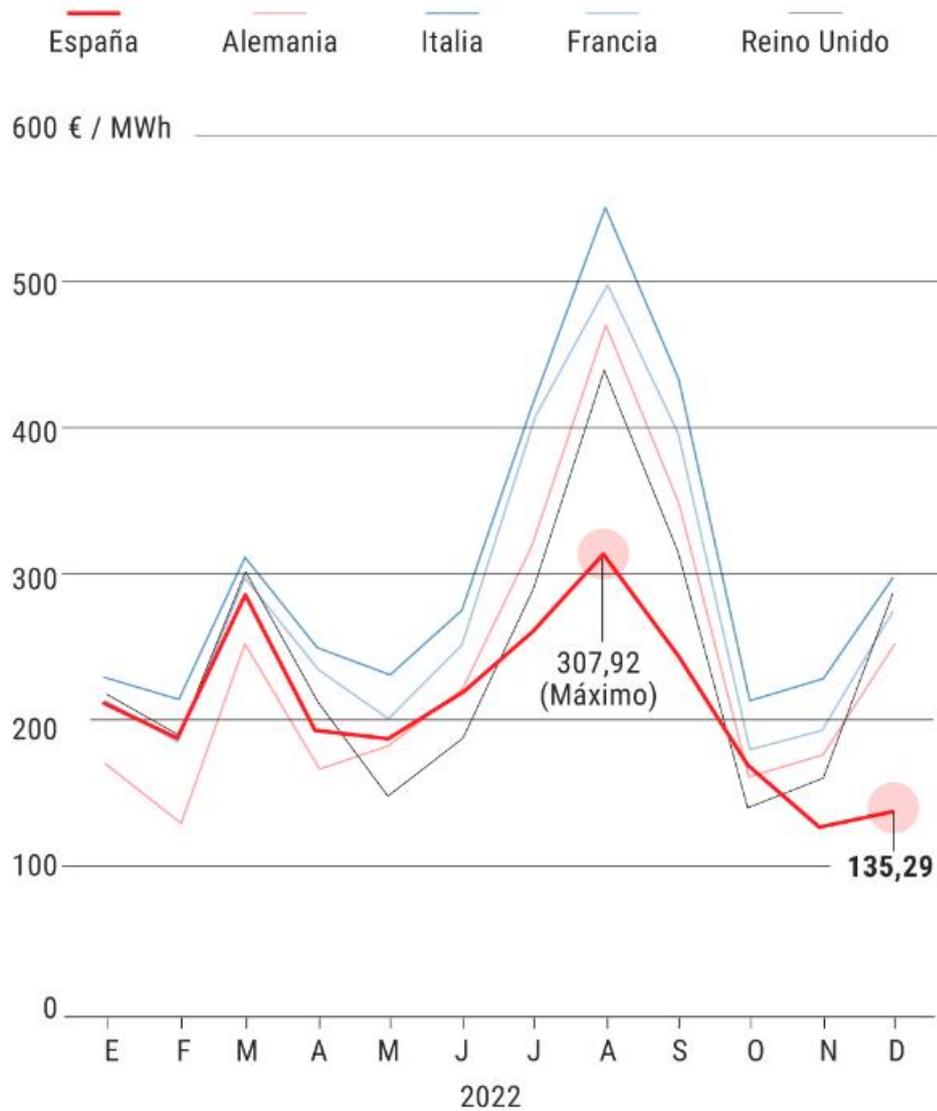


*Ilustración 7 Procedencia importaciones de gas (Boletín Estratégico de Enagás, 2023)*

### 2.3 MEDIDAS DEL GOBIERNO

Las medidas del gobierno se resumen principalmente en dos bloques, una serie de medidas para reducir la escalada de precios y otra serie de paquetes legislativos que buscan fomentar el uso de energías renovables. La inestabilidad provocada por todos los conflictos anteriores resultó en un 2021 y un 2022 de precios de la energía que alcanzaron máximos históricos y una gran volatilidad, exponiendo al consumidor medio a destinar una parte importante de sus ingresos en facturas de la luz e incrementando los precios de forma indirecta de los sectores primario y secundario. Como se muestra en la Ilustración 8, durante 2022 se alcanzaron precios máximos.

## EVOLUCIÓN MENSUAL DEL PRECIO DE LA LUZ



*Ilustración 8. Evolución mensual precio de la luz (Grupo ASE, OMIE, 2023)*

Las medidas buscando frenar la subida de los precios fueron las siguientes:

### **2.3.1 REDUCCIÓN DE LOS CARGOS**

Se estipula una nueva reducción en el concepto de “cargos” en nuestra factura, aplicable a la energía consumida y a la potencia contratada que alcanzará el 55%. La medida supone una reducción del 96%, en los cargos de nuestra factura, hecho con el que se preveía disminuir considerablemente nuestra tarifa de luz. Tanto los consumidos de mercado regulado, como aquellos de mercado libre se podían acoger a esta medida. Y, durante todo el año 2022, se preveía que el descuento aplicado pasara del 96% al 30%. Aunque, como acabamos de ver, a finales de marzo y a consecuencia de la guerra, el descuento se fijó en un 55%. La medida no fue del todo efectiva, ya que debido al empeoramiento de la coyuntura, las eléctricas se vieron obligadas a subir aún más los precios, por lo que en términos absolutos la factura incluso subió, pese a las reducciones de esta norma.

### **2.3.2 EXTENSIÓN DE LA REBAJA DE IMPUESTOS**

Se prorrogaron los recortes fiscales a lo largo de todo el año 2022. Suspendiendo el impuesto del 7% a la generación de energía eléctrica y reduciendo el impuesto sobre el valor añadido del 10% al 5% y disminuyendo el impuesto eléctrico del 5% al 0,5%.

### **2.3.3 AUMENTO DEL DESCUENTO EN EL BONO SOCIAL ELÉCTRICO**

Se extiende el descuento concedido a través del Bono social en la factura al ciudadano vulnerable, de entre el 60 y el 70 por ciento acuerdo al nivel de pobreza de cada caso. Esta ayuda requiere de unos requisitos mínimos que no se cumplen en la vivienda, pero para proyectos en otras geografías puede resultar relevante. Las categorías de pobreza económica se dividen en consumidor vulnerable y consumidor severo, respectivamente.

### **2.3.4 INCREMENTO DEL BONO SOCIAL TÉRMICO**

Se incrementa la ayuda económica mínima para el consumidor vulnerable de 25€ a 35€.

### **2.3.5 MAYORES ESFUERZOS PARA FACILITAR LA TRANSPARENCIA DE LAS DISTRIBUIDORAS DEL MERCADO ELÉCTRICO**

Se obliga legalmente a las entidades encargadas de proveer gas y electricidad a avisar con antelación de cualquier modificación en el contrato de suministro y a dar notificación de esta en el contrato, así como proporcionar una explicación detallada de los motivos y los cambios introducidos. Esto permitirá facilitar la revisión de los mercados minoristas.

Adicionalmente en el mercado mayorista, las compañías deberán notificar cualquier acuerdo o contrato que lleven a cabo entre ellos.

Por último, deberán facilitar a las entidades gubernamentales pertinentes sus tarifas actualizadas.

### **2.3.6 EXTENSIÓN DEL ESCUDO SOCIAL**

El suministro mínimo vital, que impide el corte del suministro eléctrico por impago a consumidores en situación de pobreza energética, fue una medida concebida para proteger socialmente a los ciudadanos y asegurar unas condiciones mínimas de confort.

### **2.3.7 LIMITAR EL PRECIO DEL GAS EN EL POOL**

España y nuestro vecino luso, alcanzaron un acuerdo con la CE que capaba el precio del gas. Ya que el precio de este afectaba al precio marginal de la energía, afectando al precio final que afrontaba el consumidor ibérico. El tope alcanzado fue de 40 euros Mwh en principio, y este iría aumentando mensualmente en cinco euros el Mwh.

### **2.3.8 MEDIDAS ADICIONALES**

En otros paquetes de medidas se aprobaron una serie de medidas que afectaban al importe de la factura. Entre ellas destacan la subida de la aportación de la recaudación de las subastas de CO2 que irían destinadas principalmente a cubrir los costes del sistema eléctrico. Se redujo temporalmente también el exceso de retribución obtenida por las centrales de generación no emisoras en el mercado mayorista. Se rebajaron los peajes a la industria electro-intensiva. Se fomenta el uso del autoconsumo, como por ejemplo eximiendo al consumidor de

presentar un aval que garantice la inversión en pequeñas instalaciones de autoconsumo. Por último se aprobó un impuesto del 1,2% de las ventas totales a las energéticas y se prometieron sanciones para aquellas distribuidoras que trasladasen el impuesto al consumidor.

#### **2.4 PLAN DE RECUPERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y RESILIENCIA**

De acuerdo al Gobierno de España, en su capítulo 7 del plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, se incluye el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima.

Este plan ‘prevé un crecimiento significativo de la penetración de las energías renovables en España, llegando en 2030 al 74% en el ámbito eléctrico y al 42% sobre el uso final’ (PNIEC, 2021). El principal objetivo de este paquete de medidas es incrementar el share de las energías renovables dentro del pool que satisface la demanda energética española. Intenta conseguir esto mediante el desarrollo de un marco legal y normativo robusto y que ofrezca seguridad al consumidor y favorezca las inversiones, que por la naturaleza de los activos tienen periodos de amortización de varios años. Se trata de asimilar y aunar los esfuerzos de la industria para introducir las energías renovables en su portfolio de abastecimiento energético. Además de una serie de medidas que favorezcan no solo el desarrollo de las tecnologías que permiten la obtención y aprovechamiento de estas energías, si no que también se busca maximizar el impacto económico y laboral que esta transición entalla.

La inversión total estimada para desarrollar los planes de medidas, ayudas e incentivos se estima en unos € 3.165 MM.

Las medidas en concreto son, R de reforma e I de inversiones de capital:

- C7.R1: Marco normativo para el fomento de la generación renovable, que da seguridad y fomenta la inversión de entes privados, tanto particulares como institucionales.

- C7.R2: Implementa la Estrategia Nacional de Autoconsumo, planea a lo largo de la década identificar y solventar las principales barreras que previenen el despliegue pleno de estas tecnologías en todos los ámbitos de la sociedad.
- C7.R3: Desarrollo de comunidades energéticas que incentiven la participación de distintos núcleos rurales y urbanos en comunidades energéticas sostenibles, mediante la implementación de formaciones y el impulso de proyectos definidos.
- C7.R4: Constituye otro marco normativo que facilita y garantiza la innovación y el desarrollo técnico de las tecnologías renovables, que permita optimizar las tecnologías existentes y su despliegue acoplándolo a la cadena de valor industrial nacional, y a las condiciones económicas, sociales y medioambientales del país. Incluye entre otros el impulso de la energía eólica marina, el biogás y el impulso de bancos de pruebas.
- C7.I1: Inversiones orientadas principalmente a la integración de tecnologías renovables en la edificación y los procesos productivos existentes. Se logrará con la instauración de líneas de ayuda a la inversión y con despliegue de fondos públicos de forma directa en ciertos proyectos o ideas rompedoras.
- C7.I2: Inversión y apoyo en proyectos que favorezcan la penetración e integración de los sistemas renovables en los archipiélagos nacionales.

## **Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN**

Actualmente existen diversas tecnologías renovables susceptibles de instalarse en edificios de viviendas de toda índole.

### **3.1 PANELES SOLARES**

Los paneles solares permiten transformar la energía solar en energía eléctrica a través del proceso fotovoltaico, a través de la excitación de miríadas de celdas de silicio cristalino (material semiconductor). Cuando la energía solar alcanza las celdas, éstas capturan fotones y liberan electrones; lo cual genera una corriente eléctrica. Además de las propias celdas, la instalación de un panel solar debe incluir un marco y una funda protectora que proteja la instalación de condiciones adversas. Por último, también se debe instalar un inversor, dispositivo que permite transformar la corriente continua generada en corriente alterna susceptible de ser inyectada en la red. Además, el inversor actúa de sistema de monitorización, y permite al usuario o propietario obtener datos acerca del rendimiento y el estado de la instalación.

Los paneles solares producen entre 150 y 500 MW por hora pleno rendimiento, aunque los más comunes son aquellos entre 250 y 300 MW. Los factores que más afectan al rendimiento de estos, son las horas de luz y la cantidad de radiación solar recibida

Con la reciente volatilidad de los precios de la energía, y su tendencia alcista en los últimos años, por el gradual incremento del precio de los combustibles fósiles, el consumidor retail occidental ha encontrado un alivio económico a su factura en la instalación de paneles solares para el autoconsumo. En función de la geografía, esta medida está más arraigada o menos; por ejemplo; Alemania cuenta con 2 millones de

instalaciones de autoconsumo, mientras que España apenas cuenta con 150 mil. Con el fin de promover su expansión, y el objetivo de la IDAE de que España genera 14 GW de energía eléctrica a partir del autoconsumo, las autoridades han aprobado una serie de ventajas para la instalación y rentabilización de estas tecnologías. En la zona del edificio, Madrid, se encuentran las siguientes ventajas:

1. Precios asequibles (3500-7000€ en función de la cantidad de módulos)
2. Subvenciones
3. Compensación de excedente
4. Retorno de inversión (break-even) rápido
5. Inclinación y orientación de los paneles

Otro motivo por el que esta solución resulta atractiva es la gran facilidad de crédito y financiación adaptada que ofrecen cada vez más entidades bancarias y similares. Reduciendo mucho la necesidad de inversión inicial y permitiendo al cliente conservar su posición de liquidez.

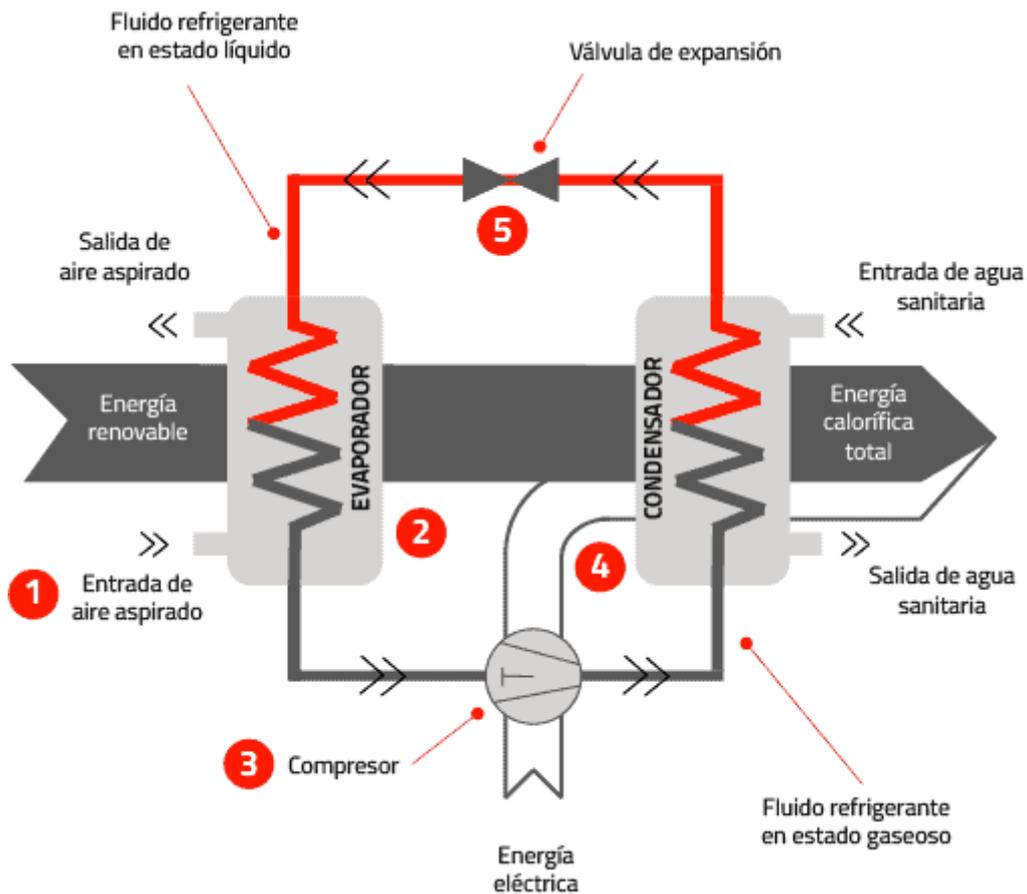
### **3.2 EÓLICA**

Pese a ser más habituales en grandes parques eólicos, los aerogeneradores domésticos son cada vez más comunes. Empresas internacionales, como Vantum, apuestan por las turbinas de eje vertical (VAWT) combinadas con paneles solares para autoabastecer residencias y edificios comerciales e industriales. Esta tecnología es cara y en fase de desarrollo, por lo que se descarta para esta comunidad de vecinos. Pero en el futuro cumplirá con la normativa acústica, energética para instalarse junto a paneles.

### 3.3 AEROTERMIA

La aerotermia se basa en la utilización de bombas de calor para la aclimatación de viviendas. Se aprovecha de la temperatura del aire exterior para obtener energía y alimentar aire acondicionado o agua caliente sanitaria.

La bomba absorbe el calor procedente de la radiación solar absorbido por el aire exterior, y lo introduce en la unidad interior (la vivienda) para calentar agua en invierno, y realiza el proceso inverso, utilizando un refrigerante en verano, generando AC.



*Ilustración 9. Esquema bomba de calor empleada en aerotermia. (Lasser 2023)*

Si bien este sistema es muy útil, y se están desarrollando válvulas especialmente en el norte de Europa para lograr la independencia energética en la situación actual, tiene un coste de inversión alto, y además requiere de la instalación de compresores en las fachadas

de las viviendas, lo que supone un incumplimiento de la normativa municipal de fachadas. Ciertas aplicaciones de la aerotermia, como el suelo radiante o el mezclador con agua fría, incrementan significativamente su coste.

### **3.4 BIOMASA**

El empleo de calderas de biomasa es cada vez más común en edificios de viviendas y viviendas unifamiliares. Las calderas de biomasa son susceptibles de alimentarse con residuos energéticos, que generan una biomasa de cierta capacidad calorífica. La caldera de combustión cuenta con un intercambiador de calor que cede calor a la corriente de agua circulante, alimentando a las viviendas de agua caliente. Pese a generar emisiones como toda combustión orgánica, se trata de emisiones neutras, por lo que se trata de una solución completamente renovable también. Pese a ser una alternativa viable, requiere mayor esfuerzo manual y de labor de los vecinos, ya que habría que adquirir materiales orgánicos y desechos suficientes para alimentar la caldera de un gasto másico de combustible suficiente.

### **3.5 ALTERNATIVA SELECCIONADA**

<b>Energía</b>	<b>Precio mínimo</b>	<b>Precio máximo</b>	<b>Output energético</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Normativo</b>
<b>Fotovoltaica</b>	5000	10000	1200-1500 kWh anuales/ kW instalado	No	Sí
<b>Eólica</b>	20000	30000	1500-2500 kWh anuales/ kW instalado	No	Sí
<b>Aerotermia</b>	8000	15000	3-4 kW	No	No
<b>Biomasa</b>	8000	15000	2500-3000 kWh anuales/ kW instalado	Sí	Sí

*Tabla 1, Autoría propia*

Dadas las limitaciones económicas, la facilidad de financiación y el cumplimiento con la normativa vigente y la facilidad de uso, se optará por paneles fotovoltaicos.

## Capítulo 4. MOTIVACIÓN

Existen dos principales motivaciones para a la realización de este proyecto. En primer lugar, una motivación que más colectiva, que es la de sumar en la medida de lo posible y contribuir a una sociedad más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Las comunidades de vecinos y los consumos asociados a estas, luz y calefacción principalmente, representan una fracción muy significativa de los consumos de las sociedades occidentales, y para satisfacerlos se ha hecho uso de energías contaminantes y limitadas, como los combustibles fósiles. Como parte de esta sociedad, la comunidad de vecinos quiere aportar su grano de arena y reducir su huella climática abasteciéndose a partir de recursos renovables y de emisiones nulas.

En segundo lugar, existe también un motivo económico. La energía como ‘commodity’ se ve expuesta volatilidad geopolítica, a tensiones en el mercado y a distintas tasas e impuestos. En los últimos años se ha visto como tensiones en territorios claves para el suministro y decisiones políticas afectan a la factura, duplicando incluso su importe. Por ello el ahorra mensual logrado con estos paneles, se espera que aporte un ROIC positivo y ahorre en el largo plazo. Además diferentes versiones de financiación ofrecen la posibilidad de reducir mucho el capital inicial necesario.

## **Capítulo 5. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

Cómo se menciona anteriormente, el objetivo del proyecto es eficiente energéticamente mediante la instalación de paneles solares el edificio de viviendas y locales comerciales situado en Calle Cosas, situado en la ciudad de Madrid. Este edificio cuenta con 12 viviendas, de entre 140 y 200 metros cuadrados de superficie, 4 locales comerciales y un bajo interior. Una vez estudiado el presupuesto y el estudio solar, mediante el uso de datos para estimar la radiación solar esperable a lo largo de la vida útil del proceso; se diseñará la instalación en sí; con el tipo de paneles y la inclinación de estos. Se realizarán la instalación de paneles que cubran el 75% de la demanda del edificio. Y se estudiarán también las distintas opciones de financiación: inversión directa y préstamo.

## **Capítulo 6. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE**

La instalación de energías renovables en un entorno urbano tiene un impacto social y medioambiental muy positivo. Se alinea con los siguientes ODS:



Se alinea con el objetivo 7, ya que emplea soluciones sostenibles y duraderas de autoabastecer entornos residenciales y urbanos, reduciendo así la huella de carbono de las ciudades y reduciendo la dependencia de fuentes de energías con emisiones. Además, conciencia y promueve el empleo de los recursos económicos de las comunidades de vecinos para ahorrar dinero en el largo plazo mientras se ayuda al planeta y a conservar los ecosistemas.



Cualquier forma de energía renovable que sea instalada de acuerdo a la normativa y respetando ecosistemas y vida salvaje preexistente ayuda a generar economías urbanas de menor impacto medioambiental, reduciendo la necesidad del uso de gas y petróleo; e incluso favorece la economía circular.



La dramática situación climática que vivimos actualmente, con 9 de los 10 veranos más cálidos del último siglo teniendo lugar en las últimas décadas; alerta de que el impacto de la actividad humana en el medioambiente y los distintos ecosistemas no es reversible e incluso pone en peligro la supervivencia de estos. Soluciones tecnológicas como las energías renovables, permiten mantener la calidad de vida y el acceso a servicios que mejoran la calidad de vida y mantienen el estado de bienestar, sin poner en riesgo el futuro de la Tierra como la conocemos.

## **Capítulo 7. ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN**

Existen varios tipos de instalaciones fotovoltaicas, de distinta naturaleza y con algunos elementos comunes y otros no comunes.

### **Instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica**

Esta tecnología se compone de dos kits de aislada, que llevan componentes necesarios para que el sistema pueda funcionar sin necesidad de mantener la infraestructura conectada a la red. Este tipo de instalación permite acoplar la tecnología fotovoltaica en viviendas no conectadas a la red, en este tipo de instalaciones no existe contrato con una compañía eléctrica y se puede realizar la conexión y desconexión del sistema a voluntad. También se denominan off-grid, la energía creada por las placas fotovoltaicas, en forma de corriente continua, es almacenada en baterías adjuntas a la instalación. Esta batería, a través de un inversor suministran la energía en forma de corriente alterna a las distintas cargas que conforman el sistema. Este tipo de instalaciones son muy comunes en instalaciones de difícil acceso o conexión a la red eléctrica convencional, como por ejemplo en zonas rurales, zonas de señalización de carreteras recónditas o pozos alejados de poblaciones de tamaño significativo.

### **Instalaciones conectadas a la red eléctrica**

Este tipo de instalaciones vuelcan toda la energía generada a la red eléctrica convencional a la que se encuentran conectados. Para suministrar energía generada en forma de corriente continua, deben estar conectadas a un inversor, que transforme al corriente en alterna. Estas redes no disponen de dispositivos de almacenamiento como baterías, sino que vuelcan todo lo generado, vendiendo esta energía a la compañía eléctrica dueña de la red a la que están conectados.

### **Instalaciones de autoconsumo**

Se trata de una combinación de los dos tipos de instalación fotovoltaica explicados con anterioridad. Están conectadas a la red, pero que también alimentan consumos privados. En primer lugar, durante las horas de producción, la energía producida alimentará los consumos de la instalación eléctrica adyacente. Si hubiera un excedente de energía producida, ya que este sistema no cuenta con sistema de almacenamiento de forma de baterías, inyecta esa energía en la red eléctrica convencional. Aquí surgen los dos tipos de instalaciones de autoconsumo reconocidos, ya que este excedente de energía puede ser cedido, o por el contrario, puede ser vendido a la comercializadora en cuestión.

El tipo de instalación que ofrece una compensación por la energía excedente consiste en que la instalación vuelca esta energía a cambio de un importe que se ve reflejado como un descuento en la factura de luz a final de mes. El precio varía entre distintas comercializadoras por lo que es interesante realizar un estudio de mercado comparando esta remuneración del excedente.

El segundo caso, se trata de cuando el excedente es cedido sin compensación en la factura, lo que sucede en este caso es que la energía se inyecta de la misma forma en la red, pero en este caso se le vende a la comercializadora al precio actualizado del mercado eléctrico. Esta forma de cesión de los excedentes no se aplica a viviendas, ya que por la pequeña cuantía de energía inyectada en la red no sale rentable. Si se aplica, por el contrario, para grandes instalaciones en general con una potencia fotovoltaica instalada superior a la centena de kW solares. Entre este tipo de edificios o instalaciones se encuentran locales industriales o grandes superficies comerciales cuyos consumos son muy elevados.

Antes de explicar en detalle cada tipo de instalación, es necesario explicar en detalle cada componente, su funcionamiento y su función dentro del conjunto.

### **Placas solares**

Los módulos solares o placas solares son los dispositivos de la instalación más importantes. Son los encargados de transformar la energía solar en electricidad.

La unidad fundamental de estos paneles son las denominadas celdas o células solares, cuya disposición en conjunto en una placa forma la instalación. En esencia, una placa solar, no es más que una placa grande rectangular con una gran cantidad de celdas añadidas. Y su producción de energía es la suma de la producción de sus células, ya que como veremos a continuación las celdas están conectadas en serie unas con otras. Cuanto mayor sea la superficie del panel ocurren dos fenómenos, aumenta el flujo de luz solar recibido y aumenta también el número de celdas disponibles. Por ello, a mayor superficie de la placa, mayor producción de energía. Esto permite que se alimenten un mayor número de consumos, o que se venda o inyecte una mayor cantidad de energía a la red.

### **Celdas solares**

Las celdas solares son, como se mencionaba, la unidad fundamental generadora de energía solar fotovoltaica. Están compuestas de silicio cristalino y debido a la naturaleza de la composición de este y ciertos tratamientos y dopajes a los que se le expone convierte luz en energía eléctrica gracias al Efecto Fotoeléctrico.

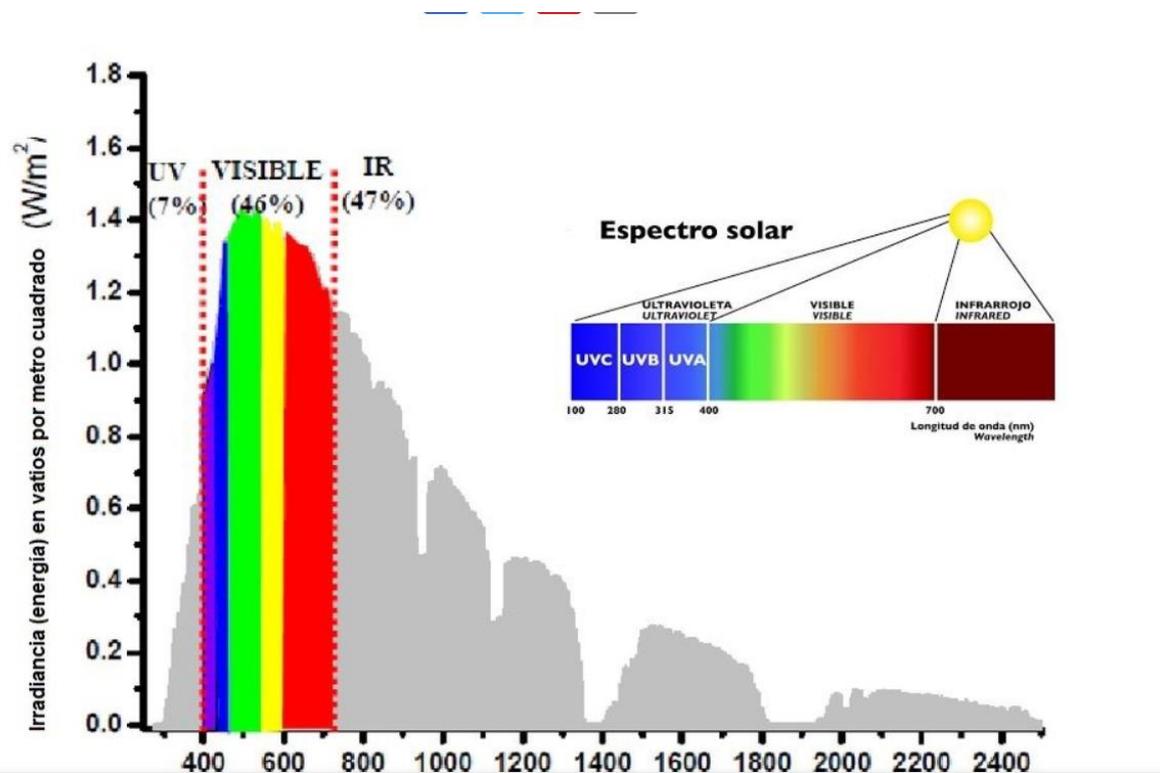
El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones de los átomos de un elemento (metales siempre) si sobre este incide luz o una radiación electromagnética, al liberarlos de la atracción del núcleo. Aquellos materiales que tienen las propiedades necesarias para generar este proceso se denominan foto emisores. Esta liberación de electrones supone un movimiento de los mismos, y una corriente eléctrica a efectos prácticos no es más que eso, por lo que de este efecto depende la capacidad de generar energía eléctrica.

Los electrones de los átomos metálicos se liberan debido al impacto de fotones, partículas sin masa pero con energía, al incidir sobre los electrones del átomo, si tiene una carga energética lo suficientemente grande para lograrlo, cede su energía al electrón y lo libera de las atracciones másicas y electrostáticas del núcleo.

Los electrones de capas interiores son muy complicados de liberar, en cambio los electrones de orbitales exteriores son más fáciles de liberar y contienen mayor energía. Estos electrones de los últimos orbitales, se denominan electrones de valencia, ya que son los que forman enlaces covalentes (redes metálicas) con los átomos metálicos colindantes. Debido a estos electrones, los átomos metálicos siempre están enlazados a otro átomo mediante uno de los mencionados enlaces covalentes. Si se expulsa uno de los electrones por la incisión de un fotón, se deja un hueco quedando el enlace roto, esto desemboca en la generación de un par electrón-hueco. Cabe mencionar, que cuando se ilumina un metal foto-emisor con luz, y se liberan electrones produciéndose numerosos pares hueco-electrón, se produce a continuación la recombinación de los pares. A efectos prácticos este proceso se realiza de la siguiente forma, un electrón liberado se desplaza por las redes de átomos metálicos y aleatoriamente puede introducirse en un orbital de un átomo que tenía un par-hueco disponible, al introducirse en el átomo, el electrón libera su energía (i.e. el fotón) y se repite el proceso.

Para que un fotón incidente consiga liberar el electrón debe contener un mínimo de energía capaz de vencer las fuerzas atractivas que sufre el electrón. Esta energía, llamada energía de enlace, es constante y característica de los elementos fotoemisores en cuestión. En el caso del silicio, por ejemplo, se trata de 1,12 eV (unidad denominada electrón Voltio, definida como la energía cinética que gana un electrón al atravesar un potencial de 1V). Es decir, no todos los haces de luz contienen la energía suficiente para liberar electrones y generar así una corriente eléctrica.

El factor que determina como de energizados están los fotones de un determinado rayo de luz es la longitud de onda. En el caso del silicio, la energía umbral de 1,12 eV se corresponde con una longitud de onda de 1.100 nanómetros. Por encima de esta longitud de onda, no liberan electrones.



*Ilustración 10. Irradiancia en función de la longitud de onda. (Área Tecnología, 2023)*

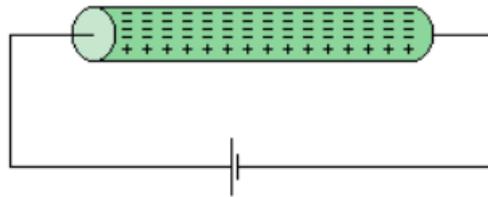
Como se observa en la Ilustración 10, pese a no ser una relación perfectamente lineal, se aprecia cierta proporcionalidad inversa entre la longitud de onda y la irradiancia (energía) de las distintas ondas de luz. De aquí se infiere que, siendo la longitud de onda directamente proporcional al periodo, y siendo este inverso a la frecuencia, la energía contenida en un fotón de un determinado rayo de luz, es directamente proporcional a la frecuencia de este.

El efecto fotovoltaico, hace referencia a uno de los usos del explicado fenómeno fotoeléctrico. Es la aplicación del fotoeléctrico que permite generar una corriente eléctrica con los electrones liberados en las distintas celdas del panel. Estas celdas pueden ser de silicio cristalino, las más comunes, o de arseniuro de galio; sendos materiales son semiconductores y foto emisores.

El silicio consta de cuatro electrones de valencia, que comparte con los átomos vecinos para formar enlaces covalentes. Pero para generar una corriente eléctrica más fácilmente empleable, habitualmente el silicio se dopa con otros elementos, es decir, se introducen trazas o átomos de elementos que modifican las propiedades del silicio. Estas impurezas pueden ser de 2 tipos, pentavalentes o trivalentes.

Existen dos tipos diferentes de semiconductores fotoeléctricos que facilitan la transmisión de la corriente eléctrica generado:

Semiconductores extrínsecos tipo N:



*Ilustración 11. Semiconductor tipo N. (EHU, 2023)*

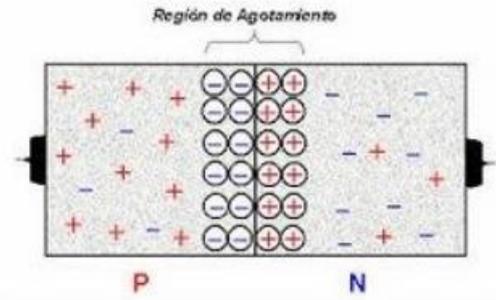
Es el que está impurificado con impurezas "Donadoras", es decir, átomos pentavalentes. Al enlazarse con una red de silicio, estos materiales tienen cinco electrones de valencia para formar enlaces covalentes con los átomos tetravalentes que le rodean. Debido a ello, solo puede enlazar 4 de sus 5 electrones, habiendo más electrones que huecos. En este tipo de semiconductores, la partícula subatómica se la denomina portadora mayoritaria, mientras que a los huecos se les denomina portadores minoritarios.

Al aplicar una tensión al semiconductor de la Ilustración 12, los electrones se desplazan hacia la izquierda al conectar un potencial. Al quedarse un hueco en el extremo derecho del cristal, el circuito externo aportará un electrón para rellenar el par hueco electrón.

Semiconductor extrínseco tipo p:

Se encuentre dopado con impurezas trivalentes, también conocidas como Aceptoras. Tienen un mayor número de huecos que de electrones. Al aplicarse una tensión, ocurriría el proceso contrario al de los tipos n.

Cabe mencionar que aunque se redistribuyan los huecos o los electrones, tanto los semiconductores p como los tipo n, son eléctricamente neutros, debido a que el número de electrones es igual al número de protones. A continuación, se estudiará que pasa si se conectan ambos. En primer lugar, al unir ambos materiales, observamos que las impurezas más cercanas a la zona de unión sufren cambios. Los electrones cedidos por impurezas tipo N, se desplazan hacia la zona P, al ser atraídos por los huecos de las impurezas de esa zona. Esto polariza ambas zonas, ya que los núcleos de las impurezas pertenecientes a la zona N han cedido electrones, quedando cargados positivamente, y la zona P a su vez ha rellenado sus huecos con los electrones de la otra zona, quedando cargada negativamente. En la zona cercana a la unión se produce este proceso, y se genera lo que se conoce como región de agotamiento o zona de difusión, hay una zona cargada negativamente y otra con carga opuesta. Este proceso se va extendiendo por las diferentes zonas, pero llega un momento en que un electrón de la zona N trate de pasar a la zona P, y se encontrará con la zona de agotamiento de la zona P, que estará constituida por una barrera de electrones cuya carga electrostática compensará la atracción de los huecos, y detendrá el flujo de cargas entre ambas zonas. A partir de este momento, se detiene el proceso de recombinación entre los electrones y los distintos enlaces covalentes incompletos. La unión PN ya no es neutra, pero siguen quedando electrones sin enlazar y huecos sin rellenar en las distintas zonas. En la Ilustración 12, se muestra como quedaría la configuración de la región PN.



*Ilustración 12. Región de agotamiento. (Área tecnología, 2023)*

Entre P y N, se ha generado una diferencia de potencial entre ambas regiones, es decir, se ha generado una tensión. Esta tensión dependerá de los materiales que se usen como semiconductor puro (no de las impurezas), por ejemplo: si el elemento tetravalente es silicio, la tensión será de 0,6 V; en cambio si trabajamos con Germanio, la tensión será de 0,3 V.

En las placas solares se utiliza silicio elemento tetravalente, y se utilizan:

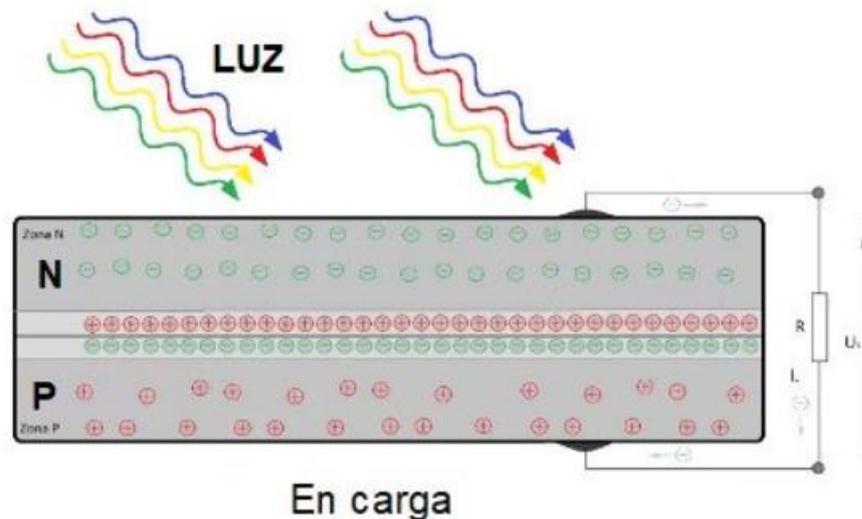
- Impurezas pentavalentes: Fósforo, Antimonio, Arsénico.
- Impurezas trivalentes: Boro, Galio, Indio.

Estas impurezas se utilizan para dopar el silicio de las celdas y facilitar su comportamiento como el bloque PN explicado con anterioridad. La diferencia, es que en las celdas solares, no solo se pondrán en contacto ambas zonas hasta que se genere la región de agotamiento, sino que ahora se unirán mediante un cable conductor, es decir, se pondrán en cortocircuito.

Este conjunto de zona PN y conductor en cortocircuito, al incidir fotones sobre el silicio dopado, liberará electrones si la longitud de onda es lo suficientemente pequeña. La diferencia es que en esta ocasión, los electrones liberados en la zona N se desplazarán hacia la zona P para encontrar huecos a través del conductor que conecta ambas zonas. La parte P es ahora negativa, mayor número de electrones que de protones, y viceversa para la

parte N. Mientras siga incidiendo luz, seguirá habiendo un flujo o corriente de electrones de la parte P a la N, debido a que los electrones recién llegados por el conductor a la parte P, repelen electrostáticamente a los que están en la zona intermedia enviándolos de vuelta a la zona N. Esto genera un efecto barrido continuo de electrones de la zona P a la N, y una corriente eléctrica por el conductor de la zona N a la P.

En resumen, la liberación de electrones de los átomos foto emisores al incidir los rayos genera una diferencia de tensión y esto genera una corriente, capaz de alimentar una determinada carga como se muestra en la Ilustración 13.

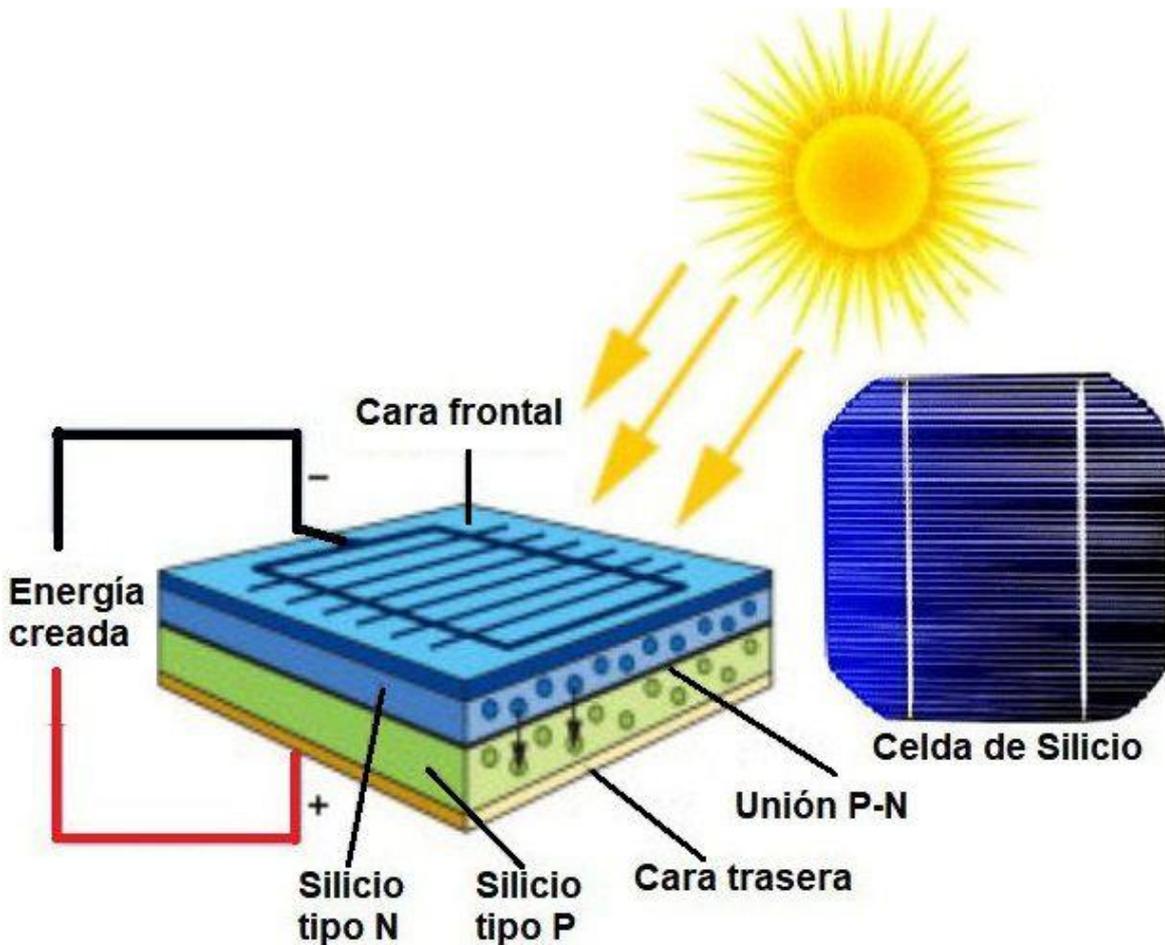


*Ilustración 13. Conexión en carga. (EHU, 2023)*

Hay que tener en cuenta, que para el correcto funcionamiento del panel y que el efecto fotovoltaico tenga lugar, se deben colocar las celdas de tal forma que sea la zona N la que reciba la luz directa del sol, ya que esta es la que debe absorber la energía de los fotones incidentes y liberar electrones.

Una celda solar típica tiene una superficie de unos 243 centímetros cuadrados y produce una tensión de unos de 0,5V y entre 7 y 8 amperios. Por tanto, por la ley de Ohm, obtenemos la potencia de una celda típica:

$$P = I * U = 0,5 * 8 = 4 W$$

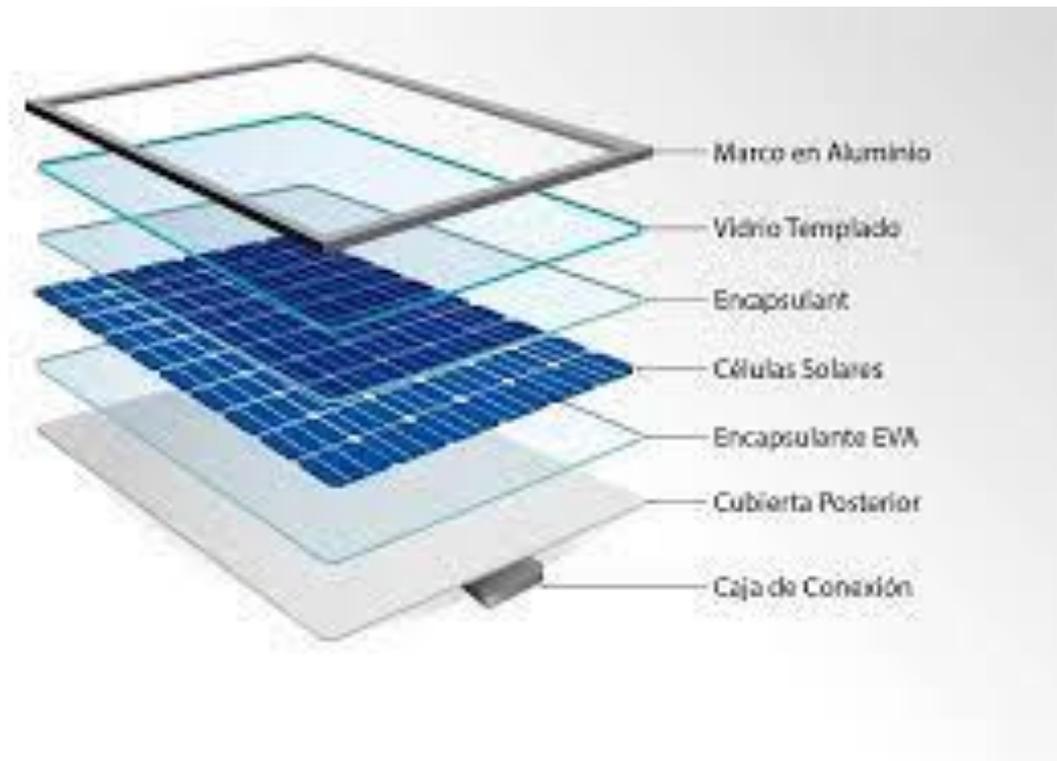


*Ilustración 14. Colocación de las zonas. ( WebElectro, 2023)*

Las celdas se conectan en serie unas con otros en la plataforma para formar los paneles, que suelen tener entre 36 y 96 celdas con esta conexión. Las tensiones se suman entre ellas, y por leyes de Kirchhoff, la intensidad que las recorre será igual. Por tanto:

$$P_{panel} = n^{\circ}celdas * P_{celda}$$

Además de las celdas, los paneles fotovoltaicos cuentan con otras partes destinadas a sostener, proteger los paneles y la instalación que alimentan. Entre estas partes, como muestra la Ilustración 15, figuran encapsulados, cristales y marcos destinados a impermeabilizar la instalación de precipitaciones, humedad y pequeñas partículas como polvo. Deben ser superficies anti-reflexivas, para que no reflejen nada de la radiación incidente, y deben ser antiadherentes, de tal forma que no acumulan suciedad en su superficie. Algunas paneles incorporan también un sistema de refrigeración, en el que un fluido absorbe el calor de las celdas, para mantenerlas en una temperatura óptima que asegure una resistividad y durabilidad adecuadas.



*Ilustración 15. Componentes de un panel. (EcolInventos,2023)*

Existen diversos tipos de paneles, cada uno con distintos rendimientos y costes de producción:

- **Monocrystalinos**

Su nombre viene de sus células denominadas monocrystalinas. Son de color negro y tienen las esquinas de sus celdas recortadas, tienen un rendimiento y eficiencia destacable, de entorno a un 17-20%, el rendimiento más alto que puede dar un panel. Pese a ello, la complejidad de su proceso de producción eleva su coste, ya que el proceso de partición y metalización del silicio para su fabricación es costoso. La principal diferencia entre este tipo de paneles y otros no es solo su rendimiento, si no también su coeficiente de temperatura, este coeficiente explica cuando disminuye porcentualmente la potencia máxima producida por grado Celsius que la temperatura de las celdas se aleja de la temperatura nominal, sus unidades son por tanto %/°C. A continuación, se muestra como ejemplo dos cuadros de características de dos fabricantes distintos, en las tablas 1 y 2.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS		TEMPERATURE CHARACTERISTICS	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C	Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C
Temperature Coefficients of P <sub>max</sub>	-0.38%/°C	Temperature Coefficients of P <sub>max</sub>	-0.40%/°C
Temperature Coefficients of V <sub>OC</sub>	-0.29%/°C	Temperature Coefficients of V <sub>OC</sub>	-0.30%/°C
Temperature Coefficients of I <sub>SC</sub>	0.052%/°C	Temperature Coefficients of I <sub>SC</sub>	0.05%/°C

**PANEL SOLAR MONOCRISTALINO 340W**  
**AMERISOLAR**

**PANEL SOLAR POLICRISTALINO 340W**  
**AMERISOLAR**

*Tabla 2. Amerisolar Paneles.(Amerisolar 2023)*

TEMPERATURE RATINGS		TEMPERATURE RATINGS	
NMOT (Nominal Module Operating Temperature)	41°C (±3K)	NMOT (Nominal Module Operating Temperature)	41°C (±3K)
Temperature Coefficient of P <sub>MAX</sub>	- 0.37%/K	Temperature Coefficient of P <sub>MAX</sub>	- 0.38%/K
Temperature Coefficient of U <sub>OC</sub>	- 0.29%/K	Temperature Coefficient of U <sub>OC</sub>	- 0.31%/K
Temperature Coefficient of I <sub>SC</sub>	0.05%/K	Temperature Coefficient of I <sub>SC</sub>	0.05%/K

**PANEL SOLAR MONOCRISTALINO 380W**  
**TRINA SOLAR**

**PANEL SOLAR POLICRISTALINO 340W**  
**TRINA SOLAR**

*Tabla 3. TRINA solar Catálogo (TRINA solar,2023)*

- **Policristalinos:**

Esta clase de paneles presentan menor pureza en las obleas de silicio que los componen. Debido a esto, en vez de un color negro, presentan el característico color azulado no uniforme de muchos paneles que observamos. No tiene las esquinas en forma de chaflán y celdas cuadradas. Tienen buena capacidad de absorción, a un que menor que la de los monocristalinos. Su rendimiento es también menor, oscilando en torno al 11% y al 15%. Por último, su coeficiente de temperatura suele ser mayor en valor absoluto. Tienen un coste menor.

- **De silicio**

Estos paneles son los más económicos, consisten de una capa de silicio sobre una capa de vidrio. Tienen rendimientos muy reducidos frente a los otros tipos, de entorno el 6-8%, ya que el silicio es de una pureza muy inferior. Pese a esto, debido a que el silicio no se divide en celdas, sino que se distribuye como una fina capa, aporta mucha flexibilidad y ahorro de coste y energético en el proceso de fabricación, por lo que se usa en lugares con mucho polvo o interiores. También se le denomina panel amorfo.

Por último, se observarán las distintas características que definen la ficha técnica de un panel solar.

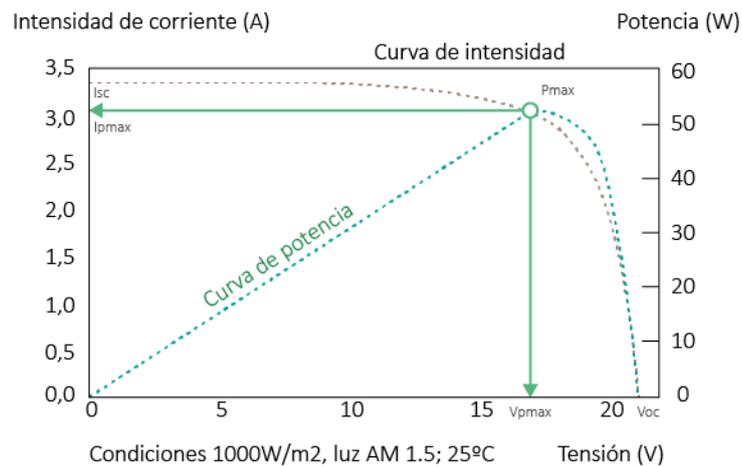
**Curva I-V:**

Representa la intensidad y la tensión de un determinado panel para unas determinadas condiciones en las que puede funcionar una célula. Estas magnitudes eléctricas dependen de tres factores:

**Irradiancia:** Potencia irradiada por el sol incidente sobre una superficie plana. Se mide en W/metro cuadrado. Se suele utilizar el valor de la irradiancia máxima a nivel del mar que es de 1000 W/metro cuadrado.

## Temperatura ambiente

### Características de la carga conectada



*Ilustración 16. Curva IV. (Autosolar, 2023)*

En la Ilustración 16, se muestra la curva I-V para una determinada de la placa. En este tipo de gráficos, se determina la intensidad de cortocircuito ( $I_{sc}$ ), la tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ ), las intensidades y tensiones en puntos de máxima potencia. Con estos valores, se puede calcular la potencia máxima aplicando la Ley de Ohm.

Otro dato relevante de las celdas solares, es el llamado factor de forma o FF. Se corresponde a la siguiente fórmula:

$$FF = \frac{I_{pm} * V_{pm}}{V_{ca} * I_{cc}}$$

El factor de forma de una celda es mayor cuanto mayor es la calidad de la misma, los valores típicos de buenas celdas son de 0,7-0,8. Todos estos parámetros se deben medir en unas condiciones determinadas denominadas Condiciones de Medida Estándar. Que son condiciones ambientales de temperatura (298K), y irradiancia de 1000 W/ metro cuadrado y distribución espectral de AM 1.5.

## **Sistemas de acumulación**

La principal función de estos elementos es almacenar la energía producida por los paneles. Esto pone remedio al problema de abastecer consumos eléctricos durante todas las horas del día con energía fotovoltaica, cuando esta solo se produce durante las horas de sol. Estas horas se denominan de baja insolación. Es importante destacar una característica de los sistemas de acumulación de las instalaciones fotovoltaicas, y es que deben ser baterías reversibles, es decir deben poder ser cargadas y recargadas de forma repetida. Los acumuladores pueden ser en muchas ocasiones la parte más costosa de una instalación fotovoltaica, además de ser el más delicado de dimensionar. Los cometidos de estos componentes de las instalaciones son los siguientes:

- **Suministro de consumo elevado y corta duración o falta de tensión.**

Las baterías fotovoltaicas pueden suministrar intensidades máximas superiores a las que suministra un panel. Por tanto, si determinados consumos funcionan a intensidades nominales muy altas que una placa no es capaz de suministrar, se almacena la energía en una batería y de ahí se suministra con mayor intensidad.

- **Suministro de energía durante los meses con pocas horas de insolación.**

Las baterías permiten solventar las diferencias entre los perfiles de producción y de generación de energía.

- **Estabiliza el funcionamiento del sistema fotovoltaico.**

Función que realizan conjuntamente con otro elemento llamado regulador.

Las baterías están formadas por uno o dos electrolitos, en cuyo interior se introducen dos placas metálicas denominadas electrodos. El electrolito habitual en baterías fotovoltaicas suele ser ácido sulfúrico.

Las unidades de medidas de la capacidad de las baterías son de Amperios\*hora. Las capacidades de las baterías se suelen dar de la siguiente forma:

$$C X = Y A * h$$

Lo que significa, que si una batería tiene una capacidad de C40 de 100 Ah, nos puede suministrar 100 amperios durante 40 horas. En general, para homogeneizar los catálogos y facilitar la selección del modelo o fabricante, se suelen dar las capacidades en C100. Otro parámetro importante para conocer el estado de una batería es la denominada profundidad de descarga, que es similar al inverso de la batería de un teléfono, y da en % respecto a la capacidad nominal la cantidad de A\*h extraídos.

Por último, otro parámetro muy importante desde el punto de vista de la sostenibilidad y la duración de la inversión, es la vida útil de la batería, que hace referencia al número de ciclos a los que puede ser sometida una batería par una determinada profundidad de descarga.

Existen distintos tipos de baterías:

- Baterías Monoblock

Destinadas a pequeñas baterías solares y con una relación calidad-precio equilibrada. Adecuadas para alimentar pequeños consumos, como un electrodoméstico, y algo que no lleve motores (tienen problemas para suministrar las altas intensidades de arranque). Se las puede encontrar también bajo la denominación batería monoblock de plomo-ácido inundada tradicional.



*Ilustración 17. Baterías Monoblock (Cynetic, 2023)*

- Baterías de Ciclo Profundo

Algo más grandes que las Monoblock, pensadas para consumos que se usen diariamente. Tienen durabilidades mayores, de hasta 6-7 años. La principal ventaja de estas baterías es que son capaces de soportar números ciclos de carga-descarga de elevadísima profundidad sin resentir significativamente su vida útil. Lo cual las hace muy adecuadas para instalaciones de utilización durante todo el año y consumos medios.



*Ilustración 18. Baterías de ciclo profundo (ABS Leisure, 2023)*

- **Baterías AGM**

Tienen válvulas que evitan la emisión de electrolito vaporizado, lo cual evita la necesidad de mantenimientos anuales como las Monoblock. Tienen mayor duración que estas también, pero menos que las de ciclo profundo. La inmovilización del electrolito entre los electrodos mediante esteras de vidrio, las convierte en baterías seguras sin riesgo de derramar electrolito (en muchas ocasiones un fluido muy peligroso) y seguras frente a golpes o colisiones. Por tanto, se utilizan para instalaciones donde el mantenimiento sea muy complicado, las baterías sean complicadas de acceder o donde la resistencia a golpes o al derrame de electrolito sea vital. Este tipo de baterías se utilizan en motores, además, porque son capaces de suministrar las elevadas intensidades de arranque.



*Ilustración 19. Batería AGM (EcoSolar,2023)*

- Baterías estacionarias

Vida útil muy larga, lo que permite su uso durante amplios periodos de tiempo a diario. Además, tienen gran capacidad. Constan de un determinado número de vasos en serie, de 2 Voltios cada uno.



*Ilustración 20. Baterías estacionarias (Freedom 2022)*

- Baterías de litio

Volumen reducido y no emiten gases, además de tener un reducido tiempo de carga. Toleran bien profundidades de descarga muy altas. Su problema de momento es el elevado coste de producción que es inevitablemente trasladado al consumidor.



*Ilustración 21. Batería de litio. (Coobank, 2023)*

Si se quiere una batería para una determinada instalación, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad} = \frac{\text{Consumo diario} * \text{Días de autonomía}}{\text{profundidad de descarga} * \text{tensión}} * 1,15$$

El factor de 1.15, se aplica asumiendo un 15% de pérdidas en rendimientos, temperatura...

## **Reguladores**

Un regulador de carga de baterías solares es una parte muy importante de los sistemas de generación de energía fotovoltaica, su principal función es la de controlar la intensidad de corriente que circula entre los paneles y los propios sistemas de acumulación, de forma que se asegura de una carga eficiente y seguro. Esto es clave para proteger a los acumuladores de sobrecargas o descargas de una profundidad excesiva que reduzcan su vida útil, esto prolonga la durabilidad del sistema y aumenta su rendimiento. El principal componente de los reguladores es el controlador de carga, un dispositivo electrónico que lleva a cabo la monitorización de la tensión entre los paneles y el nivel de carga de los acumuladores. Si el sistema fotovoltaico genera tensión suficiente para cargar las baterías, debe permitir la entrada del flujo de corriente. De la misma forma, si el nivel de carga es suficiente, debe evitar una sobrecarga de los sistemas. Su otra función teóricamente sería a de evitar la descarga excesiva de los sistemas acumulación. En la práctica, los reguladores se colocan solo a la entrada de las baterías, ya que a la salida en alterna de las baterías se encuentra el inversor, que evita las mencionadas descargas excesivas.

El proceso de carga de las baterías se divide en dos fases diferenciadas:

### **Carga de absorción:**

Durante esta fase, el regulador permite el paso de flujo de corriente hasta que se alcanza el nivel de tensión máximo. Esto se realiza a corriente constante.

### **Carga flotante:**

Una vez la fase de carga de absorción ha terminado, el regulador permite el paso a un flujo mucho más reducido y constante que mantiene la batería a un nivel de carga óptimo.

Además, mediante la medición de la tensión en los paneles, protege de sobretensiones debidas a reducciones de temperaturas (aumenta la tensión entre los paneles) y evita la descarga nocturna mediante el empleo de un diodo. Algunos también tienen dispositivos de protección que protegen frente a cortocircuitos.

Existen diversos tipos de reguladores:

Regulador PWM (Modulación por Ancho de Pulso):



*Ilustración 22. Regulador PWM. (Quitolea, 2023)*

También conocido como regulador todo o nada, o regulador convencional. Fueron los primeros reguladores en aparecer en el mercado, y funciona mediante actuadores electromecánicos (relés/actuadores), es decir, elementos que abren o cierran el circuito en función de si reciben una señal de tensión o no, actúa como un interruptor, estado abierto o estado cerrado. El regulador PWM actúa como un interruptor que conecta y desconecta el circuito de carga para controlar el flujo de corriente hacia las baterías. A lo largo de la etapa de carga de absorción, el regulador suministra una intensidad de corriente a las baterías en forma de ondas o señales cuadradas de frecuencia variable. Durante la etapa de carga de absorción, el regulador suministra corriente a la batería en forma de ráfagas de pulsos de ancho variable, alternando entre períodos de conexión y desconexión. A medida que se va aproximando al nivel de carga óptimo, los pulsos van siendo más intermitentes y de menor duración, para reducir el ritmo de carga, hasta la desconexión completa, para evitar sobrecargas. Este regulador es el utilizado cuando la especificación más importante del sistema no es ni la eficiencia ni la potencia máxima, si no el coste; por lo que solo se utiliza en pequeñas instalaciones. Funciona cuando la intensidad de los paneles es similar a la intensidad nominal de las baterías. Tan solo se utilizan estos reguladores en instalaciones de potencias inferiores a los 200 vatios.

Regulador MPPT (Seguimiento del Punto de Máxima Potencia):



*Ilustración 23. Regulador MPPT (Ebay, 2023)*

Sistemas de regulación más complejos y de rendimientos superiores a los PWM, también se les denomina maximizadores. Estos dispositivos identifican el punto de máxima potencia

identificado en la gráfica I-V anterior para una determinada instalación fotovoltaica, este punto recordemos, tiene lugar cuando la producción de energía es máxima.

El regulador ajusta el flujo de corriente de forma que se cumplan dos condiciones, la intensidad sea lo más similar posible a  $I_p$ , y que la intensidad no sea superior a la intensidad máxima de los acumuladores, para evitar daños a los sistemas. Son los reguladores más utilizados hoy en día, se utilizan en casi todas las instalaciones, son un 30% más caros que los PWM, pero garantizan mejor funcionamiento en temperaturas extremas y mayor eficiencia de carga.

Regulador de carga híbrido:

Los reguladores híbridos reúnen las propiedades de los reguladores PWM y MPPT, ofreciendo mayor flexibilidad en el manejo de diferentes condiciones de carga y tipos de baterías. Estos reguladores son capaces de trabajar en modos PWM y MPPT según las necesidades del sistema, lo que los hace versátiles y eficientes en una amplia gama de situaciones.

## **Inversores**

Los inversores son partes imprescindibles de las instalaciones fotovoltaicas, tanto de las instalaciones conectadas a la red como de aquellas aisladas de la red eléctrica convencional.

El inversor es el dispositivo de una instalación encargado de la corriente continua generada en las celdas en corriente alterna inyectable en la red eléctrica convencional o en los consumos preparados para funcionar con este tipo de corriente. En el caso de la red europea, se debe recordar que el valor eficaz de la tensión de red es de 230 V en monofásica y de 400 V en tensión trifásica, y que la frecuencia es de 50 Hz. Como se mencionaba transformar la corriente a este tipo es necesario para poder o bien venderla o bien consumirla en los receptores.

Los inversores, si bien son necesarios en toda instalación fotovoltaica, son distintos para las aisladas y para las conectadas a la red. Los inversores propios de instalaciones aisladas tienen

entradas de tensión constante, ya que se conectan a una batería. Por otra parte, los de instalaciones conectadas a la red, al conectarse directamente a los paneles, tienen tensiones de entrada variable. En el caso de las instalaciones aisladas, el regulador siempre va conectado a la entrada de los acumuladores y el inversor a la salida, debido a que las intensidades nominales de los inversores son superiores a las intensidades máximas de los reguladores.

Existen instalaciones que no requieren inversor, pero son instalaciones pequeñas en las que los consumos pueden funcionar con corriente continua.

En las instalaciones aisladas, el inversor de baterías se conecta a la salida de los sistemas de acumulación.

Si se trata de conexiones conectadas a la red, ha que convertir la energía producida por los generadores fotovoltaicos en alterna, debe transformar la corriente en alterna y de unas magnitudes eléctricas compatibles con la red de la distribuidora a la que se le vaya a vender. En el caso de estas instalaciones, se les denomina inversores de conexión a red. El inversor modifica constantemente la intensidad y la tensión de los paneles buscando su producto máximo, para las condiciones de temperatura e irradiación que sucedan. Las propiedades técnicas de los inversores son principalmente dos:

- Si es monofásico o trifásico. En función de la potencia de la instalación.
- La potencia nominal del inversor, que suele ser de un 85% de la potencia pico del panel solar de la instalación en cuestión.

Se pone este límite ya que, pese a que en caso de máximo output de potencia esta se vería limitada por la potencia nominal del inversor, los paneles prácticamente nunca ofrecen su potencia pico; que no solo depende de las condiciones de temperatura e irradiación, sino que de otros muchos factores como la suciedad o el envejecimiento.

- Rango de tensiones de entrada, que se define como las tensiones de entrada a 70 y a -10 °C.

- Intensidad máxima del inversor: que debe ser mayor que en la intensidad de cortocircuito del generador.
- Rendimiento: oscila entre el 90 y el 97%.

Dentro de las instalaciones de red, existen numerosos tipos de inversores los más comunes son:

-Los inversores string, que son una de las opciones más habituales. Se utilizan si en el tejado del edificio donde se colocan todos los paneles miran en la misma dirección. Es la opción más económica y de más fácil mantenimiento. Este tipo de inversor limite su potencia admitida al del ramal de paneles que menos produce, reduciendo el flujo de potencia total. Ajusta la intensidad y la tensión del panel que menos produce. Actualmente, los inversores string, se combinan muchas veces con los denominados optimizadores de potencia. Estos dispositivos, recogen la potencia individual de cada panel, y lo envían a un inversor string individual y centralizado. Esto reduce el efecto de que uno de los paneles se quede a la sombra.

-Otra opción son los micro inversores. Consiste en tener un inversor por panel, lo que no afecta al rendimiento del conjunto si uno queda a la sombra.

## **Capítulo 8. NORMATIVA INSTALACIÓN DE PLACAS**

La ley de autoconsumo, Real Decreto (RD) 244/2019, recoge la normativa de las instalaciones fotovoltaicas residenciales. Respecto a la ley anterior, esta nueva normativa favorece el autoconsumo y promueve el uso de energías renovables.

Introduce una serie de cambios, de acuerdo con el Boletín Oficial del Estado, plasmados a continuación:

- Se realiza una nueva definición de autoconsumo, recogiendo que se entenderá como tal el consumo por parte de uno o varios consumidores de energía eléctrica proveniente de instalaciones de generación próximas a las de consumo y asociadas a las mismas.
- Se realiza una nueva definición de las modalidades de autoconsumo, reduciéndolas a solo dos: «autoconsumo sin excedentes», que en ningún momento puede realizar vertidos de energía a la red y «autoconsumo con excedentes», en el que sí se pueden realizar vertidos a las redes de distribución y transporte.
- Se exige a las instalaciones de autoconsumo sin excedentes, para las que el consumidor asociado ya disponga de permiso de acceso y conexión para consumo, de la necesidad de la obtención de los permisos de acceso y conexión de las instalaciones de generación.
- Se habilita a que reglamentariamente se puedan desarrollar mecanismos de compensación entre el déficit y el superávit de los consumidores acogidos al autoconsumo con excedentes para instalaciones de hasta 100 kW.
- En cuanto al registro, se opta por disponer de un registro de autoconsumo, pero muy simplificado. Este registro de ámbito estatal tendrá fines estadísticos para poder evaluar si se está logrando la implantación deseada, analizar los impactos en el sistema y para poder computar los efectos de una generación renovable en los planes

integrados de energía y clima. Este registro se nutrirá de la información recibida de las comunidades autónomas y ciudades de Ceuta y Melilla. (BOE, 2022)

El RD, también establece cambios en las notas técnicas del reglamento de baja tensión. En concreto, la ITC-BT-40.

Una de las modificaciones que incluye el decreto es la clasificación en dos tipos de autoabastecimiento. Las viviendas residenciales se acogerán a la compensación simplificada de los antecedentes, debido a una gestión simplificada realizados por la empresa comercializadora, y facilidades de trámites para viviendas y pequeños comercios con potencias contratadas de menos de 100 Kw. Una de estas facilidades es que el consumidor no tiene que registrar ningún trámite, el registro de su autoconsumo lo realizan las comunidades autónomas. El único trámite que debe llevar a cabo el consumidor es notificar a su distribuidora la instalación de placas fotovoltaicas y entregar el certificado de instalación y el proyecto técnico a la comunidad autónoma competente.

Otra normativa o bonificación incluida es la de la bonificación del IBI, el impuesto anual sobre el bien inmueble, que se calcula como un % del valor catastral de la vivienda. En el caso de la comunidad de Madrid es de 50% del IBI bonificado, lo cual se tendrá en cuenta para el ROIC del proyecto.

Por último, sea abole el impuesto al sol, un impuesto a la generación de energía eléctrica.

## **Capítulo 9. CONSUMOS Y LOCALIZACIÓN DEL EDIFICIO**

### **9.1 LOCALIZACIÓN**

El edificio de viviendas y locales comerciales se encuentra situado en Calle Cosas, situado en la ciudad de Madrid. Este edificio cuenta con 12 viviendas, de entre 140 y 200 metros cuadrados de superficie, 4 locales comerciales y un bajo interior. La mayor parte del territorio madrileño tiene un clima mediterráneo, con veranos secos y cálidos, pero inviernos fríos y húmedos. Esto afecta al proyecto, porque en función de su localización geográfica se obtienen unas horas de sol pico y unas horas de sol efectivas.

Además, esta comunidad no emprenderá un proyecto que no sea económicamente viable, y las baterías encarecen mucho el proyecto.

### **9.2 CONSUMOS**

El objetivo del proyecto es cubrir el 80% de la energía consumida con el uso de paneles. Esto además de un ahorro energético con un efecto positivo sobre la sostenibilidad del edificio, tendrá un impacto económico, que habrá que estudiar de cara a la rentabilidad de la instalación.

Se adjuntan los consumos mensuales en Kwh de los últimos dos años. Se trabajará con la media de estos dos.

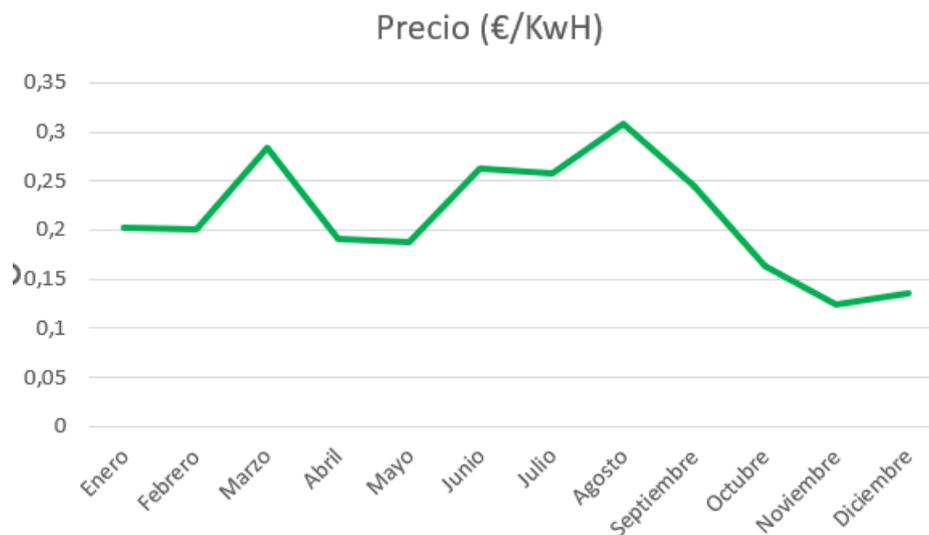
	2021	2022	Consumos medios	Consumo anual
<b>Enero</b>	1650	1540	<b>1595</b>	
<b>Febrero</b>	1800	1850	<b>1825</b>	
<b>Marzo</b>	1900	1430	<b>1665</b>	
<b>Abril</b>	2200	1800	<b>2000</b>	
<b>Mayo</b>	810	380	<b>595</b>	
<b>Junio</b>	1340	1000	<b>1170</b>	
<b>Julio</b>	1860	1520	<b>1690</b>	
<b>Agosto</b>	1590	1460	<b>1525</b>	
<b>Septiembre</b>	1530	1430	<b>1480</b>	
<b>Octubre</b>	645	1530	<b>1087,5</b>	
<b>Noviembre</b>	2290	1960	<b>2125</b>	
<b>Diciembre</b>	1390	1750	<b>1570</b>	<b>18327,5 Kwh</b>

*Tabla 4 Consumos. Elaboración propia*

Se observa en la tabla que los consumos totales medios anuales fueron de 18327,5 Kwh. Se observa un consumo bastante homogéneo a lo largo del año. Siendo mayo el mes más bajo. Esto probablemente se deba a que muchas de las viviendas presentan calefacciones eléctricas. Por tanto, en verano se usa el aire, pero en invierno se dispara el consumo también por las calefacciones. Para averiguar el coste de estos consumos, se observará la evolución de los precios de la luz en el año 2022, y se aplicará una tasa de inflación determinada.

Mes	Precio (€/KwH)
Enero	0,2017
Febrero	0,2002
Marzo	0,2833
Abril	0,1915
Mayo	0,1871
Junio	0,2618
Julio	0,2581
Agosto	0,3086
Septiembre	0,2439
Octubre	0,1629
Noviembre	0,1244
Diciembre	0,1352

*Tabla 5. Precios de la luz. Autoría Propia.*



*Ilustración 24. Precio de la luz. Autoría propia*

En la Ilustración 24, se observa como los precios comenzaron a descender tras estabilizarse la situación en Ucrania y Argelia, y tras encontrar Europa nuevos suministros de gas y energía.

## Capítulo 10. CÁLCULOS

Para dimensionar nuestra instalación, debemos tener en cuenta que energía se quiere cubrir y de qué forma. La energía total consumida es la suma de las energías consumidas anualmente:

$$\text{Energía Total demandada} = 18327,5 \text{ Kw} * h$$

El siguiente parámetro para determinar para diseñar la instalación, es la Hora solar pico (HSP) de la zona en la que se encuentra nuestro edificio, la Comunidad de Madrid. Este parámetro nos da una indicación de la potencia proporcionada por unidad de superficie y por hora que recibe un determinado territorio dadas unas condiciones de irradiación constante de 1000W/metro cuadrado. En la ilustración 26, se muestra un mapa con las HSP y el número de horas efectivas de sol por año.

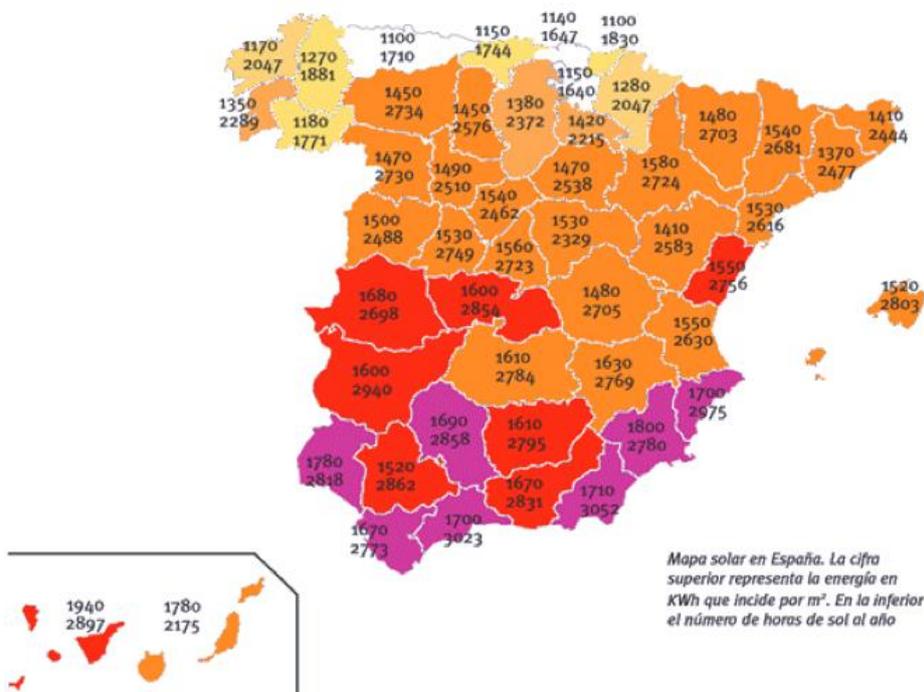


Ilustración 25. HSP y horas de sol efectivas. (ASIF, 2023)

En la Comunidad de Madrid, observamos que:

$$HSP = 1560 \frac{KW}{\text{metro cuadrado} * \text{año}}$$

*Horas sol efectivas: 2723 horas*

La potencia que deben generar las placas solares vendrá dada por la siguiente expresión:

$$Potencia\ total = \frac{Potencia\ total\ en\ un\ año}{Horas\ efectivas} = \frac{18327,5}{2723} W = 6.730 W$$

Como se quiere cubrir tan solo el 80% de la demanda:

$$Potencia\ requerida = Potencia\ total * 80\% = 5384 W$$

Con estos datos, y sabiendo que el tejado del edificio es de 120 metros cuadrados. Se ha llegado a este número asumiendo que un 70% de la superficie del último piso (sexta planta), equivale al terreno de tejado disponible para poner placas.

A continuación, se procederá a calcular el ángulo de inclinación y la orientación ideal de las placas. La orientación de las placas, al ser fija, es un factor muy importante para determinar la cantidad de irradiancia que llega a la placa. La orientación de las placas debe ser tal que el seno del ángulo entre los rayos de sol incidentes y la placa se lo más cercano a uno posible, es decir, perpendiculares.

España se encuentra en el hemisferio norte. Por ello, para maximizar la eficiencia de los paneles solares y su producción de energía los paneles se colocarán con orientación sur. De tal forma que coincida con las 12:00 am. Esto permite que el flujo total a lo largo del día sea máximo. Al tratarse de un tejado plano, sin sombras ni nada, esta será la orientación elegida para nuestros paneles. Existen sistemas que permiten articular la base del panel, y conseguir que este rote con el sol, pero además de consumir un exceso de energía, representa un gasto muy grande.

En cuanto a la inclinación de los paneles, es necesario conocer la latitud y la longitud del tejado del edificio en cuestión. La latitud de Madrid es de  $40.5^\circ$  aproximadamente. Esto es importante, ya que cuanto más se reduzca la latitud, y más cerca del ecuador nos encontremos, menor será la inclinación necesaria ya que los rayos son más perpendiculares. Esto es debido a la inclinación del eje de rotación de la Tierra con el plano de eclíptica, que forma un ángulo de unos  $23.5^\circ$ .

El tejado de Doctor Castelo tiene una inclinación de  $20^\circ$ .

Ahora para asegurar la perpendicularidad de los rayos de sol frente a los paneles, en las distintas estaciones. Como la demanda del edificio es razonablemente constante a lo largo del año, se pondrán las placas con una inclinación media entre la óptima para ambas estaciones.

$$\textit{Inclinación invierno} = (40,5^\circ + 23,5^\circ) = 64^\circ$$

$$\textit{Inclinación Verano} = (40,5^\circ - 23,5^\circ) = 17^\circ$$

$$\textit{Inclinación Panel} = \frac{17 + 64}{2} = 40,5^\circ$$

## Capítulo 11. SELECCIÓN

El tipo de instalación seleccionada será una instalación fotovoltaica conectada a la red. Se abastecerá el 80% de la energía mediante paneles y el 20% restante se abastecerá mediante consumo de la red eléctrica convencional.

### 11.1 JUSTIFICACIÓN DE LA NO INSTALACIÓN DE ACUMULADORES

Como se mencionaba en los tipos de instalaciones, existen varios tipos. En nuestro caso como no se quiere almacenar energía, no se instalarán acumuladores. La energía total generada por los paneles es menor que la total de los consumos del edificio por lo que no habrá excedente de energía. De todas formas si lo hubiera, la comunidad se acogería al régimen de compensación, y no lo almacenaría si no que lo inyectaría en la red por un precio determinado.

### 11.2 CELDAS

El coste instalar paneles monocristalinos o policristalinos, para un mismo input de potencia, es similar. Y dado que los paneles monocristalinos requieren menos materiales, menos espacio y mayor duración, son más sostenibles; por tanto, se utilizarán paneles monocristalinos para la instalación. Se buscarán paneles con el menor coeficiente de temperatura. Se elegirá un panel de la siguiente tabla:

Módulo	Potencia máxima	V <sub>máx.</sub>	I <sub>máx.</sub>	Coef Temp.	Eficiencia	Precio
ALEO S-03 (150)	150 W	34,5V	4,35A	-0,35%	11,70%	45,375 €
ALEO S-03 (155)	155 W	34,7V	4,46A	-0,35%	12,10%	46,8875 €
ALEO S-03 (160)	160 W	35,0V	4,57A	-0,35%	12,50%	48,4 €
ALEO S-03 (165)	165 W	35,2V	4,69A	-0,35%	12,90%	49,9125 €
ALEO S-03 (170)	170 W	35,4V	4,80A	-0,35%	13,30%	51,425 €
ALEO S-03 (175)	175 W	35,7V	4,90A	-0,35%	13,70%	52,9375 €
ALEO S-17 (170)	170 W	23,5V	7,3A	-0,34%	12,30%	51,425 €
ALEO S-17 (175)	175 W	23,8V	7,4A	-0,34%	12,70%	52,9375 €
ALEO S-17 (180)	180 W	24,0V	7,5A	-0,34%	13,10%	54,45 €
ALEO S-17 (185)	185 W	24,5V	7,6A	-0,34%	13,40%	55,9625 €
ALEO S-17 (190)	190 W	24,8V	7,7A	-0,34%	13,80%	57,475 €

Tabla 6. Catálogo Aleo 2022. Fabricación propia

Se escoge el Aleo S-17, por su mayor potencia máxima, que al ser un perfil de demanda homogéneo nos permitirá usar todos los paneles durante todo el año a su potencia nominal, e instalar menos paneles.

A continuación, se elegirá el inversor. Si recordamos los tipos de inversores, existe el inversor string y los inversores micro. Los inversores string como opción única quedan descartados, ya que si recordamos reducen la eficiencia de la instalación al eslabón más débil. Pese a que Madrid tiene un clima soleado, las nubes en periodos ciclo génicos son habituales y pueden afectar a uno de nuestro paneles, reduciendo drásticamente la eficiencia de nuestro instalación.

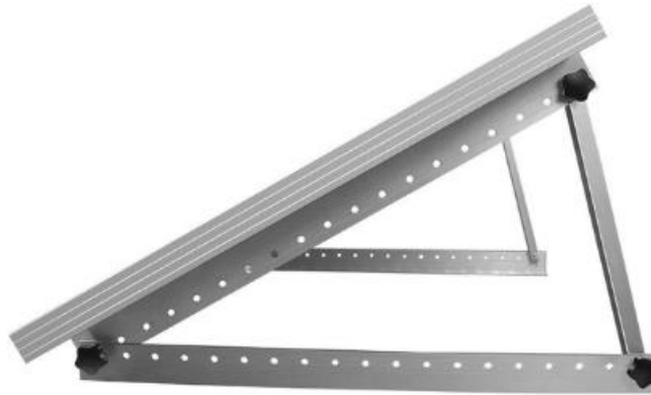
Por ello, se decide optar por microinversores. Y se pondrá un microinversor por panel. Se seleccionarán los inversores, uno por placa, con una potencia mayor que su potencia máxima de 190W. Se elige:

El inversor APS D63, que tiene una potencia nominal de 880W y tensión de 230 W, por lo que cumple con los requisitos. Y un coste de 278€, que es lo más barato que se puede encontrar en el mercado.



*Tabla 7. Inversor APS D63. (AutoSolar, 2023)*

Por último se debe seleccionar el soporte, que ayudará a situar el panel en la inclinación óptima. El tejado de las viviendas tiene una inclinación de 20°, y la inclinación óptima es de 40,5°. Por ello se comprará un soporte por panel que incline el panel. Se elige le más barato, que cuesta 23 €.



*Ilustración 26. Soporte del panel. (Amazon 2023)*

## **Capítulo 12. CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS**

El cálculo del número de módulos los sería directo si no fuera por las pérdidas. Desafortunadamente, primero debemos calcular las pérdidas, y con ellas el rendimiento.

### ***12.1 PÉRDIDAS***

La disminución de energía generada por los paneles respecto de su potencia nominal puede ser explicada por una serie de pérdidas energéticas, debidas a distintas causas.

#### **12.1.1 PÉRDIDAS POR INCUMPLIMIENTO DE LA POTENCIA NOMINAL**

Pérdida por no cumplir las especificaciones técnicas de potencia nominal, Los distintos paneles solares, al ser obtenidos mediante un proceso industrial sujeto a tolerancias, aleatoriedad, etc.... presentan una determinada distribución de cierta desviación típica.

En general se suele expresar la potencia nominal como la media de esa distribución más menos un intervalo distinto en función del fabricante. Los intervalos más habituales son 3%, 5% y 10%. Habitualmente, al tomar medidas, los paneles se sitúan siempre en la horquilla inferior del intervalo. En nuestro caso tomaremos pérdidas del  $\pm 3\%$ .

#### **12.1.2 MISMATCH**

Es energía pérdida debido principalmente a la propia conexión entre los distintos módulos. Esto se debe, a que las obleas metalizadas de silicio dopado que conforman un panel y sus celdas no son todas idénticamente iguales, y a menudo algunos módulos soportan menos corriente que otros. Estos módulos de menor capacidad limitan a la instalación en su conjunto. Se podría reducir las pérdidas mediante el uso de diodos bypass. Estos diodos permiten que la corriente circule a través de ellos, conectándose en paralelo a las celdas. Esto permite que una célula de menor capacidad do incluso una celda dañada o a la sombra, no reduzca tanto el rendimiento de las demás. Las celdas elegidas llevan incluidos estos diodos, por lo que se estimará una potencia perdida del 3%.

### 12.1.3 PÉRDIDAS POR POLVO

Proviene de la disminución de la producción de corriente continua de los paneles fotovoltaicos por la acumulación de polvo y de suciedad. La suciedad y el polvo, y otras pequeñas partículas, como excrementos u hojas; se depositan en mucha menor medida que en otras superficies debido a la existencia de una cubierta antiadherente y anti reflexiva que cubre las celdas. Pese a ello la suciedad se puede acumular de forma uniforme, lo que reduce la captación de luz incidente reduciendo la intensidad y la tensión que generan las celdas, esto hace que el punto de funcionamiento se sitúe por debajo del de potencia máxima. Otra casuística tiene lugar cuando hay una celda que acumula una gran suciedad, como por ejemplo una hoja húmeda en otoño. Este tipo de inconvenientes, requieren de cierta limpieza de los paneles ya que aumentan las pérdidas por mismach. Que una celda sea tapada completamente, reduce su habilidad de captar luz que excite los electrones del semiconductor, y esto desemboca en una menor capacidad de transmitir corriente. Como sabemos, las celdas están conectadas en serie lo que reduce considerablemente la eficiencia de todo el panel. En la Ilustración 28, se muestra el efecto sobre la curva V-I de la suciedad:

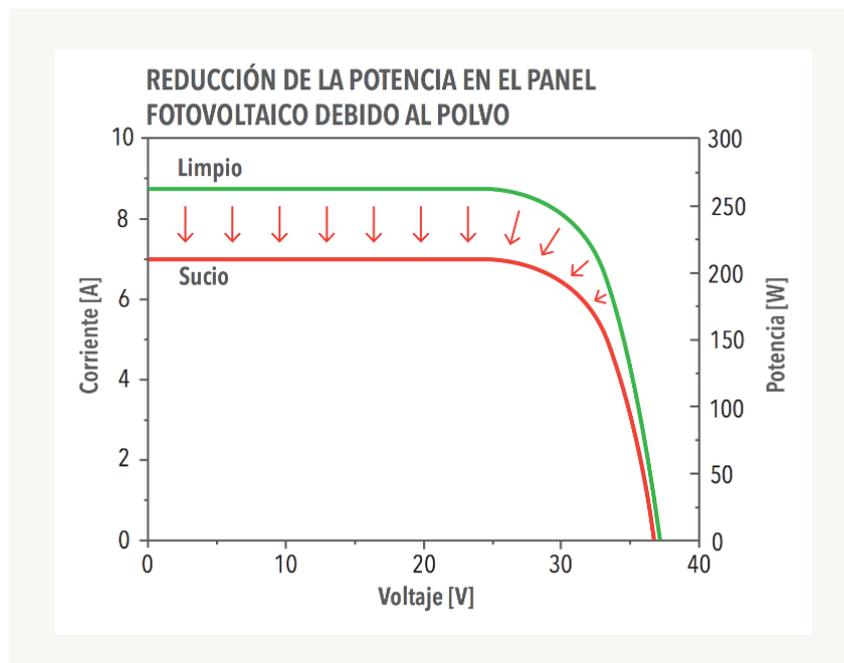


Ilustración 27. Efecto de la suciedad. (Phineal 2023)

Por el uso de micro inversores, las pérdidas por suciedad y polvo ocasional se reducen mucho. Se tomará un valor simbólico del 1%. Es cierto que en ciertos meses de verano, los últimos los vientos africanos han traído grandes cantidades de polvo, por lo que para futuras instalaciones se debería tener en cuenta el efecto de estos cambios climáticos.

### 12.1.4 PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN

El IDAE ofrece un método para calcular las pérdidas por orientación de las instalaciones fotovoltaicas que se encuentren en latitudes inferiores a 41°, como es el caso de la nuestra. Además, están limitadas a un máximo por instalación.

<i>Pérdidas de radiación del generador</i>	<i>Valor máximo permitido (%)</i>
Inclinación y orientación	20
Sombras	10
Combinación de ambas	20

Tabla 8. Límites de pérdidas (IDAE 2023)

Ilustración 28. Pérdidas máximas permitidas por orientación e inclinación no óptimas (IDAE 2023)

El método de la IDAE se basa en la Ilustración 29:

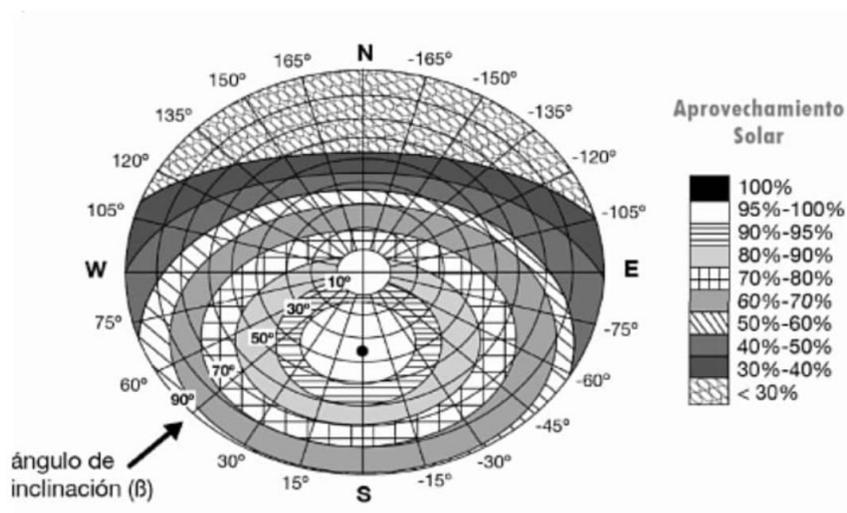


Ilustración 29. Método ángulo de inclinación. (IDAE 2023)

Observando la imagen y sabiendo que tenemos una alfa de cero, ya los paneles están orientados hacia el sur y una beta de  $40,5^\circ$ , que es la inclinación de los paneles, se obtienen unas pérdidas de entre el 0-5%. Se tomará el caso más crítico de unas pérdidas del 5%.

### **12.1.5 PÉRDIDAS POR TEMPERATURA**

La temperatura influye notablemente en la eficiencia de los paneles solares, ya que los cambios inducidos por ella en las propiedades de los semiconductores desempeñan un papel fundamental a la hora de hallar el rendimiento del conjunto de la instalación. Los paneles solares, compuestos principalmente de materiales semiconductores a base de silicio, convierten la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. A medida que aumenta la temperatura, la concentración intrínseca de portadores en el semiconductor se incrementa debido a la mayor energía térmica disponible, lo que provoca un aumento de los pares electrón-hueco. En consecuencia, el mayor número de portadores de carga aumenta la conductividad eléctrica del semiconductor, lo que se traduce en una reducción de su resistencia interna. Este efecto, conocido como aumento de la concentración de portadores libres, conduce a un aumento de la corriente de cortocircuito del panel solar. Sin embargo, la reducción simultánea de la banda prohibida del material con el aumento de la temperatura provoca una disminución de la tensión de circuito abierto. La tensión de circuito abierto representa la diferencia de potencial entre los terminales de la célula solar cuando no hay ninguna carga externa conectada. La disminución del voltaje en circuito abierto afecta directamente a la tensión del punto de máxima potencia (MPP), que corresponde a la tensión de funcionamiento óptima para obtener la máxima potencia. En consecuencia, el MPP del panel solar se reduce a medida que aumenta la temperatura, lo que conlleva una reducción de su potencia total. La combinación del aumento de la corriente de cortocircuito y la disminución de la tensión de circuito abierto provoca una disminución del factor de llenado, un parámetro que caracteriza el grado de extracción de energía del panel solar. En consecuencia, los cambios inducidos por la temperatura en las propiedades de los semiconductores provocan una reducción de la eficiencia máxima

alcanzable del panel solar. El coeficiente de temperatura, expresado como un cambio porcentual en la eficiencia por grado Celsius, cuantifica esta relación, teniendo un material negativo para todos los materiales de las celdas a utilizar en este proyecto. Además, el aumento de la temperatura acelera la tasa de recombinación de los portadores de carga en el semiconductor, reduciendo el tiempo de vida del portador y contribuyendo aún más a la disminución de la eficiencia. Además, las temperaturas más altas pueden exacerbar el impacto de otros mecanismos de degradación en los paneles solares, como la degradación inducida por el potencial y la degradación inducida por la luz, que pueden causar pérdidas adicionales de eficiencia. Aliviar los efectos adversos de la temperatura sobre la eficiencia de los paneles solares es un reto crítico en fotovoltaica. Investigadores e ingenieros han explorado diversas estrategias para mitigar las pérdidas inducidas por la temperatura. Los métodos de refrigeración activa, como la refrigeración líquida y los intercambiadores de calor, pretenden mantener el panel solar a temperaturas más bajas, reduciendo así el coeficiente de temperatura y mejorando la eficiencia global. Sin embargo, estos sistemas de refrigeración requieren componentes adicionales, lo que aumenta la complejidad y el coste de la instalación solar, por lo que no se usarán en esta instalación. También se han investigado enfoques de refrigeración pasiva, como la utilización de disipadores de calor o materiales conductores térmicos, aunque su eficacia puede ser limitada, especialmente en entornos de alta temperatura, como es el caso de Madrid en los meses de verano, especialmente en los últimos años. Además, los avances en la ciencia de los materiales han permitido desarrollar células solares con coeficientes de temperatura reducidos, lo que minimiza el impacto de la temperatura en la eficiencia. Por ejemplo, algunas investigaciones se centran en materiales de banda prohibida ancha para mejorar la estabilidad térmica del voltaje de la célula solar. Además, las nuevas tecnologías, como las células solares en tándem y las células solares de portador caliente, prometen mejorar la eficiencia y reducir las pérdidas relacionadas con la temperatura en el futuro. En conclusión, la temperatura afecta significativamente a la eficiencia de los paneles solares por su influencia en las propiedades de los semiconductores, provocando cambios en la corriente de cortocircuito, la tensión de circuito abierto y el factor de llenado. Estas alteraciones inducidas por la temperatura contribuyen colectivamente a reducir la

eficiencia máxima alcanzable del panel solar. El coeficiente de temperatura permite comprender mejor esta relación, ya que suele indicar una correlación negativa entre la eficiencia y la temperatura.

Para obtener las pérdidas de nuestras celdas se usa la siguiente fórmula, que halla el incremento de temperatura de una celda que se encuentra generando energía respecto de la temperatura ambiente:

$$\Delta T = 0,034 * I - 4$$

I: Es la potencia que produce el sol por unidad de superficie en Madrid, en nuestro caso se toma dividiendo los valores de horas efectivas y HSP.

En nuestro caso:

<b>HSP</b>	<b>Horas efectivas</b>	<b>I</b>	<b><math>\Delta T</math></b>
<b>1560</b>	<b>2723</b>	<b>572,897539</b>	<b>15,4785163</b>

Tabla 9. Incremento de temperatura respecto a la temperatura ambiente. Autoría propia

Este será el incremento de temperatura respecto de la temperatura ambiente, 15,5 °C.

Esto será un incremento respecto de la temperatura media diurna, que es cuando la instalación está funcionando, de la ciudad de Madrid. Esa temperatura es de 18 °C.

Las pérdidas porcentuales se calculan de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\eta \text{ pérdidas} = \text{Coef. Temp} * (T_a - T_{ref})$$

Recordando que nuestras celdas seleccionadas tienen un coeficiente de temperatura de -0,34%/°C, se obtienen pérdidas de:

$$\eta \text{ pérdidas} = 4\%$$

### 12.1.6 PÉRDIDAS POR EL INVERSOR

#### Efficiency

Peak Efficiency	97%
CEC Efficiency	96.5%
Nominal MPPT Efficiency	99.5%
Night Power Consumption	20mW

*Ilustración 30. Ficha técnica del inversor. (Autosolar 2023)*

De acuerdo con la ficha técnica del inversor, observemos distintos rendimientos. Por claridad, la eficiencia pico es la eficiencia máxima lograda en condiciones de laboratorio, se suele usar con propósitos comerciales porque no es muy realista. La CEC es la eficiencia en las condiciones del estado de California, sometiendo el inversor a una serie de procesos. Por otra parte, la eficiencia MPPT hace referencia a la habilidad del inversor para hacer un seguimiento y adaptación precisos de las distintas magnitudes eléctricas de las celdas. Pero no hace una medición completa de las distintas pérdidas que pueden aparecer en un inversor. Por ello se toma como dato de eficiencia el 96.5%. Tomándose unas pérdidas del 3.5% en cada uno de los micro inversores utilizados en la instalación, que como están presentes en todos los paneles, supondrán un 3.5% de la potencia total de la instalación.

### 12.1.7 PÉRDIDAS POR CABLEADO

Los propios cables que conectan las celdas y los consumos que van a alimentar presentan a menudo resistencia óhmicas que consumen potencia. Se asumirán pérdidas del 2%.

### 12.1.8 PÉRDIDAS POR SOMBRAS

Si un objeto proyecta sombra sobre los paneles puede ensombrecerlos y afectar a la cantidad de irradiancia que reciben y por tanto afectar también al rendimiento de la instalación. Al encontrarse la instalación al lado de un hospital, que es más bajo, y en una

esquina entre calles, por lo que no le puede dar sombra nada, se asumirá que estas pérdidas son despreciables. Es decir, pérdidas del 0%.

### 12.1.9 PÉRDIDAS TOTALES

Las pérdidas totales se calcularán sumando todas las pérdidas anteriores.

<b>Pérdidas</b>	<b>Nominal</b>	<b>3%</b>
	<b>Mismatch</b>	<b>3%</b>
	<b>Polvo</b>	<b>1%</b>
	<b>Orientación</b>	<b>5%</b>
	<b>Temperatura</b>	<b>4,00%</b>
	<b>Inversor</b>	<b>3,50%</b>
	<b>Cableado</b>	<b>2%</b>
	<b>Sombreado</b>	<b>0%</b>
<b>Totales</b>		<b>22%</b>

Tabla 10. Sumatorio de las pérdidas totales. Autoría propia.

Se obtiene así un rendimiento del **78.5%** del total de la instalación, valor de 22% redondeado en Excel.

Con esto podemos obtener la energía obtenida de los paneles cada año. Esto se conseguirá multiplicando o bien la potencia nominal por el rendimiento, o bien sustituyendo la potencia nominal por la expresión de la ley de Ohm, y calculando lo anterior pero multiplicando tensiones e intensidades nominales y HSP. Como se conoce la potencia nominal de las placas que es de 190 W, se usará ese valor.

$$\text{Energía por panel} = 190 \text{ W} * 0,785 = 149,15\text{W}$$

Conociendo este valor y el total de energía anual necesario, se obtiene el número de paneles:

$$n^{\circ} \text{ paneles} = \frac{\text{Energía}_{\text{Total}}}{\text{Energía}_{\text{panel}}} = \frac{6730}{149,15} = 45,1 \text{ o } 46 \text{ paneles solares}$$

Las dimensiones de los paneles solares son de 830 y 1660 mm respectivamente, pero hay que tener en cuenta la inclinación de 40° respecto al tejado y proyectar el área que de verdad

ocupan en planta, es decir multiplicar por el coseno del ángulo de la inclinación respecto del tejado ya inclinado, es decir 20°.

$$\text{Área}_{\text{panel}} = 0,88 * 1,66 * \cos(40^\circ - 20^\circ) = 1,4 \text{ m}^2$$

$$\text{Área}_{\text{paneles}} = \text{Área}_{\text{panel}} * n^{\circ}\text{paneles} = 63 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta que la superficie total del tejado es de 120 metros cuadrados, hay espacio más que suficiente para la instalación fotovoltaica.

## Capítulo 13. DISPOSICIÓN DE LOS MÓDULOS

Los paneles solares son instalaciones susceptibles de conectarse de tres maneras distintas.

Se pueden conectar en serie, en paralelo o en una conexión mixta que aúna ambas formas de conectar circuitos eléctricos.

### Conexión de la instalación fotovoltaica en paralelo:

Se realiza conectando los polos positivos de los paneles en un sitio y todos los negativos en otro. De esta forma todas las placas trabajan a tensión constante y en los nudos se realiza la suma de intensidades. En las conexiones en paralelo se producen intensidades de relativa magnitud, por lo que es importante el uso de buenos conectores y el seguimiento del reglamento de baja tensión para la instalación de todas las protecciones necesarias. Este sistema de conexión hace que los paneles sean menos susceptible a pérdidas porque uno de los paneles sea vea oscurecido.

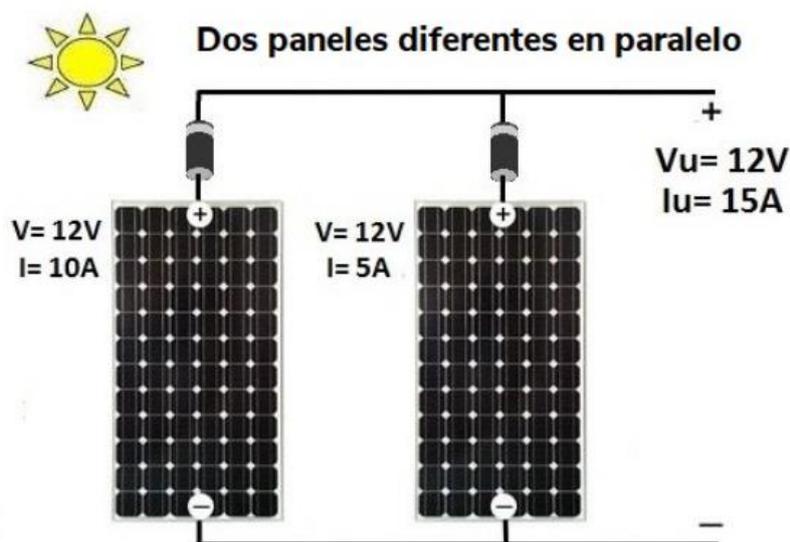
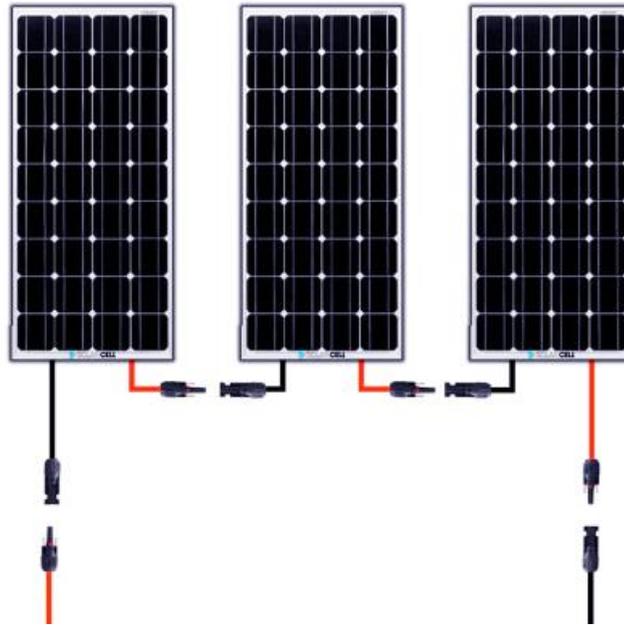


Ilustración 31. Conexión en paralelo (MPPT solar, 2023)

### Conexión de la instalación fotovoltaica en serie:



*Ilustración 32. Conexión en serie (SolarCell 2023)*

La conexión de paneles fotovoltaicos en serie se utiliza cuando los paneles solares tienen potencias de entre 200 y 260 W, de acuerdo con Damia Solar, y se usa especialmente en instalaciones cuyas tensiones de funcionamiento oscilan entre los 24 y los 48 Voltios. Suele utilizarse en paneles compuestos de 60 células. Este tipo de instalaciones requiere de un regulador MPPT, si hubiera sistemas de acumulación, y se incrementa la potencia un 25%.

La conexión mixta es obviamente el punto intermedio entre ambas conexiones, se conectan una serie de ramas en paralelo. Pero cada una de estas ramas a su vez tiene varios paneles en serie. Este sistema si bien aumenta la potencia considerablemente no lo hace tanto como el puramente en serie, pero también reduce el riesgo de que un objeto o sombra tape un solo panel lastrando la eficiencia de toda la instalación.

Este tipo de conexión aplican cuando se utilizan un inversor central con controladores de potencia. En nuestro caso, como el sistema utiliza micro inversores, se conectarán en paralelo directamente a la red. Se podrían conectar en serie, pero la conexión en paralelo hace más fácil la reparación e incluso la ampliación del sistema fotovoltaico.

## **Capítulo 14. ESTUDIO DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA**

A continuación, se estudia la viabilidad económica de este proyecto. Se harán una serie de asunciones en cuanto a la tasa de descuento y la inflación.

### ***14.1 TASA DE DESCUENTO***

La tasa de descuento, también se puede definir como coste de capital. Es el valor con el que se van a descontar los flujos futuros, y se corresponde con el coste de oportunidad o de financiación de esos flujos. Dado que se trata de una pequeña comunidad de vecinos, no tiene acceso a los grandes mercados de capitales ni a derivados con los que cubrirse de posibles riesgos de tipo de interés, por tanto su coste de capital será el ofrecido a las hipotecas fijas ahora mismo, que se asemeja a un perfil de riesgo y un activo similar. Se usará una tasa de 4,5%.

### ***14.2 INFLACIÓN***

En cuanto a la inflación, se asumirá una inflación tanto subyacente como general del 2%. Debido a que 2% es el target inflacionario de los bancos centrales.

### ***14.3 COSTES***

Se estudian los distintos costes directos e indirectos asociados a la instalación

#### **14.3.1 COSTES DE LA INSTALACIÓN**

La inversión inicial que se debe realizar incluye la adquisición de los elementos de la instalación. Se asume que se van a utilizar dos paneles en cada micro inversor para reducir los costes de 16.000 € a lo mostrado en la tabla 8:

Costes de los elementos de la instalación			
Elemento	Unidades	Coste unidad	Coste total
Módulos	45	57,475	2586,375
Micro inversores	22	278	6116
Soportes	22	23	506
<b>Total</b>			<b>9.208,38 €</b>

*Tabla 11. Costes de los elementos de la instalación*

### 14.3.2 COSTES DE LA INSTALACIÓN

Hace falta mano de obra para instalar los paneles y preparar el tejado, se asume basándose en costes de vecinos que las han instalado, que el coste asociado a la mano de obra es de unos 500€.

### 14.3.3 COSTES DE MANTENIMIENTO

La conexión mediante micro inversores y el reducido número de placas reduce los costes de mantenimiento, se asumirán unos 500 euros anuales, principalmente de alguna avería y de limpieza.

### 14.3.4 IMPUESTO DE CONSTRUCCIÓN

Impuesto del 4% del total de la construcción o instalación. En este caso son unos 370€.

### 14.3.5 COSTE DE RETIRADA

Si bien este coste existe, y es de gran importancia debido a que las instalaciones fotovoltaicas generan residuos complicados de reciclar, es a tan largo plazo que no se va a tener en cuenta, debido a que es un flujo de caja que a poco valor que tenga la tasa de descuento no va a afectar apenas al valor neto de la inversión

### 14.3.6 PRESUPUESTO DE LICITACIÓN

Calculados los costes asociados se debe pedir ahora un presupuesto. De acuerdo al artículo 100 de la LCSP el presupuesto base de la licitación se define como “el límite máximo de

gasto que en virtud del contrato puede comprometer el órgano de contratación, incluido el Impuesto sobre el Valor Añadido, salvo disposición en contrario”.

$$PBL = \text{costes (directos e indirectos)} + \text{beneficio industrial} + \text{IGIC}$$

Los costes directos se han calculado en el apartado anterior. Los costes indirectos en este caso son los honorarios del ingeniero, que trabajará gratis por un futuro más sostenible. El beneficio industrial es la parte del beneficio final que obtiene el empresario. En este caso, como el empresario vive en la casa, es suficiente retribución pagar menos luz. El último término hace referencia a las tasas e impuestos, en este caso el IVA del 21%.

Queda por tanto un PBL igual a lo mostrado en la tabla 9:

Costes de los elementos de la instalación				PBL	
Elemento	Unidades	Coste unidad	Coste total		
Módulos	45	57,475	2586,375	<b>Costes directos</b>	10.576,71 €
Micro inversores	22	278	6116	<b>Costes indirectos</b>	0
Soportes	22	23	506	<b>Beneficio Industrial</b>	0
<b>Total</b>			<b>9.208,38 €</b>	<b>IGIC</b>	2.221,11 €
				<b>Total</b>	<b>12.797,82 €</b>

<b>Costes de instalación</b>		<b>500,00 €</b>
<b>Costes de mantenimiento</b>		<b>500,00 €</b>
<b>4%</b>	<b>ICIO</b>	<b>368,34 €</b>

*Tabla 12. Costes directos y PBL*

### 14.3.7 GASTOS DE MANTENIMIENTO

Otros gastos que habrá que tener en cuenta, son los gastos de mantenimiento anuales, estos se vincularán a la inflación asumiendo que los paneles duran hasta 2048, 25 años de duración. Buscando proveedores de servicios de mantenimiento, se encuentran servicios de

mantenimiento por 300€ anuales, teniendo en cuenta que son 45 paneles, y que no existen baterías. En la tabla10 se muestra la evolución de estos costes.

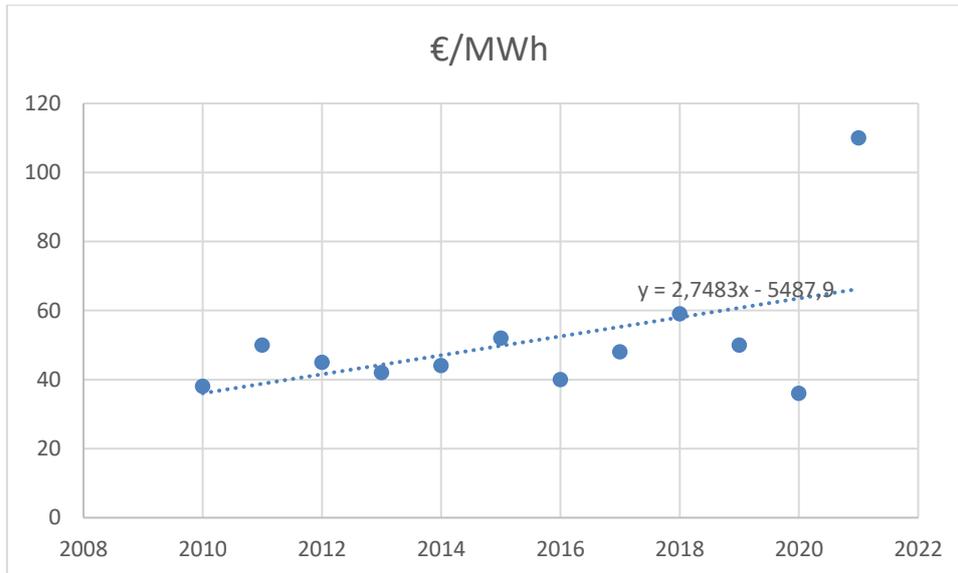
Costes de mantenimiento	
Año	Importe
2023	300
2024	306
2025	312,12
2026	318,3624
2027	324,729648
2028	331,224241
2029	337,8487258
2030	344,6057003
2031	351,4978143
2032	358,5277706
2033	365,698326
2034	373,0122925
2035	380,4725384
2036	388,0819891
2037	395,8436289
2038	403,7605015
2039	411,8357115
2040	420,0724258
2041	428,4738743
2042	437,0433518
2043	445,7842188
2044	454,6999032
2045	463,7939012
2046	473,0697793
2047	482,5311748
2048	492,1817983

*Tabla 13. Costes de mantenimiento 2023-48*

## **14.4 INGRESOS**

Los ingresos de este proyecto son en categoría de lo que se conoce como costes hundidos (“sunk costs”), es decir, la comunidad no percibirá mayores flujos de capital entrando, sino que verá sus flujos salientes disminuir. Tomando los precios medios de la luz de los últimos

años y realizando una recta de regresión para estimar los costes futuros se obtienen los valores €/kWh para los próximos años.



*Ilustración 33. Evolución del precio de la luz*

Con estos valores, asumiendo una tasa de degradación del 2% interanual se obtienen los siguientes ingresos:

Año	Producción(MWh)	Precio(€/MWh)	Ingresos(€)
2023	14,7	72,8	1067,6
2024	14,6	75,6	1102,3
2025	14,5	78,3	1136,7
2026	14,4	81,1	1170,7
2027	14,4	83,8	1204,3
2028	14,3	86,6	1237,6
2029	14,2	89,3	1270,5
2030	14,2	92,0	1303,1
2031	14,1	94,8	1335,3
2032	14,0	97,5	1367,1
2033	13,9	100,3	1398,6
2034	13,9	103,0	1429,8
2035	13,8	105,8	1460,6
2036	13,7	108,5	1491,0
2037	13,7	111,3	1521,1
2038	13,6	114,0	1550,9
2039	13,5	116,8	1580,3
2040	13,5	119,5	1609,4
2041	13,4	122,3	1638,2
2042	13,3	125,0	1666,6
2043	13,3	127,8	1694,8
2044	13,2	130,5	1722,6
2045	13,1	133,3	1750,0
2046	13,1	136,0	1777,2
2047	13,0	138,8	1804,0
2048	12,9	141,5	1830,6

*Tabla 14. Ingresos*

## ***14.5 CONSOLIDACIÓN Y DESCUENTO DE LOS FLUJOS***

Ahora se pondrán los flujos en cada año y se descontarán para observar el valor actual neto de la inversión. Las inversiones iniciales serán la licitación, los costes anuales serán los de mantenimiento y los ingresos se corresponderán con el ahorro en la factura.

Año	Capex inicial	Mantenimiento	Ingresos	Neto	Factor descuento	Valor actual
2023	12.797,82 €	300	1067,6	-12030,3	1,0	-12030,266
2024		306	1102,3	796,3	1,0	762,0189
2025		312,12	1136,7	824,6	0,9	755,08512
2026		318,3624	1170,7	852,3	0,9	746,90275
2027		324,729648	1204,3	879,6	0,8	737,61118
2028		331,224241	1237,6	906,4	0,8	727,33917
2029		337,8487258	1270,5	932,7	0,8	716,20566
2030		344,6057003	1303,1	958,5	0,7	704,32031
2031		351,4978143	1335,3	983,8	0,7	691,78421
2032		358,5277706	1367,1	1008,6	0,7	678,69039
2033		365,698326	1398,6	1032,9	0,6	665,12439
2034		373,0122925	1429,8	1056,7	0,6	651,16474
2035		380,4725384	1460,6	1080,1	0,6	636,88349
2036		388,0819891	1491,0	1102,9	0,6	622,34659
2037		395,8436289	1521,1	1125,3	0,5	607,61434
2038		403,7605015	1550,9	1147,1	0,5	592,74179
2039		411,8357115	1580,3	1168,5	0,5	577,7791
2040		420,0724258	1609,4	1189,3	0,5	562,77185
2041		428,4738743	1638,2	1209,7	0,5	547,76143
2042		437,0433518	1666,6	1229,6	0,4	532,78529
2043		445,7842188	1694,8	1249,0	0,4	517,87723
2044		454,6999032	1722,6	1267,9	0,4	503,06767
2045		463,7939012	1750,0	1286,2	0,4	488,38392
2046		473,0697793	1777,2	1304,1	0,4	473,85036
2047		482,5311748	1804,0	1321,5	0,3	459,48872
2048		492,1817983	1830,6	1338,4	0,3	445,31822
					<b>VAN</b>	<b>3374,651 €</b>
					<b>IRR</b>	<b>6,8%</b>

Tabla 15. Rentabilidad de la inversión

Se obtienen VAN y IRR positivos, por lo que es recomendable realizar la inversión.

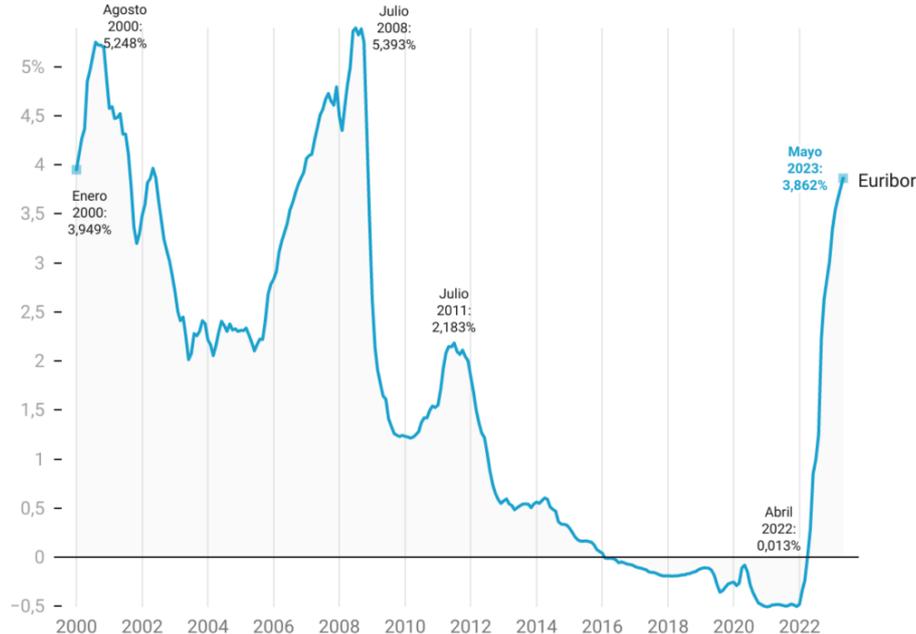
El IRR obtenido es muy atractivo comparado con las rentabilidades de otras inversiones en infraestructura actuales.

## 14.6 FINANCIACIÓN BANCARIA

A continuación, se estudia cómo afectaría a la inversión, si en vez de pagar de primeras la inversión inicial de 12,797 €. Se pide un préstamo bancario. Este préstamo se pedirá a tipo fijo para no estar expuesto a los tipos cambiantes debido a las inestables políticas internacionales. Como se muestra en la ilustración 34 los tipos siguen al alza, y la inflación europea está aún lejos del objetivo del 2% de los bancos centrales.

### Euribor de 2000 a 2023

Evolución histórica del Euribor a 12 meses mensual



*Ilustración 34. Euribor (Futur Finances, 2023)*

El préstamo seguirá una amortización francesa, es decir, se pagarán cuotas mensuales iguales, y lo que cambiará será la proporción entre pago de principal y pago de interés. Se consulta por ejemplo la oferta del Banco Santander, que ofrece un préstamo de condiciones especiales a la Eficiencia Energética, con las siguientes características:

- Tipo de interés nominal anual fijo: 4%.
- TAE1 4,38%.
- Comisión de apertura financiada: 1%.
- Amortización anticipada: podrás amortizar el préstamo de forma total o parcial sin comisiones. En caso de que percibas algún tipo de subvención, podrás destinarla a la amortización del préstamo para rebajar tu deuda sin ningún coste.
- Flexibilidad: porque podrás devolverlo hasta en 7 años.
- Importe mínimo y máximo de financiación: 1.000€ - 100.000€.

Información del propio Banco Santander a Julio de 2023.

Se pedirá el préstamo a 7 años, y por la totalidad de los gastos iniciales. Esto resultará en un pago inicial de 127 € por la comisión de apertura y los siguientes gastos mensuales:

$$\text{Mensualidad} = \text{Nominal} * \frac{(1 + i_{\text{mensualizado}})^{n^{\circ} \text{ meses en 7 años}} * i_{\text{mensualizado}}}{(1 + i_{\text{mensualizado}})^{n^{\circ} \text{ meses en 7 años}} - 1}$$

Con esta fórmula se obtiene una mensualidad de 177,18 €, que al año son 2126,2 € durante los 7 primeros años. Calculando el valor neto y la tasa de retorno ahora se obtiene:

Año	Capex inicial	Gastos bancario	Mantenimiento	Ingresos	Neto	Factor descuento	Valor actual
2023	127,98 €	2.126,20 €	300	1067,6	-1486,6	1,0	-1486,6248
2024		2.126,20 €	306	1102,3	-1329,9	1,0	-1329,8903
2025		2.126,20 €	312,12	1136,7	-1301,6	1,0	-1301,6282
2026		2.126,20 €	318,3624	1170,7	-1273,9	1,0	-1273,8599
2027		2.126,20 €	324,729648	1204,3	-1246,6	1,0	-1246,585
2028		2.126,20 €	331,224241	1237,6	-1219,8	1,0	-1219,8031
2029		2.126,20 €	337,8487258	1270,5	-1193,5	1,0	-1193,5139
2030			344,6057003	1303,1	958,5	1,0	958,482629
2031			351,4978143	1335,3	983,8	1,0	983,786752
2032			358,5277706	1367,1	1008,6	1,0	1008,59849
2033			365,698326	1398,6	1032,9	1,0	1032,91783
2034			373,0122925	1429,8	1056,7	1,0	1056,74469
2035			380,4725384	1460,6	1080,1	1,0	1080,07889
2036			388,0819891	1491,0	1102,9	1,0	1102,9202
2037			395,8436289	1521,1	1125,3	1,0	1125,2683
2038			403,7605015	1550,9	1147,1	1,0	1147,12279
2039			411,8357115	1580,3	1168,5	1,0	1168,4832
2040			420,0724258	1609,4	1189,3	1,0	1189,34898
2041			428,4738743	1638,2	1209,7	1,0	1209,7195
2042			437,0433518	1666,6	1229,6	1,0	1229,59403
2043			445,7842188	1694,8	1249,0	1,0	1248,97177
2044			454,6999032	1722,6	1267,9	1,0	1267,85185
2045			463,7939012	1750,0	1286,2	1,0	1286,23328
2046			473,0697793	1777,2	1304,1	1,0	1304,11502
2047			482,5311748	1804,0	1321,5	1,0	1321,49591
2048			492,1817983	1830,6	1338,4	1,0	1338,37473
						<b>VAN</b>	<b>13008,2</b>
						<b>TIR</b>	<b>7,2%</b>

Tabla 16. Flujos consolidados préstamo bancario. Autoría propia.

## **Capítulo 15. CONCLUSIÓN**

La primera conclusión a la que se llega a cabo es a que hace falta seguir investigando en celdas fotovoltaicas que capturen más energía. Las celdas monocristalinas usadas en el proyecto, las más eficientes, tienen rendimientos de entorno al 17-20%, que suponen pérdidas de irradiación y de electricidad potencialmente generada muy altas.

También es necesario generar una cadena que reutilice los semiconductores de paneles antiguos, pese a que sus vidas útiles son razonablemente largas, de entorno a un cuarto de siglo, si no se investiga y planea con antelación habrá problemas aún más graves de disponibilidad de semiconductores y se generan residuos contaminantes.

Otra gran limitación es el coste de las baterías, al final al inyectar a la red se producen pérdidas, y obligan al consumidor a tener al menos que pagar la parte fija de la factura por la potencia no dispuesta. Si las baterías se abarataran linealmente, los sistemas fotovoltaicos aislados ganarían rentabilidad de forma exponencial, por poder desprenderse de todos los gastos asociados a la red eléctrica convencional.

La última conclusión es la importancia de la financiación elegida, las instituciones globales financieras han comprometido trillones de capital a la transición energética, muchas veces hay maneras sencillas de incrementar la rentabilidad de nuestro proyecto, como en este caso.

## Capítulo 16. BIBLIOGRAFÍA

1. [https://www.fundacionpfizer.org/sites/default/files/dendra\\_nov\\_2014\\_03\\_energia\\_desarrollo\\_demografia\\_y\\_recursos\\_naturales.pdf](https://www.fundacionpfizer.org/sites/default/files/dendra_nov_2014_03_energia_desarrollo_demografia_y_recursos_naturales.pdf) Fecha de acceso: Mayo de 2023
2. Banco Mundial, 2023.
3. <https://renewablesnow.com/news/spains-renewables-share-at-422-in-2022-810506/> Fecha de acceso: Mayo de 2023
4. <https://elperiodicodelaenergia.com/espana-instala-mas-8-300-mw-renovables-2022-7-gw-fotovoltaica/> Fecha de acceso: Mayo de 2023
5. [https://www.openaccessgovernment.org/one-year-impact-of-ukraine-war-global-energy-pricesinputoutputanalysis/152599/#:~:text=In%20terms%20of%20energy%20\(fossil,five%20months%20following%20the%20invasion](https://www.openaccessgovernment.org/one-year-impact-of-ukraine-war-global-energy-pricesinputoutputanalysis/152599/#:~:text=In%20terms%20of%20energy%20(fossil,five%20months%20following%20the%20invasion). Fecha de acceso Junio 2023
6. <https://www.weforum.org/agenda/2023/02/russia-ukraine-war-energy-costs/> Fecha de acceso Junio 2023
7. <https://www.elindependiente.com/economia/2023/03/18/argelia-el-socio-comercial-que-espana-perdio-en-su-giro-con-respecto-al-sahara/> Fecha de acceso Junio 2023
8. <https://planderecuperacion.gob.es/politicas-y-componentes/componente-7-despliegue-e-integracion-de-energias-renovables> Fecha de acceso Junio 2023
9. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/tipos-instalaciones-fotovoltaicas.html> Fecha de acceso Junio 2023
10. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html> Fecha de acceso Julio 2023
11. <https://grupoturelectric.com/tipos-de-paneles-solares-eficiencia-y-rentabilidad/> Fecha de acceso Julio 2023
12. <https://tecnosolab.com/noticias/baterias-para-energia-solar-tipos/> Fecha de acceso Julio 2023
13. <https://gruposuroeste.es/blog/normativa-placas-solares-en-viviendas/> Fecha de acceso Julio 2023
14. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-5089> Fecha de acceso Julio 2023

15. [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/ES:Comunidad\\_de\\_Madrid#:~:text=Comunidad%20de%20Madrid%20es%20una,%C2%B048%E2%80%B254.00%E2%80%B3%20Oeste.](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/ES:Comunidad_de_Madrid#:~:text=Comunidad%20de%20Madrid%20es%20una,%C2%B048%E2%80%B254.00%E2%80%B3%20Oeste.)  
Fecha de acceso Julio 2023
16. [https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/194049/1/TFM\\_Trinidad%20Guti%C3%A9rriz.pdf](https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/194049/1/TFM_Trinidad%20Guti%C3%A9rriz.pdf) Fecha de acceso Julio 2023
17. <https://autosolar.es/micro-inversores/micro-inversor-aps-ds3-880w-230v> Fecha de acceso Julio 2023
18. [https://uk.renogy.com/renogy-rv-tilt-mount-brackets/?Rng\\_ads=f3118949c5c2a27c&glid=Cj0KCQjwqs6lBhCxARIsAG8YcDiNNLSOdPURjEaDwhNbHgJ1JcOjW\\_wJID\\_AgMEqrHwxELxNW08XXX8aAtN0EALw\\_wcB](https://uk.renogy.com/renogy-rv-tilt-mount-brackets/?Rng_ads=f3118949c5c2a27c&glid=Cj0KCQjwqs6lBhCxARIsAG8YcDiNNLSOdPURjEaDwhNbHgJ1JcOjW_wJID_AgMEqrHwxELxNW08XXX8aAtN0EALw_wcB)  
Fecha de acceso Julio 2023
19. <https://sotysolar.es/blog/factores-afectan-generacion-placas-solares> Fecha de acceso Julio 2023
20. <https://www.youtube.com/watch?v=bN6gBS-xq5U> Fecha de acceso Julio 2023
21. <http://www.yubasolar.net/2015/03/factores-de-perdidas-energeticas.html> Fecha de acceso Julio 2023
22. <https://www.phineal.com/el-polvo-enemigo-silencioso-de-la-energia-solar/> Fecha de acceso Julio 2023
23. <https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-de-madrid/madrid-92/> Fecha de acceso Julio 2023
24. [https://www.pvxchange.com/Solar-Modules/Aleo/S17-195\\_1-2107251](https://www.pvxchange.com/Solar-Modules/Aleo/S17-195_1-2107251) (ficha técnica panel) Fecha de acceso Julio 2023

25. [https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/conexion-paneles-solares-en-serie-en-paralelo\\_1](https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/conexion-paneles-solares-en-serie-en-paralelo_1) Fecha de consulta: Julio de 2023
26. <https://administrativando.es/valor-estimado-presupuesto-base-y-precio-de-la-licitacion-tres-conceptos-que-no-pueden-confundirse/> Fecha de consulta: Julio 2023
27. <https://www.habitissimo.es/presupuestos/hacer-mantenimiento-placas-solares> Fecha de consulta: Julio 2023
28. <https://www.bancosantander.es/santander-sostenible/prestamo-verde-eficiencia-energetica> Fecha de consulta: Julio de 2023

## Capítulo 17. PLANOS

Plano de la instalación:

