



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

LA EXPERIENCIA DEL MODELO DE
AUTOCONSUMO EN HOGAR JUNTO CON
MOVILIDAD ELÉCTRICA. NUEVOS MODELOS DE
FINANCIACIÓN AS A SERVICE.

Autor: Beatriz Galán Martínez

Director: Elías Gómez López

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
La experiencia del modelo de autoconsumo en hogar junto con movilidad eléctrica.
Nuevos modelos de financiación as a service.

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/23 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Beatriz Galán Martínez

Fecha: ...29.../ ...08.../ ...2023...

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Elías Gómez López

Fecha: ...29.../ ...08.../ ...2023...



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

LA EXPERIENCIA DEL MODELO DE
AUTOCONSUMO EN HOGAR JUNTO CON
MOVILIDAD ELÉCTRICA. NUEVOS MODELOS DE
FINANCIACIÓN AS A SERVICE.

Autor: Beatriz Galán Martínez

Director: Elías Gómez López

Madrid

LA EXPERIENCIA DEL MODELO DE AUTOCONSUMO EN HOGAR JUNTO CON MOVILIDAD ELÉCTRICA. NUEVOS MODELOS DE FINANCIACIÓN AS A SERVICE.

Autor: Galán Martínez, Beatriz.

Director: Gómez López, Elías.

Entidad Colaboradora: BBVA

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se ha analizado el autoconsumo fotovoltaico, su evolución a lo largo de los años, los objetivos a cumplir a futuro y su rentabilidad en el sector residencial, considerando la reducción de consumo energético. Partiendo del análisis inicial, se han añadido factores externos como el coche eléctrico y la aerotermia para estudiar el efecto que tienen sobre el consumo combinado con la instalación fotovoltaica.

Palabras clave: Instalación fotovoltaica, rentabilidad, coche eléctrico, aerotermia

1. Introducción

Debido a la creciente preocupación por el cambio climático desde los diferentes gobiernos en la Unión Europea se está fomentando la práctica del autoconsumo, principalmente fotovoltaico.

El autoconsumo ha ido creciendo a lo largo de los últimos años, llegó a crecer en el sector doméstico un 7% del año 2021 al año 2022 y seguirá en aumento gracias a las subvenciones dadas por el gobierno y los ayuntamientos, para la instalación de placas solares. [1]

El autoconsumo doméstico tradicional está cambiando y ya no se basa únicamente en la instalación de placas solares con el fin de reducir el consumo de la vivienda y ahorrar en el gasto en la factura de la luz, sino que se están introduciendo factores externos para aprovechar al máximo la energía producida por las placas, como el coche eléctrico y la aerotermia, consiguiendo un ahorro mayor, ya no solo en la factura de la luz, sino que también en gasolina y gas, llegando a ser una vivienda completamente sostenible.

2. Definición del Proyecto

Este proyecto está dividido en varias secciones:

1. **Contextualización del autoconsumo:** se definirán los diferentes tipos de autoconsumo y las ventajas de cada uno y se analizará la situación actual del mismo no solo en España, sino que también a nivel global. Y se expondrán los objetivos de autoconsumo marcados para el futuro, como la Agenda 2030.
2. **Caso Base:** se elegirá una vivienda modelo para diseñar la mejor instalación fotovoltaica según su consumo y tener un escenario base sobre el que se estudiará el efecto de los factores externos.
3. **Coche eléctrico:** se analizará la rentabilidad de la compra de un coche eléctrico en dos escenarios, disponiendo previamente de placas solares en el caso base y aumentando la instalación inicial.

4. **Aerothermia:** se analizará la rentabilidad de la instalación de la aerothermia en dos escenarios, disponiendo previamente de placas solares en el caso base y aumentando la instalación inicial.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Para el estudio de la rentabilidad de las placas solares inicialmente se establecerá una vivienda modelo definiendo las siguientes características:

- Tipo de vivienda
- Ubicación
- Consumo energético
- Tarifa eléctrica

Una vez definida la vivienda se diseñará la instalación basándose en el consumo y se establecerá la producción de la instalación con el simulador PVGIST [2]. Para analizar la rentabilidad se emplearán diferentes índices financieros como el VAN o el TIR.

Teniendo el caso base se añadirán los diferentes factores externos por separado, analizando el coste de la inversión y estableciendo dos escenarios.

1. Con instalación de autoconsumo previa del Caso base
2. Aumentando la instalación adaptada al nuevo consumo de la vivienda

4. Resultados

Caso base: Analizando el impacto de la instalación de las placas solares, se obtiene un ahorro en la factura eléctrica mensual del 48% y calculando el flujo de caja mostrado en la Figura 1 se obtiene que el periodo de retorno es de 6 años.

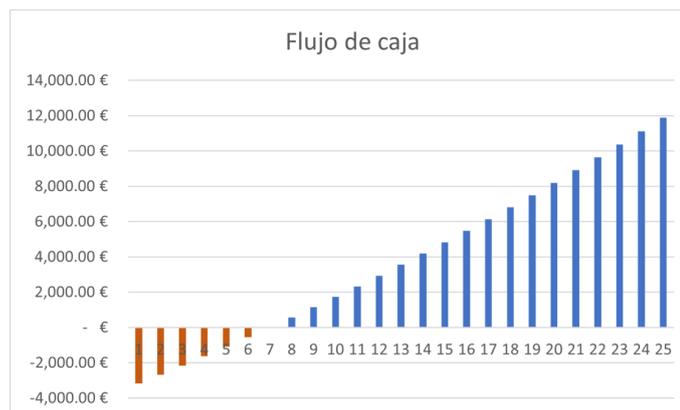


Figura 1. Gráfico de flujo de caja de inversión Caso base

Caso coche eléctrico: Analizando los dos escenarios mencionados previamente se ha obtenido un mayor ahorro con el aumento de la instalación como se muestra en la Figura 2 donde el gasto en la factura es mucho menor y llegando a un ahorro del **67%** con respecto al escenario del caso base.

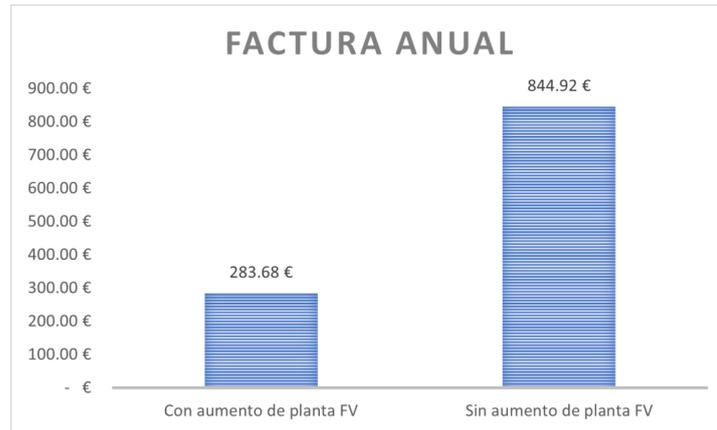


Figura 2. Comparativa impactos de los dos escenarios en factura anual coche eléctrico

Caso aerotermia: Se han analizado los dos escenarios mencionados previamente y se ha obtenido un mayor ahorro con el aumento de la instalación como se muestra en la Figura 3 donde el gasto en la factura es mucho menor y llegando a un ahorro del **66%** con respecto al escenario del caso base.

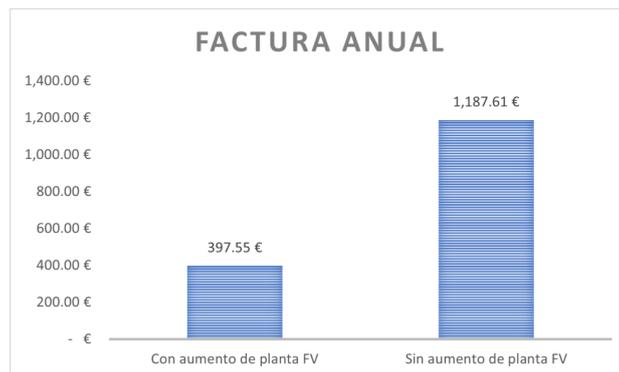


Figura 3. Comparativa impactos de los dos escenarios en factura anual aerotermia

5. Conclusiones

Analizando los resultados obtenidos de los diferentes casos y escenarios se concluye que la inversión en placas solares es muy rentable pudiéndose recuperar, teniendo en cuenta las subvenciones disponibles, hasta en 1,5 años, muy por debajo de la vida útil de las placas solares (25 años).

También se concluye que, si el consumo de la vivienda aumenta debido a factores externos como el coche eléctrico o la aerotermia, es más rentable realizar otra inversión para aumentar la instalación ya que se consigue compensar el consumo extra con la producción de las placas por lo que el ahorro a largo plazo es mucho mayor y se consigue una vivienda sostenible sin gasto en gasolina, gas y con menor gasto de electricidad.

Además del factor económico existe también el factor medioambiental, el cual se ve afectado positivamente ya que se alcanzaría una vivienda con emisiones prácticamente nulas.

6. Referencias

- [1]
«El crecimiento imparable del autoconsumo fotovoltaico», *Endesa*, 31 de julio de 2023.
<https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/aumento-autoconsumo-fotovoltaico-espana> (accedido 13 de agosto de 2023).
- [2]
«JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission».
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/ (accedido 10 de agosto de 2023).
- [3]
«Saunier Duval». <http://www.saunierduval.es/para-el-profesional/servicios/calculadora-para-aeroterminia-y-sistemas-hibridos/> (accedido 12 de agosto de 2023).
- [4]
«Subvenciones de placas solares: cuáles hay y cómo se piden», *Selectra*.
<https://selectra.es/autoconsumo/info/normativa/subvenciones> (accedido 13 de agosto de 2023).
- [5]
«¿Cuál es el futuro del autoconsumo en España?», *Endesa*, 1 de junio de 2023.
<https://www.endesa.com/es/la-cara-e/autoconsumo/futuro-autoconsumo-espana> (accedido 13 de agosto de 2023).

THE EXPERIENCE OF THE SELF-CONSUMPTION MODEL AT HOME TOGETHER WITH ELECTRIC MOBILITY. NEW MODELS OF FINANCING AS A SERVICE.

Author: Galán Martínez, Beatriz.

Supervisor: Gómez López, Elías.

Collaborating Entity: BBVA

ABSTRACT

This project has analysed photovoltaic self-consumption, its evolution over the years, the objectives to be met in the future and its profitability in the residential sector, considering the reduction in energy consumption. Based on the initial analysis, external factors such as the electric car and aérothermal energy have been added to study the effect, they have on consumption combined with the photovoltaic installation.

Keywords: Photovoltaic installation, cost-effectiveness, electric car, aérothermics

1. Introduction

Due to the growing concern about climate change, different governments in the European Union are encouraging the practice of self-consumption, mainly photovoltaic.

Self-consumption has been growing over the last few years, growing by 7% in the domestic sector from 2021 to 2022 and will continue to increase thanks to the subsidies provided by the government and local councils for the installation of solar panels. [1]

Traditional domestic self-consumption is changing and is no longer based solely on the installation of solar panels in order to reduce consumption in the home and save on electricity bills, but external factors are being introduced to make the most of the energy produced by the panels, such as electric cars and aérothermal energy, achieving greater savings, not only on electricity bills, but also on petrol and gas, making the home completely sustainable.

2. Project definition

This project is divided into several sections:

- 1 **Contextualisation of self-consumption:** the different types of self-consumption and the advantages of each one will be defined, and the current situation will be analysed, not only in Spain, but also globally. The self-consumption objectives set for the future, such as Agenda 2030, will also be presented.
- 2 **Base Case:** a model home will be chosen to design the best photovoltaic installation according to its consumption and to have a base scenario on which the effect of external factors will be studied.
- 3 **Electric car:** the profitability of buying an electric car will be analysed in two scenarios, previously having solar panels in the base case and increasing the initial installation.
- 4 **Aérothermal:** the cost-effectiveness of installing aérothermal energy will be analysed in two scenarios, with solar panels in the base case and increasing the initial installation.

3. Description of the model/system/tool

For the study of the profitability of solar panels, a model house will be established initially, defining the following characteristics:

- Type of house
- Location
- Energy consumption
- Electricity tariff

Once the house has been defined, the installation will be designed based on consumption and the production of the installation will be established with the PVGIST simulator [2]. In order to analyse the profitability, different financial indices such as NPV or IRR will be used.

Taking the base case, the different external factors will be added separately, analysing the cost of the investment and establishing two scenarios.

- 1 With previous self-consumption installation of the base case.
- 2 Increasing the installation adapted to the new consumption of the dwelling.

4. Results

Base case: Analysing the impact of the installation of the solar panels, we obtain a saving in the monthly electricity bill of **48%** and calculating the cash flow shown in Figure 1 we obtain that the payback period is 6 years.

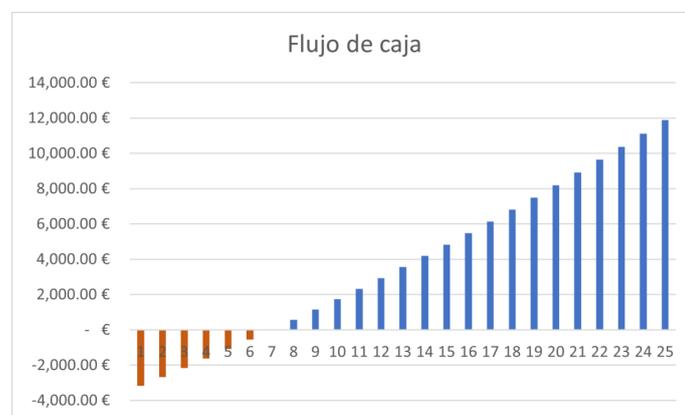


Figure 1. Investment cash flow graph Base case

Electric car case: Analysing the two previously mentioned scenarios, a greater saving has been obtained with the increase of the installation as shown in Figure 2, where the cost of the bill is much lower, reaching a saving of **67%** with respect to the base case scenario.

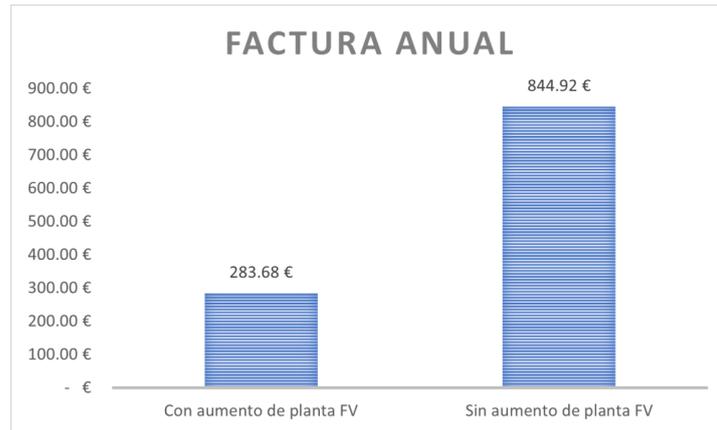


Figure 2. Comparison of the impacts of the two scenarios on the annual electric car invoice

Aerothermal case: The two previously mentioned scenarios have been analysed and a greater saving has been obtained with the increase of the installation as shown in Figure 3, where the bill is much lower, reaching a saving of **66%** with respect to the base case scenario.

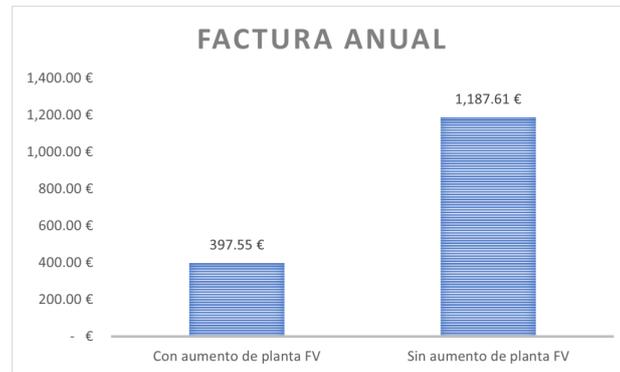


Figure 3. Comparison of the impacts of the two scenarios on annual aerothermal bill

5. Conclusions

Analysing the results obtained from the different cases and scenarios, it is concluded that the investment in solar panels is very profitable and can be recovered, taking into account the available subsidies, in up to 1.5 years, well below the useful life of the solar panels (25 years).

It is also concluded that, if the consumption of the house increases due to external factors such as the electric car or aerothermics, it is more profitable to make another investment to increase the installation, as the extra consumption is compensated by the production of the panels, so that the long-term savings are much greater and a sustainable house is achieved without spending on petrol, gas and with lower electricity costs.

In addition to the economic factor, there is also the environmental factor, which is positively affected, as a house with practically zero emissions would be achieved.

6. References

- [1]
‘El crecimiento imparable del autoconsumo fotovoltaico’, *Endesa*, Jul. 31, 2023.
<https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/aumento-autoconsumo-fotovoltaico-espana> (accessed Aug. 13, 2023).
- [2]
‘JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission’.
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/ (accessed Aug. 10, 2023).
- [3]
‘Saunier Duval’. <http://www.saunierduval.es/para-el-profesional/servicios/calculadora-para-aeroterminia-y-sistemas-hibridos/> (accessed Aug. 12, 2023).
- [4]
‘Subvenciones de placas solares: cuáles hay y cómo se piden’, *Selectra*.
<https://selectra.es/autoconsumo/info/normativa/subvenciones> (accessed Mar. 19, 2023).
- [5]
‘¿Cuál es el futuro del autoconsumo en España?’, *Endesa*, Jun. 01, 2023.
<https://www.endesa.com/es/la-cara-e/autoconsumo/futuro-autoconsumo-espana> (accessed Aug. 13, 2023).

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	7
Capítulo 2. Estado de la cuestión.....	9
Capítulo 3. Definición del trabajo.....	12
3.1 Objetivos	12
3.2 Metodología.....	12
Capítulo 4. Situación autoconsumo.....	14
4.1 Tipos de autoconsumo.....	14
4.2 Situación actual en España	16
4.3 Situación actual a nivel global.....	18
4.4 Objetivos de autoconsumo para el futuro.....	20
Capítulo 5. Modelo de vivienda.....	22
5.1 Tipo de vivienda.....	22
5.2 Consumo eléctrico.....	25
5.3 Factura eléctrica	27
Capítulo 6. Caso base	30
6.1 Elementos de la instalación fotovoltaica	32
6.1.1 Panel solar fotovoltaico	32
6.1.2 Inversor monofásico	33
6.1.3 Contador monofásico	34
6.1.4 Sistema de sujeción.....	34
6.2 Producción anual de la instalación	35
6.3 Estudio económico	39
6.3.1 Presupuesto	39
6.3.2 Subvenciones	40
6.4 Ahorro económico.....	41
6.5 Rentabilidad.....	44
Capítulo 7. Rentabilidad con factores externos.....	49

7.1	Coche eléctrico.....	49
7.1.1	Modelo de coche eléctrico.....	51
7.1.2	Estudio de consumo del coche eléctrico.....	53
7.1.3	Estudio de consumo de coche eléctrico y placas solares	55
7.2	Aeroterminia.....	66
7.2.1	Modelo del sistema de aeroterminia.....	67
Capítulo 8. Conclusiones y Trabajos Futuros.....		79
Capítulo 9. Bibliografía.....		81
ANEXO Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible.....		84

Índice de figuras

Figura 1. Gráfico de flujo de caja de inversión Caso base	8
Figura 2. Comparativa impactos de los dos escenarios en factura anual coche eléctrico	9
Figura 3. Comparativa impactos de los dos escenarios en factura anual aerotermia	9
Figura 1.1. Evolución del autoconsumo	8
Figura 2.1. Ejemplo de reparto de placas solares en Comunidades Solares [7]	11
Figura 4.1. Instalación fotovoltaica y eólica [9]	15
Figura 4.2. Gráfico de distribución de potencia instalada según sectores	17
Figura 4.3. Ranking mundial de países con mayor potencia solar fotovoltaica instalada.[13]	19
Figura 5.1. Ubicación de vivienda modelo	23
Figura 5.2. Mapa de España según horas solares por provincia [21]	24
Figura 6.1. Parámetros de PVGIST iniciales para optimizar el ángulo de inclinación.[2] .	31
Figura 6.2. Resultados de la optimización del ángulo de inclinación [2].....	31
Figura 6.3. Panel solar de JA Solar	32
Figura 6.4. Inversor monofásico.....	33
Figura 6.5. Contador monofásico Huawei.....	34
Figura 6.6. Sistema de sujeción coplanar.	35
Figura 6.7. Datos para el caso base [2].....	36
Figura 6.8. Gráfica obtenida por PVGIST.....	38
Figura 6.9. Gráfico de flujo de caja (elaboración propia)	46
Figura 6.10. Años de reducción según las subvenciones (elaboración propia).....	48
Figura 7.1. Parque automovilístico de España (elaboración propia).....	50
Figura 7.2. Número de matriculaciones de vehículo eléctrico en España [33]	51
Figura 7.3. Peugeot e-208 [34]	51
Figura 7.4. Tiempo de recarga.....	54
Figura 7.5. Carga del coche eléctrico con escenario de consumo	55
Figura 7.6. Parámetros instalación aumentada	59
Figura 7.7. Gráfica producción mensual instalación aumentada PVGIST	61

Figura 7.8. Comparación factura anual (elaboración propia).....	64
Figura 7.9. Gráfico de flujo de caja con inversión para instalación nueva.....	66
Figura 7.10. Resultados encuesta aerotermia [37].....	67
Figura 7.11. Parámetros para establecer consumo de aerotermia.....	68
Figura 7.12. Consumo mensual de la aerotermia en kWh.....	69
Figura 7.13. Sistema GENIA AIR MAX 12	70
Figura 7.14. Parámetros con aerotermia para PVGIST	72
Figura 7.15. Gráfico de producción de instalación aumentada por aerotermia.....	74
Figura 7.16. Comparativa factura anual aerotermia	76
Figura 7.17. Gráfico flujo de caja inversión aumento de placas solares	78

Índice de tablas

Tabla 2.1. Subvenciones de placas solares con fondos Next Generation [5]	10
Tabla 4.1. Subvenciones para el autoconsumo [5]	18
Tabla 4.2. Objetivo de potencia de autoconsumo 2030 (Hoja de ruta autoconsumo).....	21
Tabla 5.1. Mapa de edificación en España en 2020 (Fuente: INE)	22
Tabla 5.2. Reparto de consumo eléctrico de una vivienda [25]	26
Tabla 5.3. Consumo de vivienda unifamiliar estándar [26]	26
Tabla 5.4. Precio término de potencia [27]	28
Tabla 5.5. Precio término de energía consumida [27].....	28
Tabla 5.6. Reparto de consumo por tramo horario	29
Tabla 5.7. Factura de la vivienda (elaboración propia)	29
Tabla 6.1. Resultados simulación [2]	37
Tabla 6.2. Producción de energía mensual [2]	38
Tabla 6.3. Presupuesto instalación [30].....	40
Tabla 6.4. Subvenciones sector residencial[31]	41
Tabla 6.5. Distribución de la producción de energía de la instalación	42
Tabla 6.6. Ahorro económico anual	42
Tabla 6.7. Distribución diaria de la producción	43
Tabla 6.8. Factura eléctrica con FV	44
Tabla 6.9. Flujo de caja de instalación fotovoltaica (elaboración propia).....	45
Tabla 7.1. Subvenciones en Cataluña por compra de coche eléctrico [35]	53
Tabla 7.2. Subvenciones Cataluña para punto de recarga [35]	53
Tabla 7.3. Gasto anual del coche eléctrico	57
Tabla 7.4. Factura con coche eléctrico	58
Tabla 7.5. Resultados de producción de la instalación aumentada	60
Tabla 7.6. Producción mensual instalación aumentada.....	60
Tabla 7.7. Distribución de producción según discriminación horaria.....	61

Tabla 7.8. Factura con instalación aumentada.....	62
Tabla 7.9. Factura con tarifa solar	63
Tabla 7.10. Aumento de la inversión.....	64
Tabla 7.11. Flujo de caja con inversión para instalación nueva	65
Tabla 7.12. Resultados simulador Saunier Duval.....	68
Tabla 7.13. Reparto de consumo anual de la aerotermia.....	70
Tabla 7.14. Factura anual con aerotermia.....	71
Tabla 7.15. Resultados producción instalación aumentada por aerotermia	73
Tabla 7.16. Producción mensual instalación aumentada.....	74
Tabla 7.17. Distribución de producción según discriminación horaria.....	75
Tabla 7.18. Factura anual con aumento de instalación y aerotermia.....	75
Tabla 7.19. Aumento de la inversión.....	76
Tabla 7.20. Flujo de caja inversión en aumento de placas solares	78

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En una época marcada por la creciente preocupación por el cambio climático, el agotamiento de los recursos y la búsqueda de soluciones energéticas sostenibles, la integración de fuentes renovables en la vida cotidiana se ha convertido en una vía fundamental para reducir la huella de carbono y frenar la escalada de los costes energéticos. Entre estas fuentes, la tecnología solar fotovoltaica (FV) es considerada la principal potencia por su capacidad para transformar los hogares en generadores activos de energía. La instalación de paneles solares en los tejados residenciales se ha revelado como una estrategia prometedora para fomentar el autoconsumo y disminuir la dependencia de la electricidad convencional basada en la red eléctrica.

Prueba de la evolución del autoconsumo es su recorrido en los últimos años, ha ido aumentando cada vez más como se muestra en la Figura 1.1, en la que se muestra la evolución de la potencia instalada en España de autoconsumo fotovoltaico, en el último año se ha producido el mayor aumento y no solo en la potencia instalada total, sino que también en la potencia instalada en el sector doméstico, aumentando un 7% del 2021 al 2022, lo que supone un futuro muy prometedor para este tipo de generación de energía.[1]

Potencia instalada de autoconsumo fotovoltaico 2022 (MW)

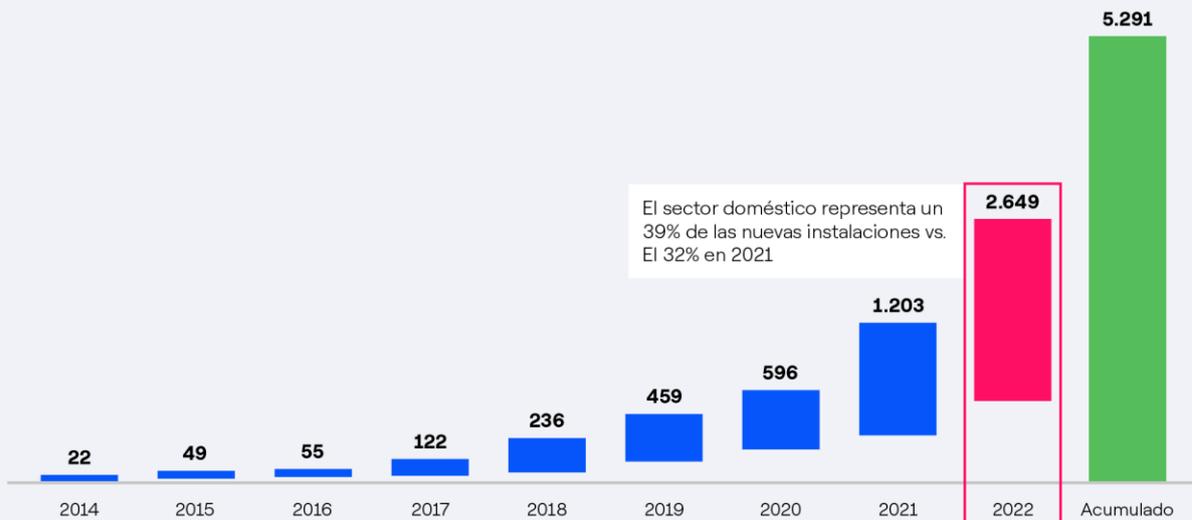


Figura 1.1. Evolución del autoconsumo

Este proyecto estudia la viabilidad, rentabilidad y dinámica de la instalación de paneles solares en entornos residenciales. Se centra principalmente en el análisis de la instalación de paneles solares como medio para reducir el consumo doméstico de electricidad. Además, se analiza el uso doméstico de la energía en el contexto de factores de carga adicionales, concretamente la integración de la recarga de vehículos eléctricos (VE) y los sistemas aerotérmicos, con la vista puesta en la posible necesidad de ampliar la capacidad solar y ayudar a cubrir esos consumos.

Las cuestiones fundamentales que marcan el proyecto abarcan tanto la viabilidad financiera de las instalaciones de paneles solares como la naturaleza dinámica de los patrones de consumo de energía en los hogares. Se pretende descubrir hasta qué punto la instalación de paneles solares puede reportar beneficios económicos a los propietarios de viviendas, fomentando así una mayor adopción de soluciones energéticas descentralizadas. Además, analizamos el impacto de diversos factores, como las variaciones en el uso de la energía, las y las demandas simultáneas de recarga de vehículos eléctricos y sistemas aerotérmicos.

Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Debido a la crisis económica actual, derivada de la crisis del COVID-19 y la crisis geopolítica debido al conflicto en Rusia y Ucrania, que ha afectado especialmente al gas y el petróleo, dos fuentes fundamentales de energía a nivel mundial, creando a su vez una crisis energética, las energías renovables se han convertido en la apuesta a futuro por parte de las compañías eléctricas, pero también en el sector residencial las energías renovables se han convertido en el futuro, apostando los consumidores por el autoconsumo para reducir la factura eléctrica.

En 2022 el autoconsumo de energía solar en España aumentó un 108% con respecto al año anterior, llegando a acumular 5.249 MW de potencia instalada para el autoconsumo, siendo el sector residencial el segundo mayor beneficiario con un 32% de las instalaciones, por detrás de del sector industrial. [3]

Se estima que para 2030 España podría alcanzar los 30GW de autoconsumo solar, estas estimaciones se basan en las condiciones climáticas de España, la gran cantidad de horas de sol y contando con las ayudas provenientes de la Unión Europea. Sin embargo, la Unión Española Fotovoltaica (UNEF), recalca que todavía siguen existiendo muchas barreras para el autoconsumo, entre las que destacan, las barreras administrativas, requisitos de conexión y las grandes inversiones iniciales que tienen que realizar los consumidores. [4]

Actualmente existen subvenciones para la instalación de placas solares recogidas en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia que están financiadas con los fondos europeos NextGeneration, creados para recuperarse tras la crisis del COVID-19 y alcanzar el objetivo de cero emisiones en Europa. En la Tabla 2.1 se observa que las subvenciones llegan hasta 1110 €/kWp para instalaciones de placas solares para particulares, gracias a ellas muchos consumidores se han decidido por instalar placas solares en sus viviendas. [5]

Programa	Beneficiarios	Tipo de instalación	Subvención
Nº4	Particulares	Instalación de placas solares	300-1110 €/kWp
Nº5	Particulares	Instalación de baterías solares	140-490 €/kWp
Nº6	Particulares	Placas térmicas/aerothermia	450-950 €/kWp

Tabla 2.1. Subvenciones de placas solares con fondos Next Generation [5]

Gran parte de la edificación en España es vertical, es decir, se constituye a base de bloques de apartamentos, principalmente en las grandes ciudades, por ello actualmente existen las comunidades solares, las cuales se forman entorno a edificios, principalmente de viviendas, en los cuales se instalan paneles fotovoltaicos en los tejados y la electricidad generada se distribuye a lo largo de los hogares o negocios cercanos. Este modelo se ha convertido en una apuesta a futuro y es una de las principales soluciones para extender el autoconsumo especialmente en las ciudades, ya que no solo pueden consumir la electricidad generada, los propietarios del tejado, sino que también los edificios situados en un radio de 2.000 metros, únicamente conectando su red eléctrica. [6]. En la Figura 2.1 se muestra un ejemplo del reparto de una comunidad solar. Lo que concierne a la factura eléctrica se haría un reparto estático en el que se establecen unos factores fijos de participación de cada consumidor, cada usuario verá reducida en su factura la energía proporcional al coeficiente de participación.

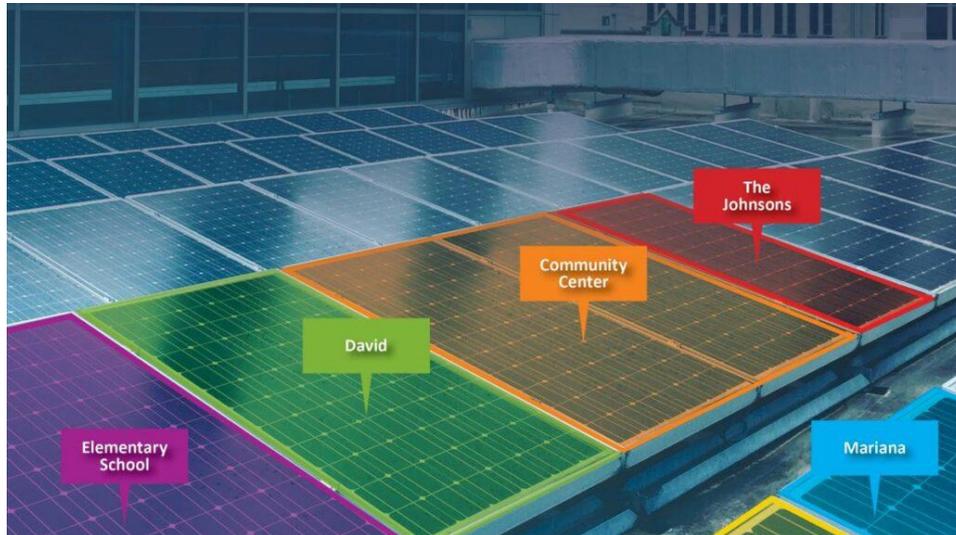


Figura 2.1. Ejemplo de reparto de placas solares en Comunidades Solares [7]

Otra alternativa para las comunidades de vecinos en las que está prohibido la instalación de paneles solares en el tejado del edificio son los llamados huertos solares, o la práctica también se conoce como autoconsumo en remoto, consiste en alquilar paneles solares dispuestos en un terreno alejado de las grandes ciudades y poder consumir toda la energía que dichos paneles generan. Se alquila para 25/30 años, coincidiendo con la vida útil media de los paneles solares y en ese periodo de tiempo el arrendatario se beneficia de la producción del panel solucionando el problema de ubicación de los paneles.[8]

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

3.1 OBJETIVOS

Los principales objetivos del proyecto son los siguientes:

1. Estudiar el autoconsumo a nivel global y en España y los objetivos establecidos por la Unión Europea a alcanzar.
2. Estudiar las diferentes subvenciones existentes relacionadas con el autoconsumo, que provienen de Europa y de España.
3. Partiendo de un caso base, diseñar una instalación fotovoltaica para una vivienda modelo y estudiar el ahorro económico que conlleva en la factura eléctrica.
4. Estudiar la rentabilidad de la instalación teniendo en cuenta los diferentes modelos de autoconsumo y tarifas.
5. Estudiar el efecto de factores externos como el coche eléctrico y la aerotermia a la rentabilidad de la instalación fotovoltaica.

3.2 METODOLOGÍA

La metodología que se va a llevar a cabo para la elaboración del proyecto es la siguiente:

En primer lugar, se estudiarán los diferentes tipos de autoconsumo, junto con la situación actual a nivel global y en España y los objetivos que se aspira alcanzar en cuanto a potencia instalada para el autoconsumo. Se estudiarán también las subvenciones concedidas por la Unión Europea y el gobierno de España para la instalación de placas solares.

Posteriormente se diseñará una instalación fotovoltaica para una vivienda modelo, teniendo en cuenta características como tipo de vivienda, tarifa de luz y consumo de la vivienda.

Una vez diseñada la instalación se calculará el ahorro que conlleva el uso de dicha instalación en la factura eléctrica de la vivienda. Finalmente se estudiará la rentabilidad de la instalación

teniendo en cuenta la inversión inicial, las posibles subvenciones concedidas, los diferentes modelos de autoconsumo y otros factores externos como el uso del coche eléctrico con necesidad de recarga, el uso de la domótica en la vivienda y la aerotermia.

Capítulo 4. SITUACIÓN AUTOCONSUMO

4.1 TIPOS DE AUTOCONSUMO

El autoconsumo es una práctica que se está empleando cada vez más como forma de obtener energía, debido a las ventajas que ofrece, entre ellas el ahorro de dinero en la factura eléctrica y la reducción de emisiones de CO₂. Dentro de las opciones de autoconsumo las principales son:

El autoconsumo fotovoltaico, en el que a través de paneles solares se emplea la luz solar para generar energía. Un sistema de autoconsumo fotovoltaico está formado por, un panel fotovoltaico, un regulador, un acumulador y un inversor.

Y el **autoconsumo mini eólico**, en el que a través de la energía cinética del viento se genera energía. Un sistema de autoconsumo mini eólico está formado por, un aerogenerador, un regulador y un acumulador. [9]

En la Figura 4.1 se muestra un ejemplo de instalación fotovoltaica y eólica para una vivienda, en este ejemplo se observa que la instalación mini eólica puede presentar más inconvenientes y por ello es menos popular que la instalación fotovoltaica, debido a la mayor complejidad de la instalación y el espacio que ocupa, al contrario de la instalación fotovoltaica, ya que al ir instalada en el tejado no requiere de espacio extra.



Figura 4.1. Instalación fotovoltaica y eólica [9]

Ambas opciones de autoconsumo son buenas sin embargo es más común, sobre todo en el ámbito residencial, el autoconsumo fotovoltaico, debido a la viabilidad de cada uno, en el caso del autoconsumo mini eólico, es viable en lugares remotos, granjas, casas aisladas, no se pueden instalar en un bloque de apartamentos en medio de una ciudad, sin embargo, en el caso de los paneles solares se pueden instalar en cualquier tipo de vivienda. Por ello cuando hablamos de autoconsumo se suele asociar al autoconsumo fotovoltaico.

Además de la distinción de tipos de autoconsumo según la fuente de energía renovable, también se pueden distinguir dos tipos según la legislación vigente:

Autoconsumo sin excedentes, en este tipo de autoconsumo, se tiene un sistema anti vertido, que impide verter a la red la energía sobrante. Una de las ventajas de este tipo de autoconsumo es el control total sobre la energía que se genera, sin embargo, se pierde la

oportunidad de obtener una compensación por la energía que no se va a usar. Esta modalidad es más común para grandes empresas.

Autoconsumo con excedentes, en este tipo de autoconsumo se permite verter a la red la energía que no se va a utilizar, convirtiéndose así no solo en consumidor de energía, sino productor. Dentro del autoconsumo con excedentes existen dos alternativas.

- **Acogidas a compensación:** la energía no consumida de forma instantánea por el consumidor se vierte a la red y se compensa posteriormente en la factura eléctrica. Para optar por este modelo se han de cumplir ciertos requisitos como no superar una potencia de 100kW.
- **No acogidas a compensación:** la energía no consumida de forma instantánea por el consumidor se puede vender en el mercado de electricidad, pero para ello es necesario darse de alta en la producción del servicio, con todos los trámites administrativos que ello conlleva. [10]

Con ambos modelos se pueden conseguir grandes ahorros en la factura eléctrica y a su vez ayudar a reducir las emisiones de carbono, ya que las fuentes de energía son siempre renovables.

En el caso específico del autoconsumo en el sector residencial, en función de la situación de cada vivienda, las subvenciones que se puedan obtener y otras variables que se estudiarán a lo largo de este trabajo será más beneficioso un modelo de autoconsumo u otro para obtener mayor rentabilidad de una instalación fotovoltaica.

4.2 SITUACIÓN ACTUAL EN ESPAÑA

El autoconsumo en España en una potencia al auge, como se ha mencionado anteriormente en 2022 se instaló alrededor de 2.650 megavatios (MW) de potencia de autoconsumo, dividida en sectores de la siguiente forma, mostrada en la Figura 4.2, que el sector residencial está en auge en materia de autoconsumo con 39% de la potencia instalada, casi que igual que el sector industrial con un 40%.

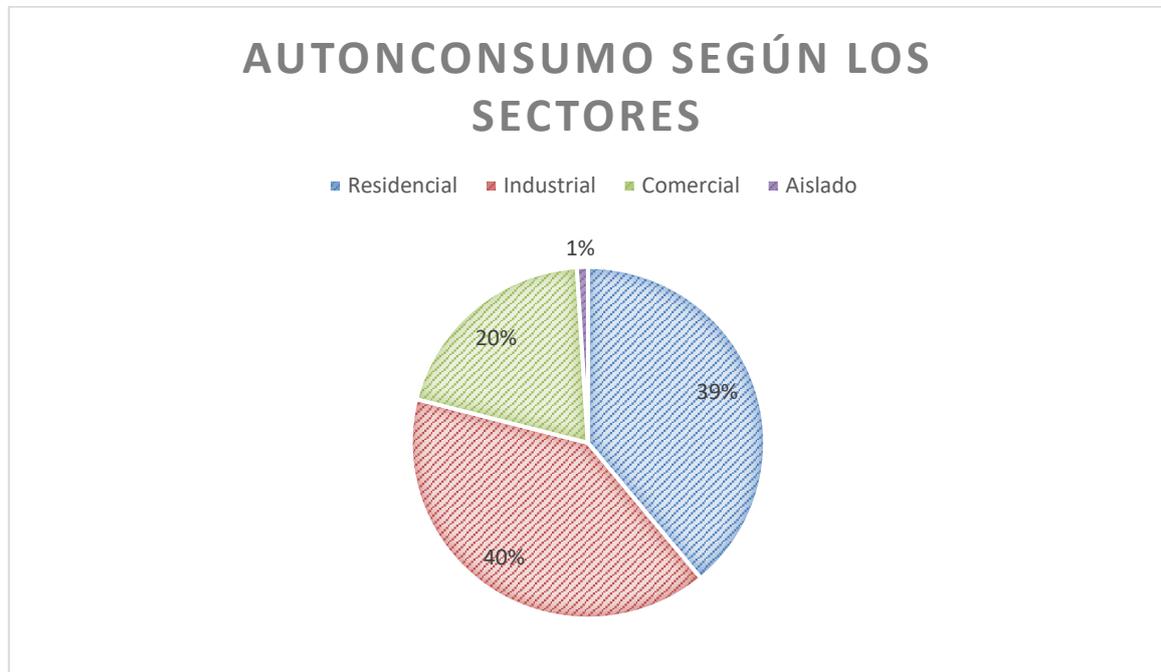


Figura 4.2. Gráfico de distribución de potencia instalada según sectores

La energía generada por esta potencia instalada cubrió en 2022 el 1,8% de la demanda eléctrica en España y seguirá en aumento.

En España la instalación media de autoconsumo en los hogares es de 4,2 kilovatios (kW), con una inversión promedio de 7.800 €, es una inversión inicial alta, sin embargo, estos paneles tienen una vida útil de más de 25 años, por lo es más importante la calidad y seguridad antes que el precio.[11]

Además, en España existen variedad de subvenciones específicas para el autoconsumo provenientes del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, financiado por los fondos europeos Next Generation, estas subvenciones están divididas en seis programas diferentes. Según se muestran en la Tabla 4.1.

Programa	Beneficiarios	Tipo de instalación	Subvención
Nº1	Empresas del sector servicios	Instalación placas solares	Hasta 45%
Nº2	Empresas de otros sectores	Instalación placas solares	Hasta 45%
Nº3	Empresas con instalación	Instalación baterías solares	Hasta 65%
Nº4	Particulares	Instalación placas solares	Hasta 1.110 €/kWp
Nº5	Particulares con instalación	Instalación baterías solares	Hasta 490 €/kWp
Nº6	Particulares	Placas térmicas/aeroterminia	Hasta 490 €/kWp

Tabla 4.1. Subvenciones para el autoconsumo [5]

El papel de España en las energías renovables a nivel mundial es muy bueno ya que se encuentra dentro de los 10 países del mundo con mayor producción potencial de energía solar, con 18,5 GW supera a Vietnam y no está lejos de Japón(21,5 GW) e Italia (22.6 GW).[12]

4.3 SITUACIÓN ACTUAL A NIVEL GLOBAL

A nivel global el autoconsumo también está en auge, aumentando todos los países su potencia instalada. En la Figura 4.3 se muestra el ranking mundial de países con mayor potencia solar fotovoltaica instalada en 2022, se puede observar que España está a las puertas de entrar dentro de los 10 primeros, estando en la posición número 11. Por delante dentro de los países europeos se encuentra Alemania, Italia y Países Bajos.

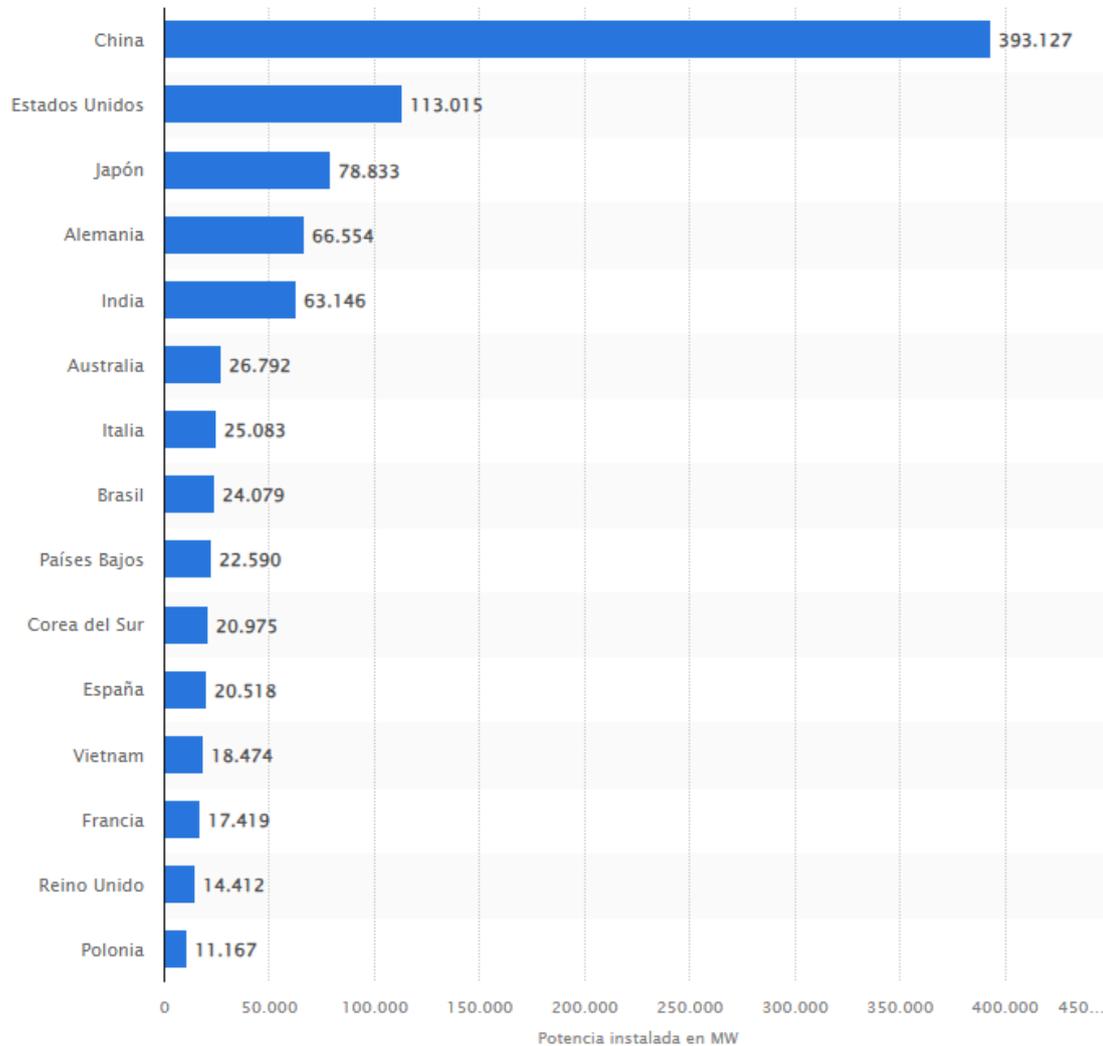


Figura 4.3. Ranking mundial de países con mayor potencia solar fotovoltaica instalada.[13]

Para tener una imagen más completa de la situación en España sobre el autoconsumo se va a analizar la situación en los tres países de la Unión Europea que se encuentran por encima de España en este ranking.

- **Alemania:**

Es uno de los líderes globales de producción de energías renovables, específicamente de energía fotovoltaica.

Algunas de las claves de estas cifras están basadas en la Ley de Energías Renovables aprobada hace 20 años, algunos ejemplos son:

- Su legislación garantiza a los productores una retribución a precio fijo por el vertido de la energía a la red durante un periodo de 20 años.
- Un sistema de subastas para los grandes productores, llegando a subastar en 2022 6 GW de potencia solar fotovoltaica y previendo hasta subastar hasta 22 GW en 2026.[14] [15]
- Italia:

Es uno de los mercados más importantes en energía renovables, ya en 2013 ya suponía el 20% de la producción solar en la Unión Europea. Actualmente ha crecido un 160% en 2022 con respecto al año anterior, llegando a tener 2,48 GW de potencia instalada. De esa potencia instalada el 44% pertenece al sector residencial, esta subida en este sector se debe al ‘superbonus’, una ayuda concedida por el gobierno italiano que daba hasta el 110% de la inversión si la instalación de autoconsumo residencial incluía los módulos de placas solares, baterías y bombas de calor.[16]
- Países Bajos:

Alrededor de 1,58 millones de hogares holandeses tienen una instalación fotovoltaica, y estos sistemas disponen de una capacidad combinada de 5,6 GW. El gobierno holandés ha anunciado recientemente reducir el impuesto sobre el IVA aplicado a las instalaciones fotovoltaicas en el sector residencial de un 21% a un 0%. Una de las claves de sus altos niveles de autoconsumo es la apuesta por un sistema de medición neta, el cual consiste en verter a la red los excedentes de energía pudiendo recuperar esta energía consumiéndose cuando el cliente la necesite.[17]

4.4 OBJETIVOS DE AUTOCONSUMO PARA EL FUTURO

En un estudio realizado por la UNEF (Unión Española Fotovoltaica) junto con Brookfield Renewable, se llegó a la conclusión que España podría alcanzar entre los 20 y 30 GW de potencia en autoconsumo para 2030. Se estimaba un ritmo de instalación de 400 MW anuales de fotovoltaica, esto se debe a alta competitividad de este sector que ha reducir sus costes en un 90% en cuestión de 10 años.[18]

Este estudio supera con creces los objetivos marcados por el gobierno de España, incluidos en el PNIEC y la Agenda 2030, los cuales rondan entre los 9 GW y los 14 GW de autoconsumo fotovoltaico, dividido en sectores según la Tabla 4.2.

2030		
Tipo de consumidor	Escenario objetivo (GW)	Escenario alta penetración (GW)
Comercial	5,8	7,7
Residencial plurifamiliar	1,9	3,8
Residencial unifamiliar	0,1	0,9
Industrial	1,1	1,6
TOTAL	9	14

Tabla 4.2. Objetivo de potencia de autoconsumo 2030 (Hoja de ruta autoconsumo)

Además, en España también se han marcado los objetivos para 2030 de un 74% de electricidad renovables para 2030 y una reducción de emisiones del 55% para 2030 también.[19]

Capítulo 5. MODELO DE VIVIENDA

5.1 TIPO DE VIVIENDA

Para realizar el estudio de la rentabilidad de la instalación fotovoltaica y sus posteriores modificaciones incluyendo el coche eléctrico y aerotermia se empleará una vivienda modelo con las siguientes características:

- Tipo de vivienda: Unifamiliar individual
- Ubicación: Sant Esteve Sesrovires, Barcelona, Cataluña
- Tipo de tarifa: Tarifa PVPC normal

A continuación, se explicará porque se han elegido los diferentes parámetros.

- **Tipo de vivienda**

En 2020 el mapa de edificación de España fue el mostrado en la Tabla 5.1, aunque el número de viviendas unifamiliares es menor, el porcentaje de instalación de placas solares es mucho mayor.

	Total
2020	
Vivienda unifamiliar independiente	2,574.9
Vivienda unifamiliar adosada o pareada	3,379.3
Edificio de 3 a 9 viviendas	3,253.9
Edificio con 10 o más viviendas	8,861.1

Tabla 5.1. Mapa de edificación en España en 2020 (Fuente: INE)

Según un estudio de Statista Research Department, un 1,8% de la población española residente en viviendas unifamiliares disponía de paneles solares. [20]

Por ello se ha decidido emplear una vivienda unifamiliar como vivienda modelo ya que es representativa de la situación actual de la población española que está interesada en instalar placas solares, como instalación de autoconsumo.

- **Ubicación**

Se ha elegido la siguiente ubicación, en Sant Esteve Sesrovires en Barcelona, la ubicación exacta se muestra en la Figura 5.1.



Figura 5.1. Ubicación de vivienda modelo

La ubicación elegida se ha basado en el criterio de número horas solares, buscando una provincia con un número de horas en la media o un incluso un poco por encima, por ello se ha elegido Barcelona con 2.616 horas al año, siendo Almería la provincia con mayor número de horas 3.052 horas y con menor número de horas Vitoria, con 1.640 horas.

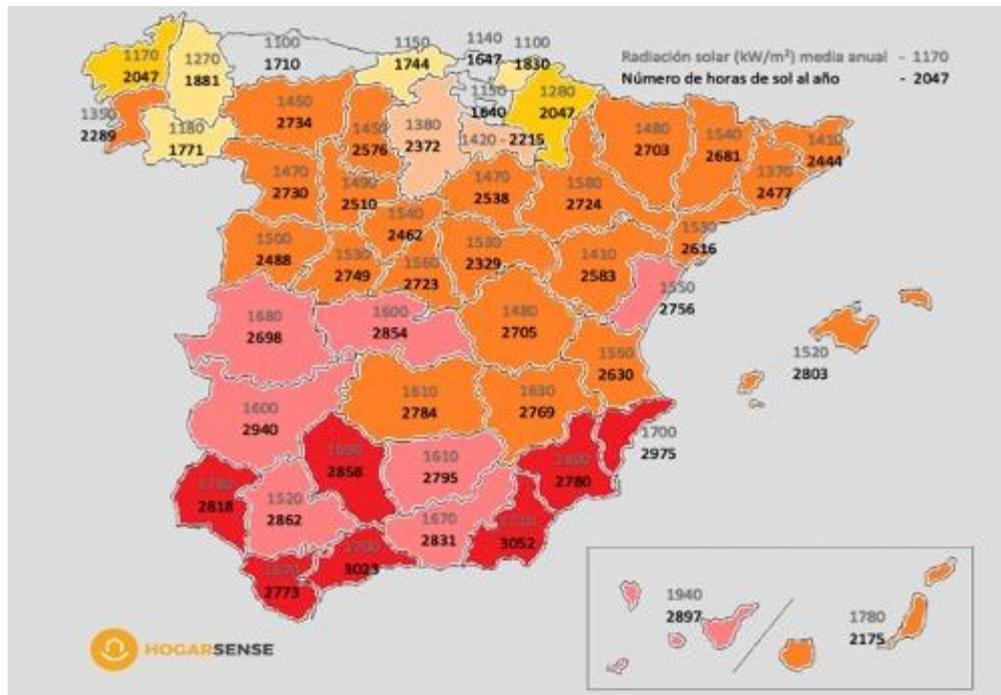


Figura 5.2. Mapa de España según horas solares por provincia [21]

- **Tarifa eléctrica**

Se ha elegido la tarifa PVPC debido a que, para una vivienda unifamiliar previa a la instalación de paneles fotovoltaicos con un consumo medio, que no tiene coche eléctrico ni aerotermia, es la más común. En esta tarifa la energía tiene un precio fijado por hora, haciendo un total de 24 precios diferentes, estos precios los establece el Ministerio de Industria, Energía y Turismo para toda España, basándose en las variaciones del mercado eléctrico según la oferta y la demanda.

Algunas de las ventajas de contratar esta tarifa son las siguientes:

- No tiene permanencia.
- No incluye servicios que puedan encarecer la factura, únicamente se paga la potencia contratada y la electricidad consumida.
- La manera de rentabilizar esta tarifa es hacer uso de la energía durante las horas más baratas del día, coincidiendo con los tramos de discriminación horaria (punta, llano, valle).

Algunas de las desventajas de esta tarifa pueden ser las siguientes:

- No se pueden aplicar ofertas para disminuir el precio de la factura.
- Es sensible a las variaciones del mercado eléctrico.
- Limita la potencia contratada a 10 kW.[22]

Esta tarifa se empleará para construir el caso base, y posteriormente una vez se introduzcan los diferentes factores a considerar en el proyecto se estudiarán los beneficios de cambiarse a otros tipos de tarifas. Estas tarifas han sido creadas por las diferentes compañías eléctricas para beneficiar a los consumidores que dispongan de placas solares en sus viviendas o un coche eléctrico.

Por ejemplo, en el caso de Octopus, ha creado una tarifa especial para las viviendas con placas solares, llamada tarifa solar en la su mayor ventaja con respecto al resto de tarifas es que los excedentes están mejor recompensados. O la tarifa Vehículo eléctrico de Iberdrola, en la que se establecen precios fijos para la potencia y la energía consumida, y en el periodo de valle, el precio es mucho menor comparado con otras tarifas como la PVPC, coincidiendo con el momento de carga de coche eléctrico y así consumir menos.[23] [24]. Mas adelante se analizarán ambas tarifas según los diferentes escenarios viendo si es rentable cambiar de tarifa.

5.2 CONSUMO ELÉCTRICO

En este apartado estudiaremos el consumo eléctrico de la vivienda para posteriormente construir de forma más precisa nuestro caso base y estimar el número de placas solares necesarias según este consumo.

El consumo eléctrico se calculará teniendo en cuenta los valores medios de consumo de los electrodomésticos de una vivienda según el IDAE. Con respecto a la calefacción, se tendrá en cuenta para el escenario base, calefacción de gas natural y posteriormente se estudiará el cambio ha calefacción eléctrica.

El reparto del consumo de una vivienda se muestra en la Tabla 5.2:

Equipamiento	Consumo (%)
Electrodomésticos	55,2%
Iluminación	11,7%
Cocina	9,3%
Agua caliente	7,5%
Calefacción	7,4%
Standby	6,6%
Refrigeración	2,3%

Tabla 5.2. Reparto de consumo eléctrico de una vivienda [25]

Por lo que finalmente si tenemos en cuenta una vivienda unifamiliar estándar el consumo quedaría según se muestra en la Tabla 5.3:

Electrodomésticos e iluminación	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Consumo (kWh/día)
Frigorífico	1	250	24	6
Lavavajillas	1	1500	1	1.5
Horno	1	1000	1	1
Lavadora	1	1500	1	1.5
Placa de inducción	1	900	1	0.9
Microondas	1	100	0.3	0.03
Multimedia	3	60	2	0.36
Televisión	2	150	4	1.2
Bombillas LED	24	10	1.5	0.36
TOTAL				12.85

Tabla 5.3. Consumo de vivienda unifamiliar estándar [26]

Para el cálculo del consumo de la vivienda mostrado en la Tabla 5.3 se ha tenido en cuenta que todos los electrodomésticos e iluminación estarían funcionando de forma simultánea, ya que esta hipótesis es imposible se aplicará un factor de simultaneidad de 0,7, y además un margen de seguridad del 20% por posibles errores al estimar las horas de uso.

$$\text{Consumo vivienda unifamiliar} = 12,85 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{día}} \right) \cdot 0,7 \cdot 1,2 = 10,79 \text{ kWh/día}$$

Quedando por lo tanto un consumo anual de:

$$\text{Consumo anual} = 10,79 \cdot 365 = 3940 \text{ kWh/año}$$

Potencia contratada

= Potencia total de electrodomésticos e iluminación

· factor de simultaneidad = 5,47 · 0,7 = 3,8kW ≈ 4kW

Teniendo el consumo de la vivienda se procederá a realizar el estudio de la instalación de autoconsumo, en este caso instalación fotovoltaica, con el fin de conseguir el mayor ahorro posible.

5.3 FACTURA ELÉCTRICA

Para calcular la factura eléctrica de la vivienda se tendrá en cuenta que la tarifa contratada es la 2.0TD a precio PVPC.

Esta tarifa consta de dos términos de potencia contratada y tres de energía consumida. En el término fijo de potencia vamos a diferenciar dos periodos y en el término variable de energía consumida, tres periodos:

Término de potencia contratada:

- Periodo de punta: 8:00h-0:00h (lunes a viernes laborables, invierno y verano)
- Periodo de valle: 0:00h-8:00h (lunes a viernes laborables, invierno y verano), y los fines de semana y festivos durante todo el año, todo el día.

Término de energía consumida:

- Periodo punta: 10:00h-14:00h y 18:00h-22:00h (lunes a viernes laborables, invierno y verano).
- Periodo valle: 0:00h-8:00h (lunes a viernes laborables, invierno y verano).
- Periodo llano: 8:00h-10:00h, 14:00h-18:00h y 22:00h-0:00h (lunes a viernes laborables, invierno y verano).

Los precios de la energía y potencia según los diferentes periodos horarios son los mostrados en la Tabla 5.4 y la Tabla 5.5.

Precio término de potencia	
Periodo de punta (€/kWh)	Periodo de valle (€/kWh)
0,0938	0,0126

Tabla 5.4. Precio término de potencia [27]

Precio término de energía consumida		
Periodo de punta (€/kWh)	Periodo de valle (€/kWh)	Periodo llano (€/kWh)
0,2404	0,0917	0,1419

Tabla 5.5. Precio término de energía consumida [27]

- Consumo mensual: 324 kWh
- Potencia contratada: 4 kW

Para establecer el consumo de energía en cada tramo horario se ha tenido en cuenta el siguiente reparto:

Reparto de consumo por tramo horario			
	Punta	Llano	Valle
Porcentaje	70%	28%	2%
Total (kWh)	227	91	6

Tabla 5.6. Reparto de consumo por tramo horario

Por lo tanto, la factura eléctrica de la vivienda será:

POTENCIA CONTRATADA (término fijo)	kW	€/kW/día	€/mes
P1 (punta)	4	0.0938	11.26 €
P2 (valle)	4	0.0126	1.51 €
TOTAL Término fijo			12.77 €
ENERGÍA CONSUMIDA (término variable)	kWh	€/kWh	€/mes
P1 (punta)	227	0.2404	54.57 €
P2 (llano)	91	0.1419	12.91 €
P3 (valle)	6	0.0917	0.55 €
TOTAL Término variable			68.03 €
Subtotal (término fijo y variable)			80.80 €
Impuesto sobre la electricidad (5,113%)			4.13 €
Alquiler contador			0.80 €
Subtotal			85.73 €
IVA (21%)			18.00 €
TOTAL FACTURA			103.74 €

Tabla 5.7. Factura de la vivienda (elaboración propia)

Capítulo 6. CASO BASE

A continuación, se elaborará el caso base en el que se estudiará el ahorro económico de la factura de la luz gracias a la instalación de placas fotovoltaicas sin añadir factores extra como el coche eléctrico o la aerotermia, que se estudiarán posteriormente.

Para realizar el estudio se deberán tener en cuenta los siguientes parámetros previos al diseño de la instalación.

- Orientación de los paneles solares
 - Ángulo de azimut (α)

Utilizaremos un ángulo de 0° para conseguir la mayor radiación solar posible.

- Ángulo de inclinación (β)

Para establecer el ángulo óptimo de inclinación se va a emplear el programa PVGIST, el cual también se empleará posteriormente para el cálculo de la energía generada por la instalación.

Debido a que todavía no se ha calculado la potencia pico de la instalación ni el número de paneles necesarios, se realizará la optimización basándose en los parámetros estándar de la herramienta, introduciendo únicamente la ubicación de la vivienda.

A continuación, en la Figura 6.1 se muestran los datos introducidos en el programa:

CONECTADO A RED

☰
RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FV CONECTADO A RED
?

FV CON SEGUIMIENTO

FV AUTÓNOMO

DATOS MENSUALES

DATOS DIARIOS

DATOS HORARIOS

TMY

Base de datos de radiación solar* PVGIS-SARAH2

Tecnología FV* Silicio cristalino

Potencia FV pico instalada [kWp]* 1

Pérdidas sistema [%]* 14

Opciones de montaje fijo

Posición de montaje* Sobre el tejado / integrado en el edificio

Inclinación [°]* 35

Azimut [°]* ↓

Precio electricidad FV

Coste sistema FV [su divisa]

Interés [%/año]

Vida útil [años]

Optimizar inclinación

Optimizar inclinación y azimut

👁
Visualizar resultados

↓
csv

↓
json

Figura 6.1. Parámetros de PVGIST iniciales para optimizar el ángulo de inclinación.[2]

Y los resultados obtenidos son los siguientes:

Datos proporcionados:	
Localización [Lat/Lon]:	41.502, 1.868
Horizonte:	Calculado
Base de datos:	PVGIS-SARAH2
Tecnología FV:	Silicio cristalino
FV instalada [kWp]:	1
Pérdidas sistema [%]:	14
Resultados de la simulación:	
Ángulo de inclinación [°]:	38 (opt)
Ángulo de azimut [°]:	0
Producción anual FV [kWh]:	1510.36
Irradiación anual [kWh/m ²]:	2015.22
Variación interanual [kWh]:	43.59
Cambios en la producción debido a:	
Ángulo de incidencia [%]:	-2.56
Efectos espectrales [%]:	0.9
Temperatura y baja irradiancia [%]:	-11.36
Pérdidas totales [%]:	-25.05

Figura 6.2. Resultados de la optimización del ángulo de inclinación [2]

En la Figura 6.2 se puede observar que el ángulo óptimo de inclinación es 38° , este será el empleado para calcular posteriormente la producción de la instalación.

- Hora pico solar:

Número de horas en las que existe una irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 , por lo que 1HSP es la energía recibida por una radiación de 1000 W/m^2 durante una hora. En el caso de la provincia de Barcelona las HSP son 5,4 horas de sol pico, que posteriormente se empleará para determinar el número necesario de placas solares.[28]

6.1 ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

6.1.1 PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

El panel solar fotovoltaico elegido será el modelo 410W MBB Half-Cell Module JAM72S10-410/MR del fabricante JA Solar, el cual tiene las siguientes características:

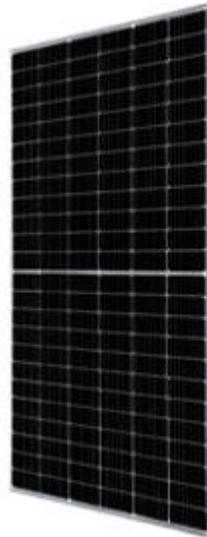


Figura 6.3. Panel solar de JA Solar

- Dimensiones: 201,5 x 99,6 x 4,0 cm
- Potencia nominal: 410 W

- Tensión nominal: 41,88 V
- Intensidad nominal: 9,79 A
- Eficiencia: 20,4%
- Precio: 160 €

6.1.2 INVERSOR MONOFÁSICO

El inversor monofásico empleado para la instalación es el modelo Huawei SUN2000-2KTL-L1, y las características son las siguientes:



Figura 6.4. Inversor monofásico

- Eficiencia: 98,2%
- Potencia nominal: 3000 Wp
- Tensión nominal: 600 V
- Precio: 550 €

6.1.3 CONTADOR MONOFÁSICO

Se empleará un contador monofásico de modelo Huawei DDSU666-H Monofásico, sus características son las siguientes:



Figura 6.5. Contador monofásico Huawei

- Corriente: 0-100 A
- Tensión fásica: 176 VCA-288 VCA
- Consumo de energía: $\leq 0,8$ W
- Precio: 110 €

6.1.4 SISTEMA DE SUJECIÓN

Se empleará un sistema de sujeción coplanar específico para tejas. Se empleará el del fabricante MRac, el modelo MRac- Sistema de sujeción coplanar CT-Teja.



Figura 6.6. Sistema de sujeción coplanar.

Precio: 200 €

6.2 PRODUCCIÓN ANUAL DE LA INSTALACIÓN

Una vez establecidos los elementos de la instalación fotovoltaica se va a proceder a calcular la producción anual, para ello será necesario calcular previamente el número de paneles necesarios.

Previamente se calculará la energía que produce cada uno de los paneles al día:

$$E_{panel} = Potencia\ panel \cdot HSP \cdot \eta = 410 \cdot 5,44 \cdot 0,9 = 2007,4\ Wh/dia$$

Por lo tanto, el número de paneles necesarios es:

$$N^{\circ}\ de\ paneles\ solares = \frac{Consumo\ diario}{Energía\ del\ panel} = \frac{10790}{2007} \approx 5\ paneles$$

Y la potencia pico de la instalación es:

$$\begin{aligned} Potencia\ pico\ FV\ instalada &= n^{\circ}\ de\ paneles \cdot potencia\ de\ cada\ panel = 5 \cdot 410 \\ &= 2.050\ Wp\ totales \end{aligned}$$

Para calcular las pérdidas de la instalación se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Eficiencia del inversor: El inversor elegido tiene una eficiencia de 98,2%, pero debido a que no siempre estará en condiciones óptimas se empleará una eficiencia de 96,7%.
- Pérdidas en los cables: estas pérdidas no son muy notables, pero se estimará unas pérdidas del 3%.
- Pérdidas por polvo y suciedad en los paneles: se estimará unas pérdidas del 3%.
- Temperatura: los paneles están diseñados para operar a 25 °C, y temperaturas superiores producen pérdidas, por lo que es la mayor fuente de pérdidas de toda la instalación, se estima que son alrededor del 4%. [29]

Por lo tanto, las pérdidas totales de la instalación serán:

$$\text{Pérdidas de la instalación} = 3,3\% + 3\% + 3\% + 4\% = 13,3\%$$

Una vez obtenidos todos los parámetros necesarios sobre la instalación fotovoltaica se introducirán en PVGIS para calcular la producción anual según se muestra en la Figura 6.7.

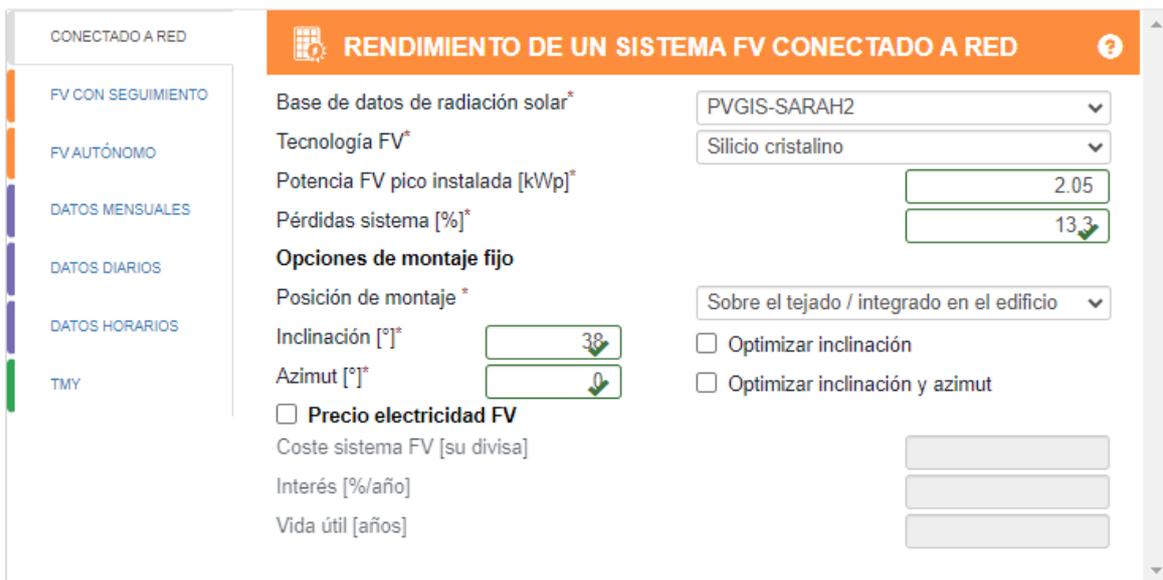


Figura 6.7. Datos para el caso base [2]

Introduciendo esos datos, los resultados de producción anual obtenidos son los mostrados en la Tabla 6.1:

Resultados simulación	
Ángulo de inclinación (°)	38
Ángulo de azimut (°)	0
Producción anual FV (kWh)	3121,45
Irradiación anual (kWh/m ²)	2015,22
Variación interanual (kWh)	90,1
Cambios en la producción debido a:	
Ángulo de incidencia (%)	-2,56
Efectos espectrales (%)	0,9
Temperatura y baja irradiancia (%)	-11,36
Pérdidas totales (%)	24,44

Tabla 6.1. Resultados simulación [2]

La producción de energía mensual según la simulación es la mostrada en la Tabla 6.2.

Producción de energía mensual (kWh)	
Enero	221,36
Febrero	228,92
Marzo	278
Abril	274,65
Mayo	297,41

Junio	296,63
Julio	311,43
Agosto	296,17
Septiembre	261,27
Octubre	237,17
Noviembre	206,1
Diciembre	212,34

Tabla 6.2. Producción de energía mensual [2]

Producción de energía mensual del sistema FV fijo

(C) PVGIS, 2023

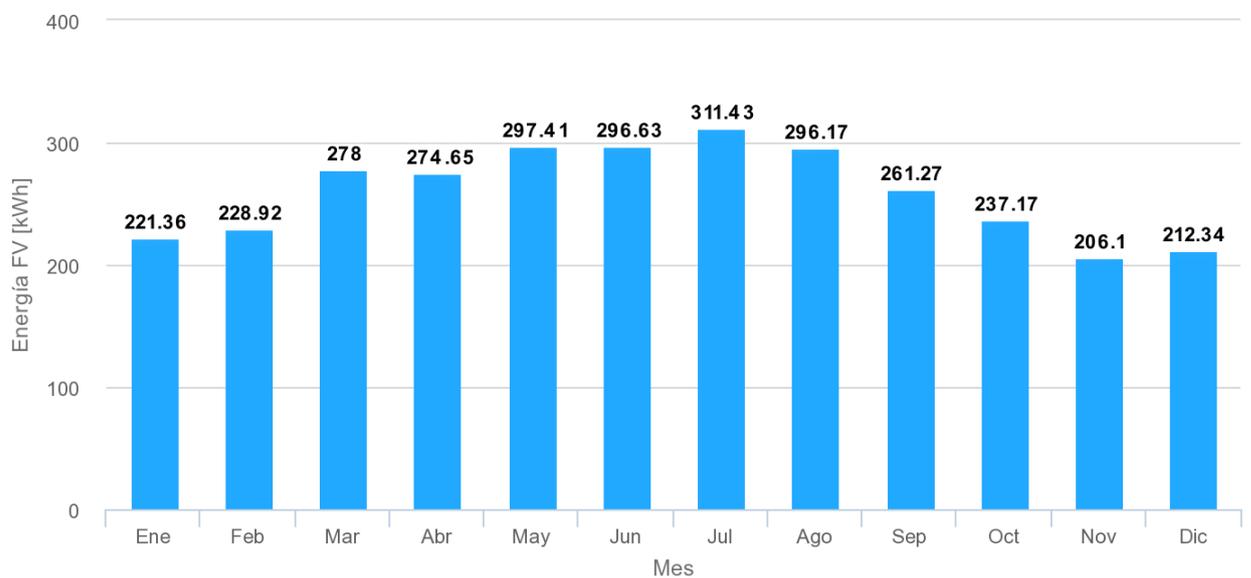


Figura 6.8. Gráfica obtenida por PVGIS

En la gráfica obtenida por el PVGIS mostrada en la Figura 6.8 se observa con claridad que la producción de energía aumenta durante los meses de verano en los que más horas solares

hay, llegando a ser la diferencia de producción con respecto a los meses de invierno de hasta 100 kWh.

6.3 ESTUDIO ECONÓMICO

Una vez calculada la producción de la instalación se va a proceder a realizar un estudio económico para calcular el ahorro que conlleva la instalación de autoconsumo en la factura eléctrica de la vivienda y posteriormente analizar el dicho ahorro introduciendo los factores externos como el coche eléctrico o la aerotermia. El estudio se realizará a 25 años ya que es la garantía de los módulos fotovoltaicos.

6.3.1 PRESUPUESTO

En primer lugar, se calculará la inversión inicial a realizar, calculado los costes totales de la instalación fotovoltaica, para ello se tendrá en cuenta todos los elementos de la instalación, obteniendo una inversión inicial total mostrada en la Tabla 6.3:

Componente	Coste unitario	Unidades	Total
Placas	160 €	5	800 €
Inversor	550 €	1	550 €
Contador	110 €	1	110 €
Estructura	200 €	1	200 €
Cuadro de protecciones	350 €	1	350 €
Pantalla de monitorización	120 €	1	120 €
Instalación	1.200	1	1.200 €
Legalización	350 €	1	350 €

TOTAL	3.680 €
--------------	----------------

Tabla 6.3. Presupuesto instalación [30]

6.3.2 SUBVENCIONES

Debido al auge del autoconsumo, específicamente el autoconsumo solar en el sector residencial, existen diversas subvenciones para seguir fomentando esta forma de consumo limpia y beneficiosa para el medio ambiente y a su vez para conseguir alcanzar los objetivos de autoconsumo de España para el año 2030.

Las subvenciones existentes para placas solares en la comunidad autónoma de Cataluña son las siguientes [31]:

- Subvenciones autonómicas de la Generalitat de Cataluña
Convocatorias puntuales de la comunidad autónoma para fomentar el autoconsumo, estas ayudas están gestionadas por el Instituto Catalán de Energía (ICAEN).
- Subvenciones de los fondos europeos Next Generation
Estas subvenciones son estatales, es decir, el estado proporciona a cada comunidad una cantidad para invertir en subvenciones, estas ayudas están también gestionadas por el ICAEN, en este caso se destinaron 112 millones de euros a dividir en seis programas.
- Las bonificaciones fiscales, desgravaciones e impuestos.
 - Deducciones del IRPF
 - Bonificación fiscal del IBI
 - Bonificación fiscal del ICIO

En cuanto a las subvenciones se tendrá en cuenta únicamente las subvenciones de los fondos Next Generation, ya que actualmente no hay convocatorias para solicitar las subvenciones de la comunidad autónoma de Cataluña.

Dentro de los seis programas de subvenciones provenientes de los fondos Next Generation, el correspondiente al sector residencial es el siguiente:

Subvenciones fondos Next Generation	
Instalación	600 € por kWp
Baterías solares	490 € por kWh

Tabla 6.4. Subvenciones sector residencial[31]

Por lo que para la instalación de la vivienda modelo, de 2 kWp, se recibiría de subvención 1.200 €.

En cuanto a las reducciones fiscales se tendrá en cuenta:

- Reducción del IRPF: Hasta el 20% de deducción del IRPF
- Bonificaciones del IBI e ICIO: en este caso no se aplican ya que el ayuntamiento del municipio correspondiente no da esas bonificaciones, sin embargo, podría llegar a alcanzar, bonificación hasta 50% del IBI, y hasta 95% del ICIO.

6.4 AHORRO ECONÓMICO

En este apartado se va a calcular el ahorro que supone la instalación fotovoltaica en el gasto de electricidad de la vivienda anual.

En primer lugar, se va a diferenciar la energía producida por la instalación fotovoltaica según los diferentes periodos de discriminación horaria, siendo estos los mencionadas anteriormente:

- Periodo punta: 10:00h-14:00h y 18:00h-22:00h (lunes a viernes laborables, invierno y verano).
- Periodo valle: 0:00h-8:00h (lunes a viernes laborables, invierno y verano).
- Periodo llano: 8:00h-10:00h, 14:00h-18:00h y 22:00h-0:00h (lunes a viernes laborables, invierno y verano).

En la Tabla 6.5 se muestra la estimación de producción anual de la instalación según los diferentes periodos:

Anual	Porcentaje	Total (kWh)
Punta	37%	1.155
Llano	60%	1.873
Valle	3%	94

Tabla 6.5. Distribución de la producción de energía de la instalación

Por lo tanto, el ahorro económico anual sería el siguiente:

Ahorro	Producción (kWh)	Precio (€/kWh)	Total
Punta	1.155	0,2404	278 €
Llano	1.873	0,1419	266 €
Valle	94	0,0917	9 €
TOTAL			553 €

Tabla 6.6. Ahorro económico anual

Teniendo en cuenta el gasto anual previo a la instalación de las placas solares, el ahorro supondría un 45% del gasto anual de la factura como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Ahorro anual (\%)} = \frac{\text{Ahorro con FV}}{\text{Gasto anual sin FV}} = \frac{553}{1236} \cdot 100 = 45\%$$

El ahorro sería mayor si se considerase el adicional de los excedentes de producción porque te permite consumir en las horas no solares.

A continuación, se calcula la factura eléctrica de la siguiente forma:

Se va a suponer que la producción diaria de la instalación, teniendo en cuenta su generación anual, es una media de 8,5 kWh, distribuida en los periodos de discriminación horario según los porcentajes establecidos anteriormente, la producción diaria quedaría según se muestra en la

Tabla 6.7.

Diario	Porcentaje	Total (kWh)
Punta	37%	3,1
Llano	60%	5,1
Valle	3%	0,3

Tabla 6.7. Distribución diaria de la producción

Por lo que la factura eléctrica quedaría de la siguiente forma:

POTENCIA CONTRATADA (término fijo)	kW	€/kW/día	€/mes
P1 (punta)	4	0.0938	11.26 €
P2 (valle)	4	0.0126	1.51 €
TOTAL Término fijo			12.77 €
ENERGÍA CONSUMIDA (término variable)	kWh	€/kWh	€/mes
P1 (punta)	134	0.2404	32.21 €
P2 (llano)	0	0.1419	- €
P3 (valle)	0	0.0917	- €
Excedentes	62	0.05	3.10 €
TOTAL Término variable			29.11 €
Subtotal (término fijo y variable)			41.88 €
Impuesto sobre la electricidad (5,113%)			2.14 €
Alquiler contador			0.80 €
Subtotal			44.82 €
IVA (21%)			9.41 €

TOTAL FACTURA	54.24 €
----------------------	----------------

Tabla 6.8. Factura eléctrica con FV

Lo que supone un ahorro del **48%** en la factura eléctrica mensual.

6.5 RENTABILIDAD

Para calcular la rentabilidad de la instalación de autoconsumo se van a tener en cuenta tres indicadores diferentes:

- Años de retorno de la inversión
- VAN
- TIR

Para calcular dichos indicadores financieros se va a hacer un estudio de flujo de caja a 25 años, ya que coincide con la garantía de la instalación. Para el flujo de caja se va a suponer las siguientes hipótesis:

- Se va a suponer que la inversión inicial se realiza al completo en el primer año y el propietario de la vivienda no necesita pedir un préstamo.
- Se va a considerar un IPC de 2,3% para la actualización del gasto de electricidad.
- Debido a que el rendimiento de las placas solares disminuye con los años debido al deterioro de los paneles, se va a considerar una disminución del 0,5% cada año.

Teniendo en cuenta estas hipótesis el flujo de caja quedaría según se muestra en la Tabla 6.9.

Año	Producción anual (kWh)	Precio anual (€/kWh)	Ahorro anual	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0				- 3,680.00 €	- 3,680.00 €
1	3,122.00 €	0.16 €	499.52 €	499.52 €	- 3,180.48 €
2	3,106.39 €	0.16 €	508.45 €	508.45 €	- 2,672.03 €
3	3,090.86 €	0.17 €	517.55 €	517.55 €	- 2,154.48 €

4	3,075.40 €	0.17 €	526.80 €	526.80 €	- 1,627.67 €
5	3,060.03 €	0.18 €	536.23 €	536.23 €	- 1,091.45 €
6	3,044.73 €	0.18 €	545.82 €	545.82 €	- 545.63 €
7	3,029.50 €	0.18 €	555.58 €	555.58 €	9.95 €
8	3,014.36 €	0.19 €	565.51 €	565.51 €	575.46 €
9	2,999.28 €	0.19 €	575.63 €	575.63 €	1,151.09 €
10	2,984.29 €	0.20 €	585.92 €	585.92 €	1,737.01 €
11	2,969.37 €	0.20 €	596.40 €	596.40 €	2,333.42 €
12	2,954.52 €	0.21 €	607.07 €	607.07 €	2,940.49 €
13	2,939.75 €	0.21 €	617.93 €	617.93 €	3,558.41 €
14	2,925.05 €	0.22 €	628.98 €	628.98 €	4,187.39 €
15	2,910.42 €	0.22 €	640.23 €	640.23 €	4,827.62 €
16	2,895.87 €	0.23 €	651.68 €	651.68 €	5,479.30 €
17	2,881.39 €	0.23 €	663.33 €	663.33 €	6,142.63 €
18	2,866.98 €	0.24 €	675.20 €	675.20 €	6,817.83 €
19	2,852.65 €	0.24 €	687.27 €	687.27 €	7,505.11 €
20	2,838.39 €	0.25 €	699.57 €	699.57 €	8,204.67 €
21	2,824.19 €	0.25 €	712.08 €	712.08 €	8,916.75 €
22	2,810.07 €	0.26 €	724.81 €	724.81 €	9,641.56 €
23	2,796.02 €	0.26 €	737.78 €	737.78 €	10,379.34 €
24	2,782.04 €	0.27 €	750.97 €	750.97 €	11,130.31 €
25	2,768.13 €	0.28 €	764.40 €	764.40 €	11,894.71 €

Tabla 6.9. Flujo de caja de instalación fotovoltaica (elaboración propia)

En la Figura 6.9 se representa el flujo calculado anteriormente:

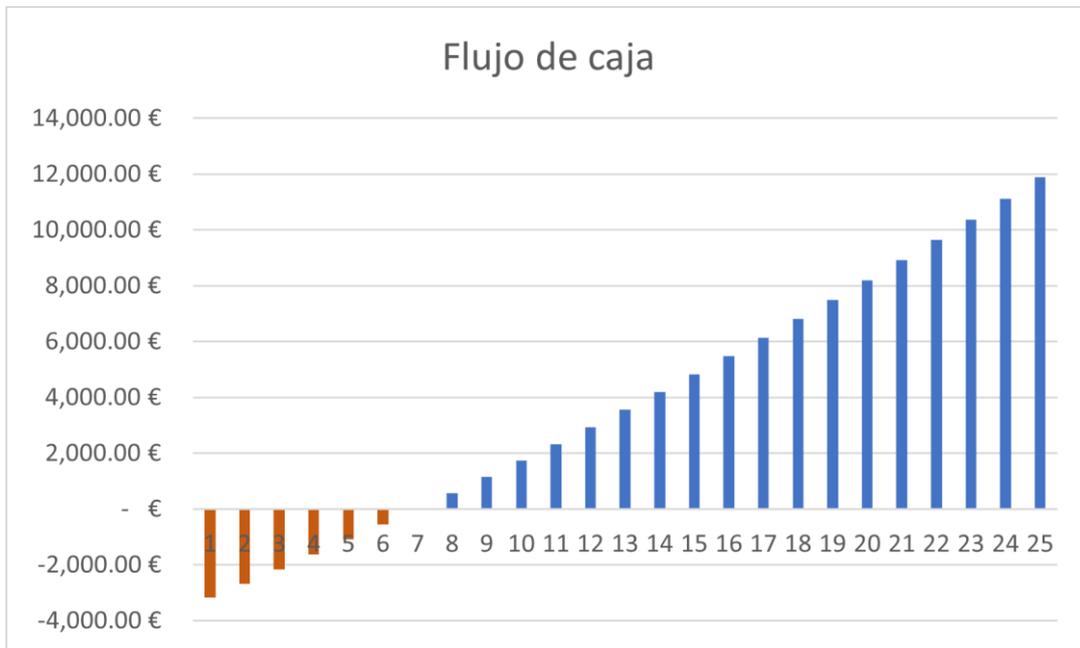


Figura 6.9. Gráfico de flujo de caja (elaboración propia)

A continuación, se va a proceder a calcular los índices financieros mencionadas anteriormente:

- Periodo de retorno de la inversión:

Es una estimación sobre el tiempo que llevará recuperar la inversión inicial, si este periodo es mayor que el periodo de explotación del producto, la inversión no es rentable. En el caso de este proyecto, según se muestra en la Figura 6.9, se tardan 6 años en recuperar la inversión, siendo este periodo menor que los 25 años de vida útil de las placas indica que la inversión sí es rentable.

- VAN:

El VAN es un criterio de inversión empleado para valorar la viabilidad y rentabilidad de un proyecto o inversión, se determina mediante la actualización de los flujos de gastos e ingresos futuros del proyecto. Si el valor resultante es positivo indica que el proyecto es viable.

Se calcula mediante la ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

Donde:

I_0 : Inversión inicial

t : años

F_t : flujo de caja cada año

k : tipo de descuento o tipo de interés. (Se va a suponer un tipo de interés del 3,5%)

El VAN quedaría **41.582,98 €**, como es positivo indica que la inversión es rentable.

- TIR:

Es el porcentaje de beneficio o pérdida que conlleva la inversión, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t}$$

Por lo tanto, el TIR para este proyecto es de un **13%**, ya que este valor es mayor a la tasa de descuento empleada para calcular el VAN (3,5%), significa que el proyecto es rentable.

Este ahorro se ha calculado sin tener en cuenta las subvenciones, si se tuviesen en cuenta todas ellas, los años de retorno de la inversión se verían reducidos drásticamente, como se muestra en la Figura 6.10 se podrían llegar a reducir hasta 1,5 años, sin embargo, en este

caso las bonificaciones del IBI e ICIO no se tendrán en cuenta por lo que el periodo de retorno sería 2 años, siendo un periodo de tiempo más que asequible y rentable.

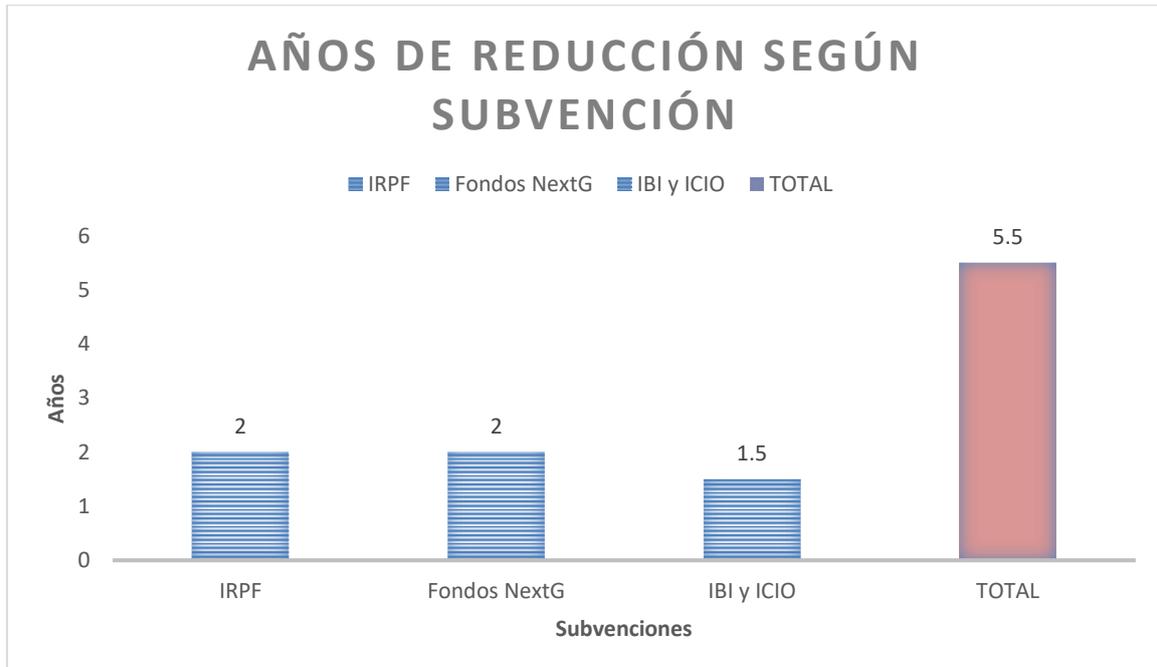


Figura 6.10. Años de reducción según las subvenciones (elaboración propia)

Capítulo 7. RENTABILIDAD CON FACTORES

EXTERNOS

Una vez diseñada la instalación fotovoltaica para la vivienda y tras haber calculado su rentabilidad y el ahorro que conllevaría en la factura anual de la vivienda, llegando a la conclusión que la inversión para una instalación de placas solares para el autoconsumo es rentable, se va a proceder a dar el siguiente paso.

Se añadirán dos factores externos muy comunes a día de hoy en las viviendas españolas y que seguirán creciendo, el coche eléctrico y la aerotermia, y se analizará si se sigue manteniendo la rentabilidad de la instalación previamente diseñada con añadiendo nuevos factores a la vivienda o si es necesario ampliar dicha instalación, intentando simular una situación a la que se puede afrontar cualquier persona que quiera ahorrar en electricidad y gasolina.

7.1 COCHE ELÉCTRICO

En 2022 es España la cuota de turismos electrificados se situó en un 9,6%, aunque solo el 3,8% correspondía a coches eléctricos puros, y el 5,9% restante corresponde a híbridos enchufables, quedando el parque automovilístico de España según se muestra en la Figura 7.1 .[32]

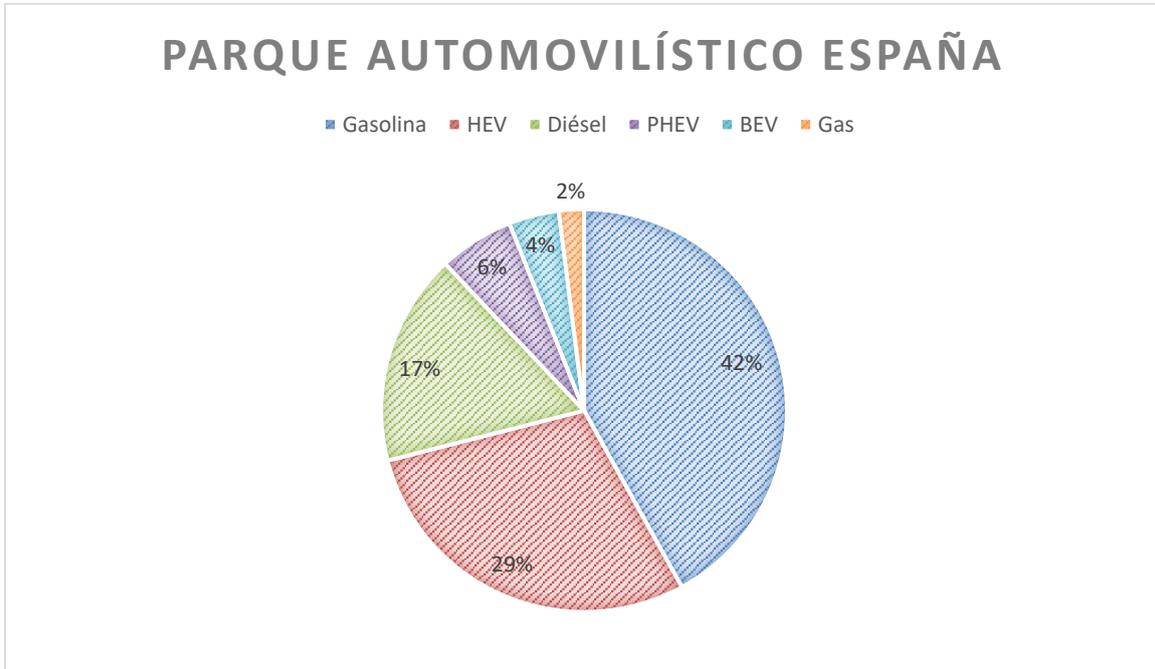


Figura 7.1. Parque automovilístico de España (elaboración propia)

El objetivo principal de España a alcanzar marcado por el PNIEC es que para 2030, el 16% de los automóviles sean eléctricos, para ello se necesita un gran empuje en los 7 años restantes ya que se necesita aumentar el valor actual en un 12%.

En la Figura 7.2 se muestra como el número de matriculaciones durante los últimos 4 años ha ido aumentando considerablemente, sin embargo, debe seguir aumentando cada vez más para poder alcanzar el objetivo marcado para el 2030.

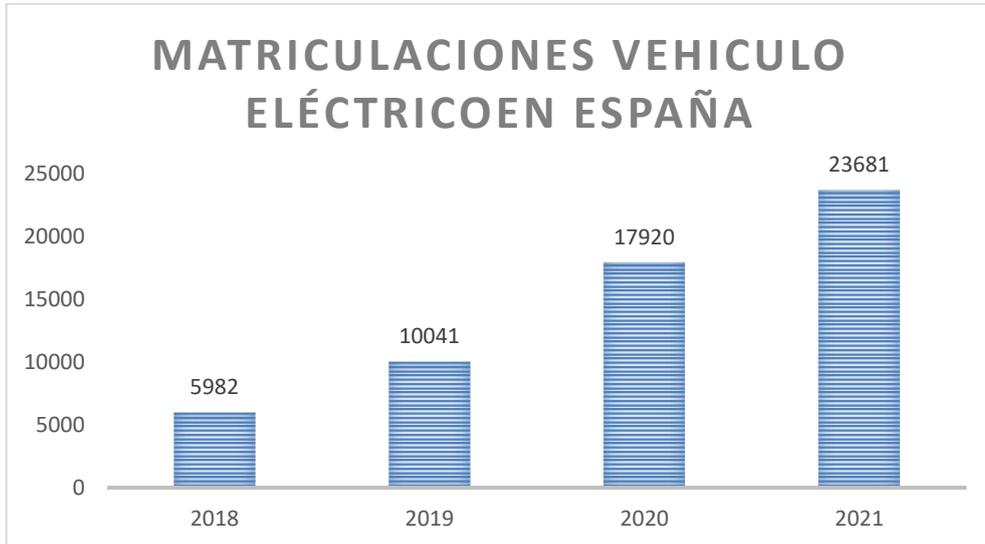


Figura 7.2. Número de matriculaciones de vehículo eléctrico en España [33]

Por ello se va a estudiar cómo se pueden complementar una instalación fotovoltaica con un coche eléctrico para el propietario de una vivienda, ya que puede llegar a ser muy beneficioso, e incentivar a la compra de un coche eléctrico.

7.1.1 MODELO DE COCHE ELÉCTRICO

Se ha elegido un coche de gama media, el modelo es el Peugeot e-208, mostrado en la Figura 7.3.[34]



Figura 7.3. Peugeot e-208 [34]

Las características del coche son las siguientes:

- Consumo: desde 13,8/kWh/100km
- Autonomía: hasta 362 km WLTP
- Emisiones de CO₂: 0g/km
- Potencia: 100 kW (136 CV)
- Capacidad de batería: 50 kWh
- Potencia de la batería: 100kW
- Garantía de la batería: 8 años
- Precio: 34.200 €

Para la carga del coche eléctrico se establecen dos alternativas:

- Carga mediante EasyWallBox: 4h para alcanzar el 80% de autonomía
 - Precio: 580 €
- Carga mediante enchufe doméstico: 25h para alcanzar el 80% de autonomía
 - Precio: 0 €

7.1.1.1 Subvenciones

La inversión para la compra de un coche eléctrico de gama media, como el modelo visto, es muy grande, solo con el valor del coche y el cargador de carga rápida ya suman una inversión de 34.780 €. Sin embargo, desde el gobierno de España han destinado unas ayudas para las personas que decidan comprarse un coche eléctrico, y así fomentar el aumento de compras.

Estas ayudas se recogen en el Plan MOVES III, está financiado por las ayudas provenientes de los fondos europeos Next Generation, y cada Comunidad Autónoma publica y gestiona sus convocatorias del plan.

En el caso de Cataluña las ayudas son las siguientes:

Monitorización	Categoría	Autonomía (km)	Límite precio venta vehículo	Ayuda	
				Sin achatarramiento	Con achatarramiento
PHEV, REEV, BEV	Turismo	≥90	45.000	4.500	7.000

Tabla 7.1. Subvenciones en Cataluña por compra de coche eléctrico [35]

En el caso de este proyecto se va a considerar que, si se dispone de un coche para llevar al desguace y emplear como chatarra, por lo que correspondería 7.000 € de ayudas.

También existen ayudas para la instalación de un punto de recarga.

	Ayuda (% coste subvencionable)		Cuantía máxima
	Localización general	Municipios < 500 habitantes	
Particulares	70%	80%	5.000 euros por expediente

Tabla 7.2. Subvenciones Cataluña para punto de recarga [35]

Por lo que la ayuda correspondiente sería del 70% del coste del punto de recarga, es decir, 406 €.

Por lo que el coste final del coche, teniendo en cuenta todas las subvenciones sería de **27.374 €**, lo que supondría un ahorro gracias a las subvenciones del **21%**.

7.1.2 ESTUDIO DE CONSUMO DEL COCHE ELÉCTRICO

Para calcular el consumo del coche eléctrico se va a tener en cuenta el siguiente escenario:

El coche se empleará todos los días laborables para ir a trabajar realizando un trayecto de ida y vuelta de 104 km al día y durante los fines de semana para trayectos cortos dentro de la ciudad, y ocasionalmente un trayecto de 200 km de ida y vuelta a una segunda vivienda.

Esto supone un consumo al día de:

Consumo días laborables

$$= (\text{Trayecto al trabajo} + \text{trayectos varios}) \cdot \text{consumo Peugeot}$$

$$= (104\text{km} + 20\text{km}) \cdot \frac{13,8 \text{ kWh}}{100 \text{ km}} = 17,11 \text{ kWh}$$

Por lo que, ya que la capacidad de la batería es de 50 kWh, no sería necesario recargar el coche todos los días, durante los días laborables, bastaría con cargarlo cada 2 días.

En la Figura 7.4 se observa el tiempo de recarga necesario para alcanzar el 90% de batería partiendo de un 10%, el cual sería el peor de los escenarios.

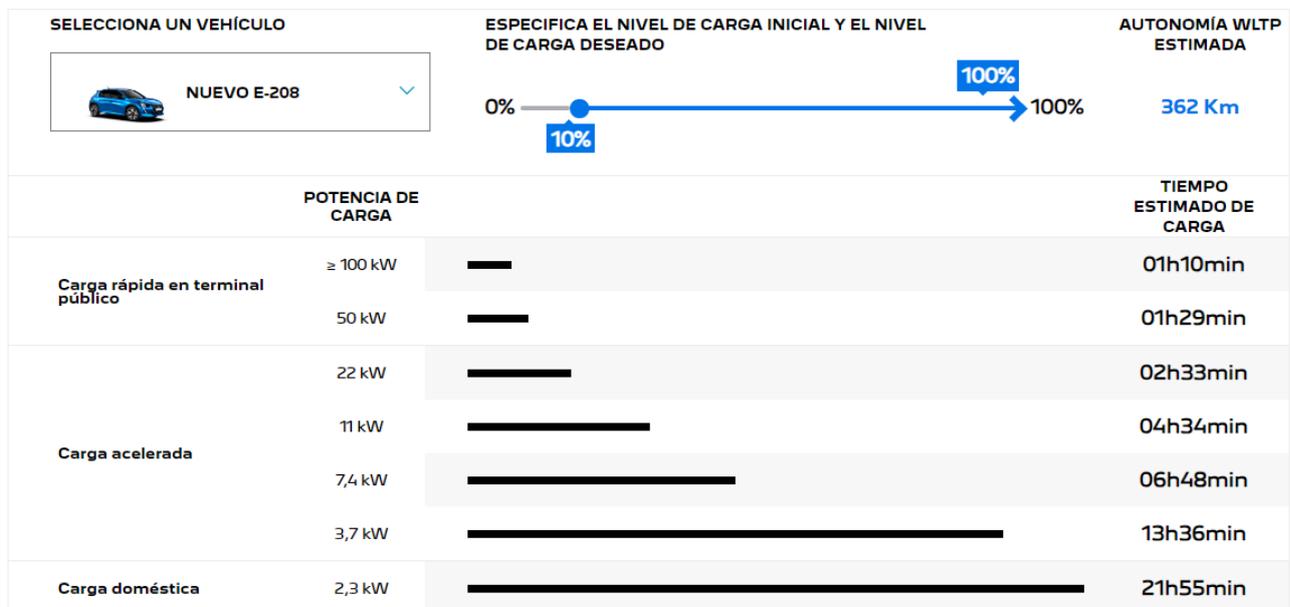


Figura 7.4. Tiempo de recarga

Se observa que en el caso de adquirir el EasyWallBox de 7,4 kW de potencia, se podría recargar el coche en 7h, es decir, se podría recargar por la noche sin problema, sin embargo, para recargar el coche con un enchufe doméstico se necesitaría prácticamente un día entero lo que es inviable, por lo que la adquisición del cargador eléctrico es necesaria.

En el escenario a estudio, teniendo en cuenta el consumo del coche, se podría cargar cada dos días, partiendo de una batería del 32% y cargándolo hasta el 100%, el tiempo de recarga sería el mostrado en la Figura 7.5, alrededor de las 5h y media, siendo un tiempo muy asequible.

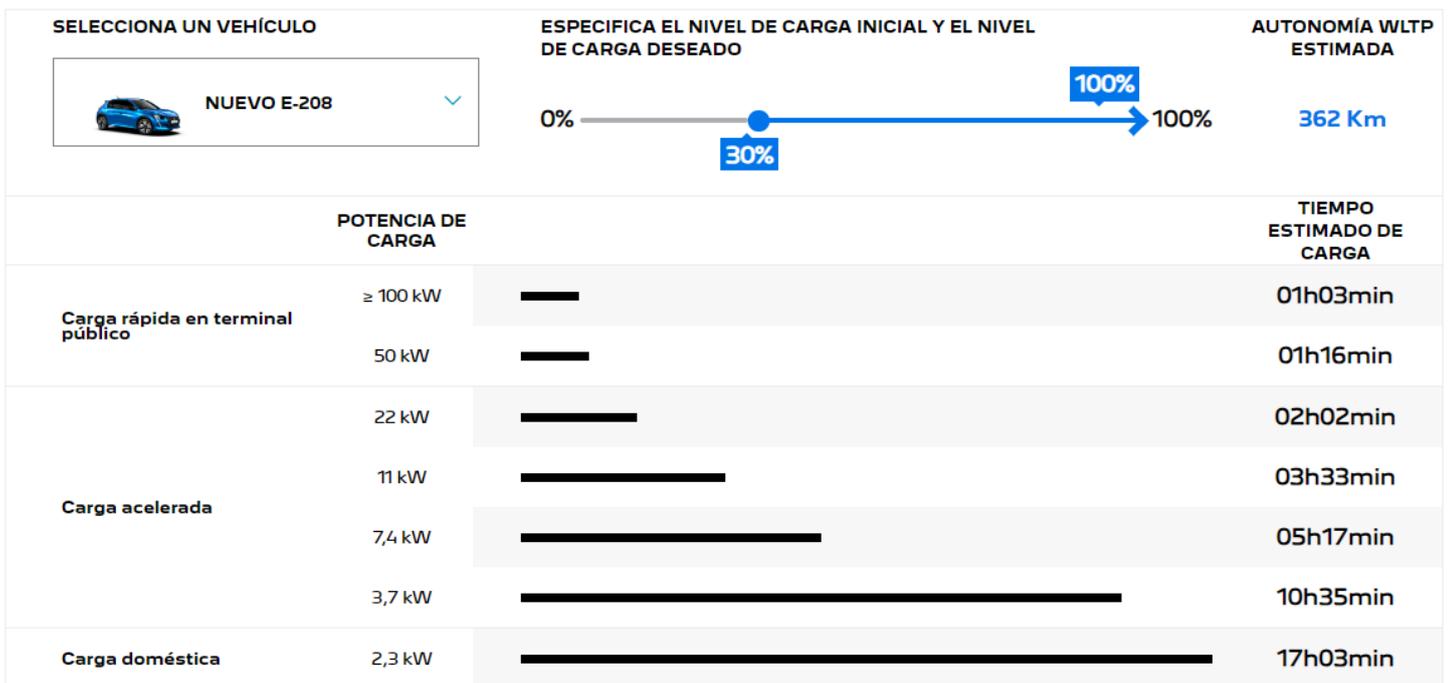


Figura 7.5. Carga del coche eléctrico con escenario de consumo

7.1.3 ESTUDIO DE CONSUMO DE COCHE ELÉCTRICO Y PLACAS SOLARES

Al introducir el coche eléctrico en la vivienda, se traduce como un consumo eléctrico más, suponiendo un consumo añadido anual de:

Consumo días laborables: 17,1 kWh

Consumo fines de semana: 6.9kWh

Cosumo fines de semana con viaje: 62 kWh

$$\text{Consumo anual aproximado} = 4.300 \text{ kWh}$$

Por lo que el consumo total eléctrico de la vivienda será:

$$\text{Consumo total anual} = 3.940 \text{ kWh} + 4.300 \text{ kWh} = \mathbf{8.240 \text{ kWh}}$$

La instalación fotovoltaica previamente diseñada producía 3.122 kWh por lo que la instalación no supliría el consumo del coche eléctrico, sería necesario aumentar la instalación.

Por lo que se van a tener en cuenta 2 escenarios:

- Escenario 1: La instalación fotovoltaica previamente diseñada se mantiene.
- Escenario 2: Se modifica la instalación para intentar suplir el consumo del coche eléctrico.

7.1.3.1 Escenario 1

Se calcula el coste añadido, del consumo del coche eléctrico, a la factura eléctrica anual. Para ello se tendrá en cuenta que el coche únicamente se recarga durante la noche, por lo que el precio de consumo de energía aplicado es el del periodo de valle.

Periodo	Consumo (kWh)	Precio (€/kWh)	Total anual
Día laborable	17,1	0,0917	226 €
Fin de semana	6,9	0,0917	61 €
Fin de semana + viaje	62	0,0917	546 €

TOTAL	833 €
--------------	-------

Tabla 7.3. Gasto anual del coche eléctrico

Además, se va a estudiar el efecto que tendría el cambio de tarifa eléctrica, ya que actualmente la mayoría de las compañías eléctricas disponen de tarifas especiales para las personas que dispone de coche eléctrico.

Se va a coger el ejemplo del Plan Vehículo Eléctrico de Iberdrola, en el que los precios son los siguientes:[24]

- Términos de potencia
 - Periodo punta: 39,00 €/kW año
 - Periodo valle: 11,00 €/kW año
- Término de energía
 - Periodo nocturno: (1:00h-7:00h), 0,03€/kWh
 - Periodo sin promoción: (resto de horas), 0,352374 €/kWh

Recalculando la factura de la luz con la nueva tarifa e introduciendo el consumo del coche eléctrico quedaría de la siguiente forma:

POTENCIA CONTRATADA (término fijo)	kW	€/kW/año	€/mes
P1 (punta)	4	39	13.00 €
P2 (valle)	7	11	6.42 €
TOTAL Término fijo			19.42 €

ENERGÍA CONSUMIDA (término variable)	kWh	€/kWh	€/mes
P1 (punta)	72	0.352374	25.37 €
P3 (valle)	327	0.03	9.81 €
Excedentes	0	0.05	- €
TOTAL Término variable			35.18 €

Subtotal (término fijo y variable)	54.60 €
Impuesto sobre la electricidad (5,113%)	2.79 €
Alquiler contador	0.80 €
Subtotal	58.19 €
IVA (21%)	12.22 €

TOTAL FACTURA	70.41 €
---------------	---------

Tabla 7.4. Factura con coche eléctrico

Quedando la factura mensual un **30%** más cara que la anterior.

7.1.3.2 Escenario 2

En este escenario se introducirá la posibilidad de aumentar la instalación fotovoltaica para suplir el consumo del coche eléctrico, y estudiar si es rentable hacer la inversión de compra de más placas solares o mantener la instalación inicial. Para ello se van a recalculer los parámetros de la instalación.

La energía producida por cada panel se mantiene igual:

$$E_{panel} = Potencia\ panel \cdot HSP \cdot \eta = 410 \cdot 5,44 \cdot 0,9 = 2007,4\ Wh/dia$$

El número de paneles necesarios cambia ya que el consumo aumenta:

$$N^{\circ}\ de\ paneles\ solares = \frac{Consumo\ diario}{Energía\ del\ panel} = \frac{10790 + 11800}{2007} \approx 11\ paneles$$

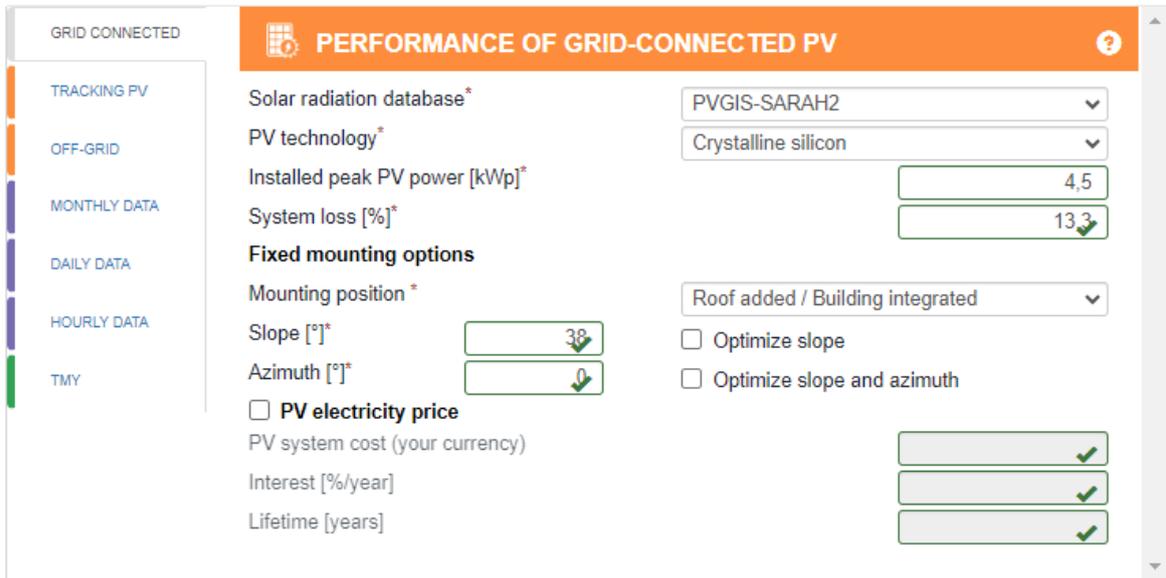
Y la potencia pico de la instalación es:

$$\begin{aligned} Potencia\ pico\ FV\ instalada &= n^{\circ}\ de\ paneles \cdot potencia\ de\ cada\ panel = 11 \cdot 410 \\ &= 4.510\ Wp\ totales \end{aligned}$$

Las pérdidas totales se siguen manteniendo:

$$Perdidas\ de\ la\ instalación = 3,3\% + 3\% + 3\% + 4\% = 13,3\%$$

Los parámetros introducidos en PVGIST son los siguientes:



PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

Solar radiation database* PVGIS-SARAH2

PV technology* Crystalline silicon

Installed peak PV power [kWp]* 4,5

System loss [%]* 13,3

Fixed mounting options

Mounting position * Roof added / Building integrated

Slope [°]* 38

Azimuth [°]* 0

PV electricity price

PV system cost (your currency) [input field] ✓

Interest [%/year] [input field] ✓

Lifetime [years] [input field] ✓

Optimize slope

Optimize slope and azimuth

Figura 7.6. Parámetros instalación aumentada

Y los resultados obtenidos de producción de la instalación son los siguientes:

Resultados simulación	
Ángulo de inclinación (°)	38
Ángulo de azimut (°)	0
Producción anual FV (kWh)	6851,96
Irradiación anual (kWh/m ²)	2015,22
Variación interanual (kWh)	197,79
Cambios en la producción debido a:	
Ángulo de incidencia (%)	-2,56
Efectos espectrales (%)	0,9
Temperatura y baja irradiancia (%)	-11,36

Pérdidas totales (%)	-24,44
----------------------	--------

Tabla 7.5. Resultados de producción de la instalación aumentada

La producción de energía mensual es la mostrada en la Tabla 7.6.

Producción de energía mensual (kWh)	
Enero	485,9
Febrero	502,51
Marzo	610,24
Abril	602,89
Mayo	652,86
Junio	651,14
Julio	683,63
Agosto	650,13
Septiembre	573,52
Octubre	520,62
Noviembre	452,41
Diciembre	466,11

Tabla 7.6. Producción mensual instalación aumentada

La gráfica obtenida a partir de la simulación es la siguiente:

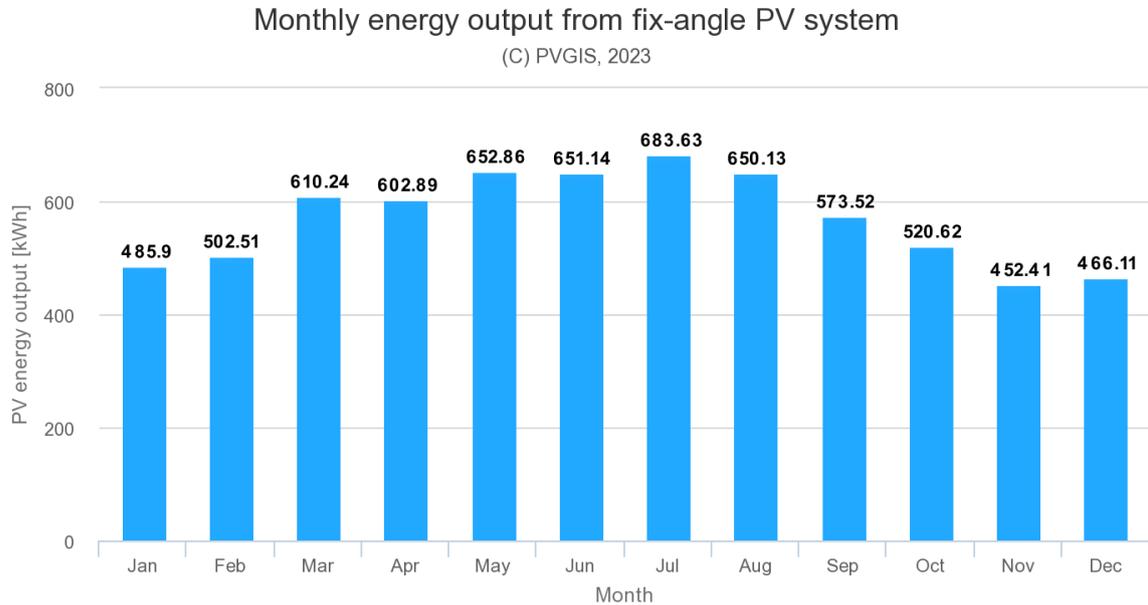


Figura 7.7. Gráfica producción mensual instalación aumentada PVGIST

Por lo tanto la producción de energía media diaria sería:

$$\text{Energía media diaria} = \frac{6851,96}{365} = 18,77 \text{ kWh día}$$

Distribuidos en los periodos de discriminación horaria según la

Tabla 7.7

Diario	Porcentaje	Total (kWh)
Punta	37%	6,9
Llano	60%	11,3
Valle	3%	0.6

Tabla 7.7. Distribución de producción según discriminación horaria

Por lo que durante el día se produciría más energía de la que consume la vivienda, pudiendo verter dichos excedentes a la red y así compensar el consumo de la recarga del coche eléctrico, quedando la factura según se muestra en la Tabla 7.8, con la tarifa de coche eléctrico.

POTENCIA CONTRATADA (término fijo)	kW	€/kW/año	€/mes
P1 (punta)	4	39	13.00 €
P2 (valle)	7	11	6.42 €
TOTAL Término fijo			19.42 €
ENERGÍA CONSUMIDA (término variable)	kWh	€/kWh	€/mes
P1 (punta)	0	0.352374	- €
P3 (valle)	327	0.03	9.81 €
Excedentes	228	0.05	11.40 €
TOTAL Término variable			- 1.59 €
Subtotal (término fijo y variable)			17.83 €
Impuesto sobre la electricidad (5,113%)			0.91 €
Alquiler contador			0.80 €
Subtotal			19.54 €
IVA (21%)			4.10 €
TOTAL FACTURA			23.64 €

Tabla 7.8. Factura con instalación aumentada

Otra opción sería la compra de una batería solar para almacenar parte de esa energía y después emplearla para la carga del coche eléctrico, sin embargo, no es una opción rentable ya que actualmente las baterías tienen poca capacidad, como máximo módulos de 5kWh, por un precio muy caro, alrededor de los 3.000 € cada módulo, por lo que compensa más el verter los excedentes a la red.

El análisis de la factura se ha realizado con la tarifa del plan de vehículo eléctrico, sin embargo, existen tarifas solares que tienen más beneficios para el caso de vertido de excedentes, por lo que se va a realizar el análisis con dicha tarifa.[23]

POTENCIA CONTRATADA (término fijo)	kW	€/kW/día	€/mes
P1 (punta)	4	0.083	9.96 €
P2 (valle)	7	0.015	3.15 €
TOTAL Término fijo			13.11 €
ENERGÍA CONSUMIDA (término variable)	kWh	€/kWh	€/mes
P1 (punta)	20	0.211	4.22 €
P2 (llano)	0	0.162	- €
P3 (valle)	327	0.133	43.49 €
Excedentes	239	0.08	19.12 €
TOTAL Término variable			28.59 €
Subtotal (término fijo y variable)			41.70 €
Impuesto sobre la electricidad (5,113%)			2.13 €
Alquiler contador			0.80 €
Subtotal			44.63 €
IVA (21%)			9.37 €
TOTAL FACTURA			54.01 €

Tabla 7.9. Factura con tarifa solar

Según se observa en la Tabla 7.9 la factura se encarece con la nueva tarifa, ya que el grueso del consumo se produce por la noche y la tarifa del plan vehículo eléctrico tiene un mejor precio para esa franja horaria, y el precio de compensación de excedentes no varía significativamente de una tarifa a otra, por lo que la tarifa elegida será la del plan vehículo eléctrico.

Se ha de tener en cuenta que el aumento de la instalación supone un aumento de la inversión inicial según se muestra en la Tabla 7.10, sería necesario realizar una inversión extra de 2.910€

Componente	Coste unitario	Unidades	Total
Placas	160 €	6	960 €
Inversor	550 €	1	550 €

Estructura	200 €	1	200 €
Instalación	1.200	1	1.200 €
TOTAL			2.910 €

Tabla 7.10. Aumento de la inversión

En el caso de que se pudiese conseguir otra subvención para la instalación extra, serían 600 €/ kWp, en este caso la instalación tendría 2,4 kWp, por lo que supondría una subvención de 1.440€, quedando la inversión inicial en 1.470 €.

Como conclusión, comparando el gasto eléctrico anual de la vivienda de ambos escenarios quedaría según se muestra en la Figura 7.8.

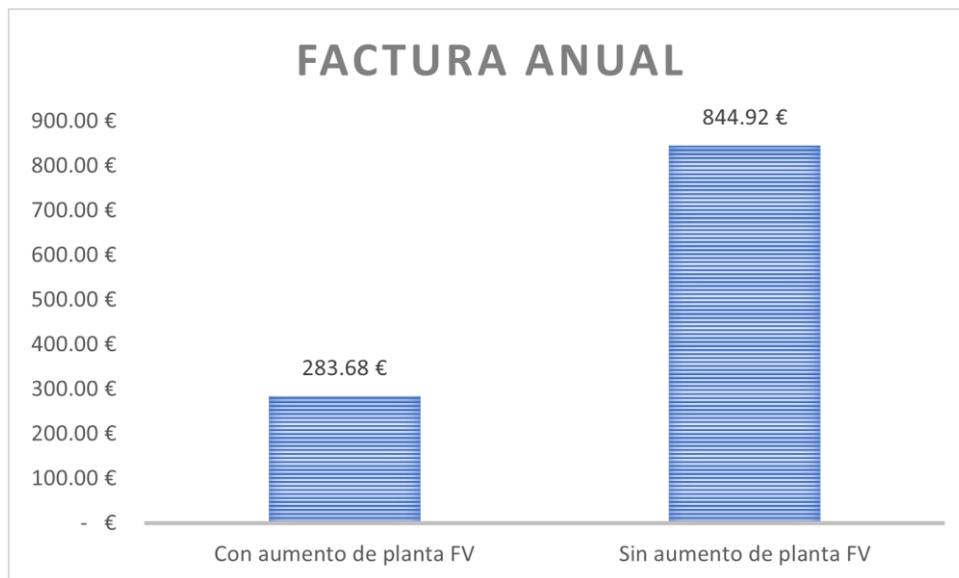


Figura 7.8. Comparación factura anual (elaboración propia)

En la Tabla 7.11 se ha realizado un flujo de caja para establecer si es rentable realizar dicha inversión teniendo en cuenta el gasto anual de electricidad sin aumentar la planta fotovoltaica y aumentándola, comparando ambos escenarios, se obtiene que, si se realiza la inversión, se recuperaría en tres años, teniendo en cuenta el ahorro que supone en la factura anual.

Las hipótesis para realizar el flujo de caja son las siguientes:

- Se va a suponer que la inversión inicial se realiza al completo en el primer año y el propietario de la vivienda no necesita pedir un préstamo.
- Se va a considerar un IPC de 2,8% para la actualización de la factura de la luz.

Año	Factura sin aumento de FV	Factura con aumento de FV	Ahorro anual	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0				- 1,470.00 €	- 1,470.00 €
1	844.92 €	283.68 €	561.24 €	561.24 €	- 908.76 €
2	868.58 €	291.62 €	576.95 €	576.95 €	- 331.81 €
3	892.90 €	299.79 €	593.11 €	593.11 €	261.30 €
4	917.90 €	308.18 €	609.72 €	609.72 €	871.02 €
5	943.60 €	316.81 €	626.79 €	626.79 €	1,497.81 €
6	970.02 €	325.68 €	644.34 €	644.34 €	2,142.15 €
7	997.18 €	334.80 €	662.38 €	662.38 €	2,804.53 €
8	1,025.10 €	344.18 €	680.93 €	680.93 €	3,485.45 €
9	1,053.81 €	353.81 €	699.99 €	699.99 €	4,185.45 €
10	1,083.31 €	363.72 €	719.59 €	719.59 €	4,905.04 €
11	1,113.64 €	373.90 €	739.74 €	739.74 €	5,644.78 €
12	1,144.83 €	384.37 €	760.45 €	760.45 €	6,405.24 €
13	1,176.88 €	395.14 €	781.75 €	781.75 €	7,186.98 €
14	1,209.83 €	406.20 €	803.64 €	803.64 €	7,990.62 €
15	1,243.71 €	417.57 €	826.14 €	826.14 €	8,816.75 €
16	1,278.53 €	429.26 €	849.27 €	849.27 €	9,666.02 €
17	1,314.33 €	441.28 €	873.05 €	873.05 €	10,539.07 €
18	1,351.13 €	453.64 €	897.49 €	897.49 €	11,436.57 €
19	1,388.97 €	466.34 €	922.62 €	922.62 €	12,359.19 €
20	1,427.86 €	479.40 €	948.46 €	948.46 €	13,307.65 €
21	1,467.84 €	492.82 €	975.01 €	975.01 €	14,282.66 €
22	1,508.94 €	506.62 €	1,002.31 €	1,002.31 €	15,284.98 €
23	1,551.19 €	520.81 €	1,030.38 €	1,030.38 €	16,315.36 €
24	1,594.62 €	535.39 €	1,059.23 €	1,059.23 €	17,374.59 €
25	1,639.27 €	550.38 €	1,088.89 €	1,088.89 €	18,463.47 €

Tabla 7.11. Flujo de caja con inversión para instalación nueva

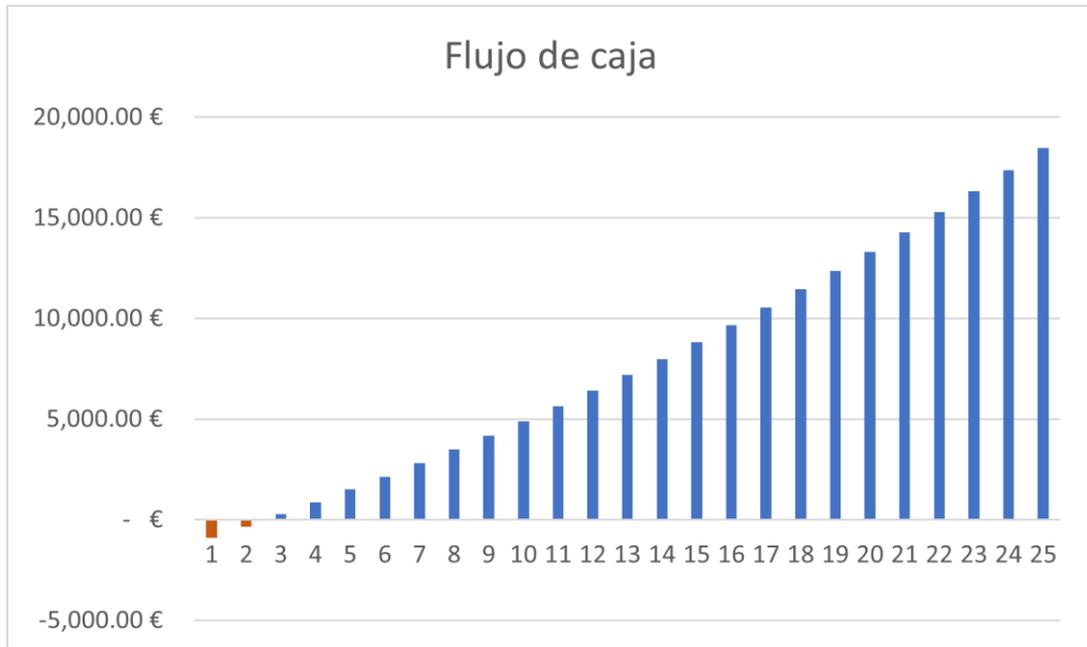


Figura 7.9. Gráfico de flujo de caja con inversión para instalación nueva

Analizando el gráfico de la Figura 7.9 se concluye que la inversión se recuperaría en 2 años, lo que es un plazo más que razonable, por lo que emplear las placas solares para compensar el consumo del coche eléctrico es una alternativa que no solo beneficia a la economía del propietario de la vivienda, sino que también ayuda en la lucha contra el cambio climático ya que combina la producción de energía limpia y el transporte sin emisiones de CO₂.

7.2 AEROTERMIA

La aerotermia es un sistema de climatización que permite obtener energía, a través del intercambio de calor, del aire y convertirla en calefacción, refrigeración o agua caliente. Siendo este sistema el más eficiente actualmente en el mercado ya que permite extraer hasta el 75% de la energía del aire.[36]

En 2023 se realizó una encuesta a 2.000 hogares españoles en la que se demostró la preocupación de los españoles por el cuidado del medio ambiente, y el impacto que puede

tener el consumo de sus hogares en ese cuidado, siendo conscientes de las alternativas limpias de emisiones de carbono para sustituir a los sistemas tradicionales de calefacción, aire acondicionado y muchos más. Como se muestra en la Figura 7.10, el 21% de los hogares ya cuentan con aerotermia y el 70% sabían de la existencia de esta y lo consideran como alternativa a sus sistemas tradicionales de gas natural o propano.



Figura 7.10. Resultados encuesta aerotermia [37]

7.2.1 MODELO DEL SISTEMA DE AEROTERMIA

En este caso se va a partir de un escenario en el que la vivienda emplea calefacción de gas natural por condensación con radiadores y se va a estudiar el ahorro que podría conllevar cambiar dicho sistema a la aerotermia y a su vez se analizará si es necesario aumentar la instalación fotovoltaica diseñada en el caso base.

Para elegir el modelo de aerotermia se ha recurrido a la empresa Saunier Duval especializada en la venta de soluciones de calefacción. Para elegir el modelo y hacer el estudio de consumo

de la aerotermia se ha utilizado su simulador, en el que se han introducido los siguientes parámetros mostrados en la Figura 7.11.[38]

Definición del sistema	Datos de la vivienda	Datos de la instalación
* Nuevo sistema Aerotermia	* Provincia Barcelona	* Tipo de instalación Radiadores
* Sistema actual o a comparar Gas Natural Condensación	* Tipo de vivienda Unifamiliar	* Temperatura de confort en °C 22
	* m ² útiles 130	
Consumo energético		
<input type="checkbox"/> Conozco el consumo anual		* Tipo de aislamiento Bueno (Aislamiento 5-10 cm)

Figura 7.11. Parámetros para establecer consumo de aerotermia

Los resultados obtenidos por el simulador son los siguientes:

Resultados simulador	
Ahorro anual	460 €
Ahorro anual (%)	49 %
Consumo estimado de la caldera	938,61 €
Consumo Genia Hybrid	478,49 €
Potencia diseño	6,9 kW
Consumo anual bomba de calor	5.443,02 kWh
Modelo	GENIA AIR MAX 12

Tabla 7.12. Resultados simulador Saunier Duval

Según los resultados mostrados en la Tabla 7.12, el paso de calefacción de gas natural condensado a aerotermia supondría un ahorro anual del 49%, siendo un ahorro muy significativo y además combinándolo con la producción de energía de la instalación fotovoltaica ese ahorro aumentará.

El consumo mensual del sistema de aerotermia será el siguiente:

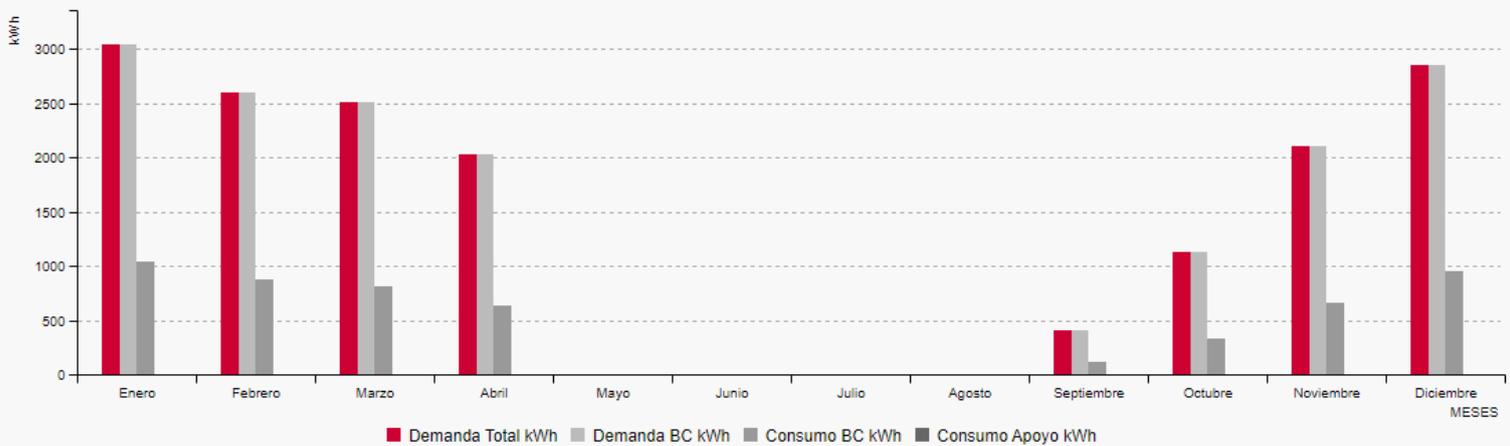


Figura 7.12. Consumo mensual de la aerotermia en kWh

Como se observa en la Figura 7.12 la demanda de calefacción de la vivienda queda cubierta al 100% con el sistema de aerotermia.



Figura 7.13. Sistema GENIA AIR MAX 12

El sistema elegido por el simulador es el mostrado en la Figura 7.13, tiene un precio de 7.000 €.

A continuación, se van a estudiar dos escenarios, teniendo en cuenta que se mantiene la instalación diseñada en el caso base, o analizando la ampliación de la instalación.

7.2.1.1 Escenario 1

Con el consumo anual de la aerotermia se va a calcular cual es el efecto en la factura eléctrica, teniendo en cuenta el siguiente reparto según la discriminación horaria.

Reparto de consumo anual por tramo horario			
	Punta	Llano	Valle
Porcentaje	40%	35%	25%
Total (kWh)	2.177	1.905	1.361

Tabla 7.13. Reparto de consumo anual de la aerotermia

Para el cálculo de la factura eléctrica anual se tendrá en cuenta la reducción de coste de gas que supone la instalación de la aerotermia, obteniendo el dato del análisis realizado por el simulador con una reducción de 460 € al año, por lo que la factura quedaría de la siguiente forma:

POTENCIA CONTRATADA (término fijo)	kW	€/kW/día	€/año
P1 (punta)	6	0.0938	205.42 €
P2 (valle)	6	0.0126	27.59 €
TOTAL Término fijo			233.02 €
ENERGÍA CONSUMIDA (término variable)	kWh	€/kWh	€/año
P1 (punta)	3746	0.2404	900.54 €
P2 (llano)	1124	0.1419	159.50 €
P3 (valle)	1339	0.0917	122.79 €
Excedentes	0	0.05	- €
TOTAL Término variable			1,182.82 €
Subtotal (término fijo y variable)			1,415.84 €
Impuesto sobre la electricidad (5,113%)			72.39 €
Alquiler contador			9.60 €
Subtotal			1,497.83 €
IVA (10%)			149.78 €
Reducción por instalación aerotermia			460.00 €
TOTAL FACTURA			1,187.61 €

Tabla 7.14. Factura anual con aerotermia

7.2.1.2 Escenario 2

En este escenario se introducirá la posibilidad de aumentar la instalación fotovoltaica para suplir el consumo de la aerotermia, y estudiar si es rentable hacer la inversión de compra de más placas solares o mantener la instalación inicial. Para ello se van a recalculan los parámetros de la instalación.

La energía producida por cada panel se mantiene igual:

$$E_{panel} = Potencia\ panel \cdot HSP \cdot \eta = 410 \cdot 5,44 \cdot 0,9 = 2007,4\ Wh/dia$$

El número de paneles necesarios cambia ya que el consumo aumenta:

$$N^{\circ} \text{ de paneles solares} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Energía del panel}} = \frac{10790 + 14900}{2007} \approx 13 \text{ paneles}$$

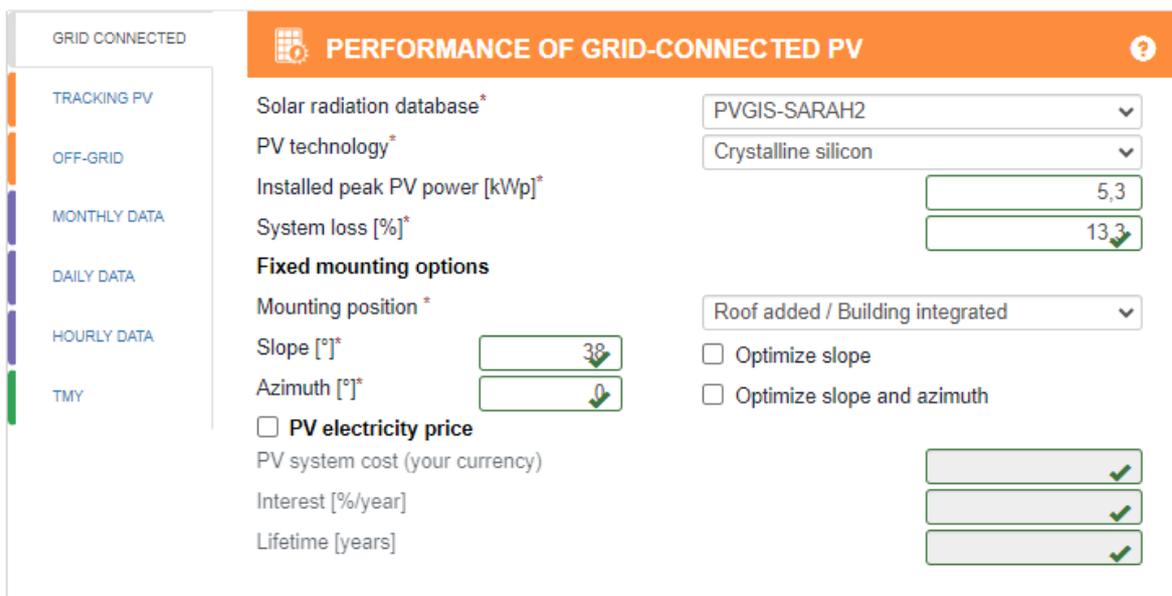
Y la potencia pico de la instalación es:

$$\begin{aligned} \text{Potencia pico FV instalada} &= n^{\circ} \text{ de paneles} \cdot \text{potencia de cada panel} = 13 \cdot 410 \\ &= 5,3 \text{ Wp totales} \end{aligned}$$

Las pérdidas totales se siguen manteniendo:

$$\text{Perdidas de la instalación} = 3,3\% + 3\% + 3\% + 4\% = 13,3\%$$

Los parámetros introducidos en PVGIST son los siguientes:



The screenshot shows the PVGIST interface with the following parameters set:

- Solar radiation database*: PVGIS-SARAH2
- PV technology*: Crystalline silicon
- Installed peak PV power [kWp]*: 5,3
- System loss [%]*: 13,3
- Fixed mounting options:
 - Mounting position*: Roof added / Building integrated
 - Optimize slope
 - Optimize slope and azimuth
- PV electricity price
- PV system cost (your currency): [input field] ✓
- Interest [%/year]: [input field] ✓
- Lifetime [years]: [input field] ✓

Figura 7.14. Parámetros con aerotermia para PVGIST

Y los resultados obtenidos de producción de la instalación son los siguientes:

Resultados simulación	
Ángulo de inclinación (°)	38
Ángulo de azimut (°)	0

Producción anual FV (kWh)	8070,09
Irradiación anual (kWh/m ²)	2015,22
Variación interanual (kWh)	232,95
Cambios en la producción debido a:	
Ángulo de incidencia (%)	-2,56
Efectos espectrales (%)	0,9
Temperatura y baja irradiancia (%)	-11,36
Pérdidas totales (%)	-24,44

Tabla 7.15. Resultados producción instalación aumentada por aerotermia

La producción de energía mensual es la mostrada en la Tabla 7.16.

Producción de energía mensual (kWh)	
Enero	572,3
Febrero	591,84
Marzo	718,73
Abril	710,07
Mayo	768,92
Junio	766,9
Julio	805,17
Agosto	765,71

Septiembre	675,48
Octubre	613,17
Noviembre	532,84
Diciembre	548,97

Tabla 7.16. Producción mensual instalación aumentada

La gráfica obtenida a partir de la simulación es la siguiente:

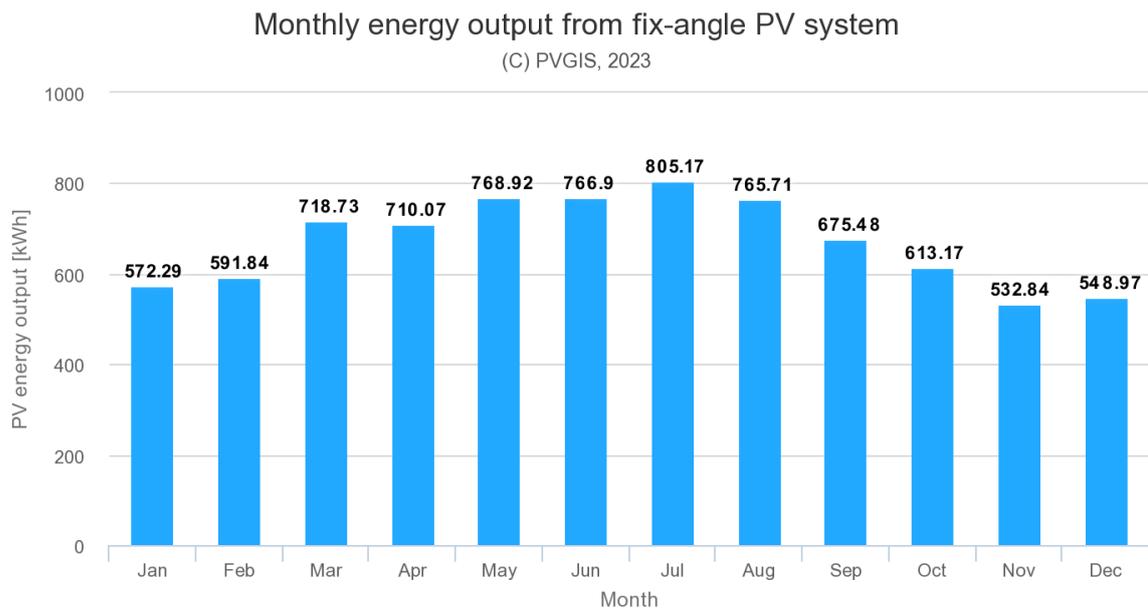


Figura 7.15. Gráfico de producción de instalación aumentada por aerotermia

Distribuyendo la producción anual en los periodos de discriminación horaria según la Tabla 7.17.

Diario	Porcentaje	Total (kWh)
Punta	37%	2.986
Llano	60%	4.842
Valle	3%	242

Tabla 7.17. Distribución de producción según discriminación horaria

Por lo que durante el día se produciría más energía de la que consume la vivienda, pudiendo verter dichos excedentes a la red y conseguir compensar el gasto del consumo de la aerotermia.

POTENCIA CONTRATADA (término fijo)	kW	€/kW/día	€/año
P1 (punta)	6	0.0938	205.42 €
P2 (valle)	6	0.0126	27.59 €
TOTAL Término fijo			233.02 €
ENERGÍA CONSUMIDA (término variable)	kWh	€/kWh	€/año
P1 (punta)	1915	0.2404	460.37 €
P2 (llano)	0	0.1419	- €
P3 (valle)	1433	0.0917	131.41 €
Excedentes	1845	0.05	92.25 €
TOTAL Término variable			499.52 €
Subtotal (término fijo y variable)			732.54 €
Impuesto sobre la electricidad (5,113%)			37.45 €
Alquiler contador			9.60 €
Subtotal			779.59 €
IVA (10%)			77.96 €
Reducción por instalación aerotermia			460.00 €
TOTAL FACTURA			397.55 €

Tabla 7.18. Factura anual con aumento de instalación y aerotermia

Como se puede observar en la Tabla 7.18 la factura se ve claramente reducida gracias a la producción de las placas solares añadidas. Según se ve en la comparativa de la Figura 7.16 el ahorro es de un 66%, lo que es muy significativo.

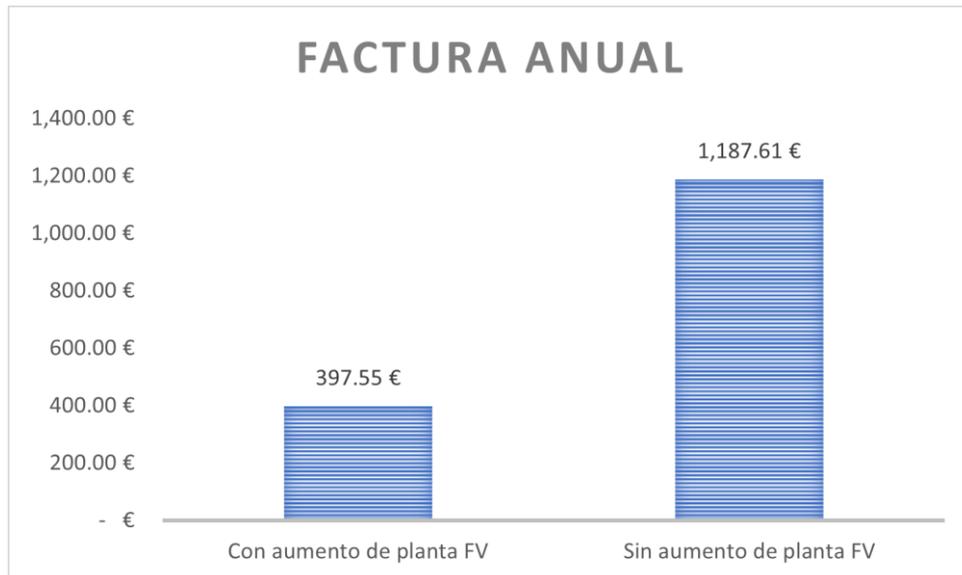


Figura 7.16. Comparativa factura anual aerotermia

Se ha de tener en cuenta que el aumento de la instalación supone un aumento de la inversión inicial según se muestra en la Tabla 7.19, sería necesario realizar una inversión extra de 3.230€

Componente	Coste unitario	Unidades	Total
Placas	160 €	8	1280 €
Inversor	550 €	1	550 €
Estructura	200 €	1	200 €
Instalación	1.200 €	1	1.200 €
TOTAL			3.230 €

Tabla 7.19. Aumento de la inversión

En el caso de que se pudiese conseguir otra subvención para la instalación extra, serían 600 €/kWp, en este caso la instalación tendría 3,3 kWp, por lo que supondría una subvención de 1.980€, quedando la inversión inicial en 1.250 €.

Por lo que, si realizamos un flujo de caja teniendo en cuenta el ahorro que supondría aumentar la instalación fotovoltaica, con respecto al escenario de no aumentarla, la inversión se recuperará en 2 años según se muestra en la Tabla 7.20 y en la Figura 7.17.

Las hipótesis para realizar el flujo de caja son las siguientes:

- Se va a suponer que la inversión inicial se realiza al completo en el primer año y el propietario de la vivienda no necesita pedir un préstamo.
- Se va a considerar un IPC de 2,8% para la actualización de la factura de la luz.

Año	Factura sin aumento de FV	Factura con aumento de FV	Ahorro anual	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0				- 1,250.00 €	- 1,250.00 €
1	1,187.61 €	397.55 €	790.06 €	790.06 €	- 459.94 €
2	1,220.86 €	408.68 €	812.18 €	812.18 €	352.24 €
3	1,255.05 €	420.12 €	834.92 €	834.92 €	1,187.16 €
4	1,290.19 €	431.89 €	858.30 €	858.30 €	2,045.47 €
5	1,326.31 €	443.98 €	882.33 €	882.33 €	2,927.80 €
6	1,363.45 €	456.41 €	907.04 €	907.04 €	3,834.84 €
7	1,401.63 €	469.19 €	932.44 €	932.44 €	4,767.27 €
8	1,440.87 €	482.33 €	958.54 €	958.54 €	5,725.82 €
9	1,481.22 €	495.83 €	985.38 €	985.38 €	6,711.20 €
10	1,522.69 €	509.72 €	1,012.97 €	1,012.97 €	7,724.17 €
11	1,565.33 €	523.99 €	1,041.34 €	1,041.34 €	8,765.51 €
12	1,609.16 €	538.66 €	1,070.49 €	1,070.49 €	9,836.00 €
13	1,654.21 €	553.74 €	1,100.47 €	1,100.47 €	10,936.47 €
14	1,700.53 €	569.25 €	1,131.28 €	1,131.28 €	12,067.75 €
15	1,748.14 €	585.19 €	1,162.96 €	1,162.96 €	13,230.71 €
16	1,797.09 €	601.57 €	1,195.52 €	1,195.52 €	14,426.23 €
17	1,847.41 €	618.42 €	1,228.99 €	1,228.99 €	15,655.22 €
18	1,899.14 €	635.73 €	1,263.41 €	1,263.41 €	16,918.63 €
19	1,952.32 €	653.53 €	1,298.78 €	1,298.78 €	18,217.41 €

20	2,006.98 €	671.83 €	1,335.15 €	1,335.15 €	19,552.56 €
21	2,063.18 €	690.64 €	1,372.53 €	1,372.53 €	20,925.09 €
22	2,120.94 €	709.98 €	1,410.96 €	1,410.96 €	22,336.05 €
23	2,180.33 €	729.86 €	1,450.47 €	1,450.47 €	23,786.52 €
24	2,241.38 €	750.30 €	1,491.08 €	1,491.08 €	25,277.61 €
25	2,304.14 €	771.31 €	1,532.83 €	1,532.83 €	26,810.44 €

Tabla 7.20. Flujo de caja inversión en aumento de placas solares

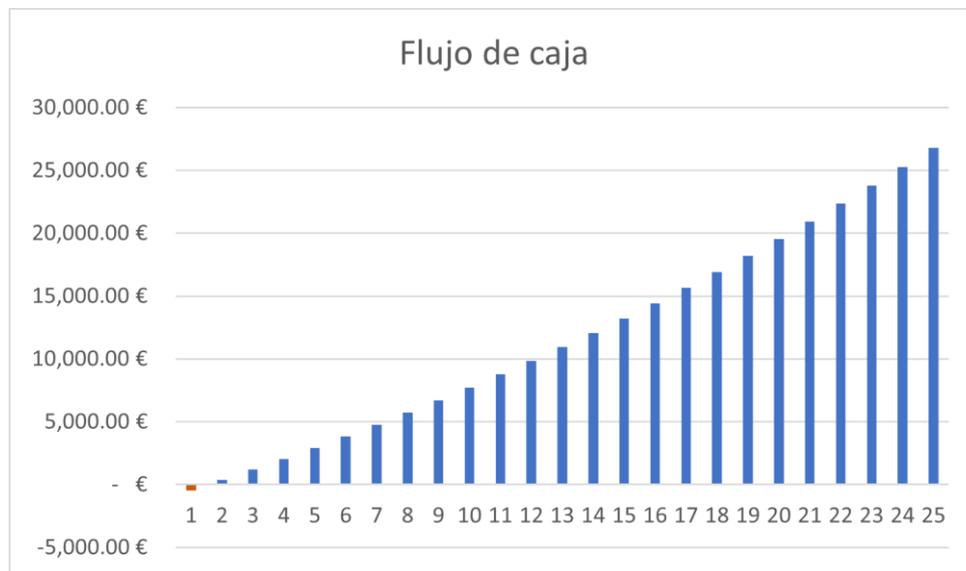


Figura 7.17. Gráfico flujo de caja inversión aumento de placas solares

Como conclusión se obtiene que la aerotermia es una apuesta por conseguir una vivienda más eficiente y libre de emisiones de CO₂ para ayudar contra el cambio climático, pero supone una gran inversión y un consumo extra de electricidad en la vivienda, sin embargo, si se combina con la producción de energía de paneles solares esta inversión será mucho más rentable, ya que el consumo de la aerotermia quedará suplido por la producción de la instalación fotovoltaica.

Capítulo 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El autoconsumo es una forma de producir energía limpia y sin emisiones de dióxido de carbono, que actualmente está aumentando gracias a la visibilidad que se le está dando por parte de los medios de comunicación, las redes sociales y también debido a la concienciación de la población con el cuidado del medio ambiente. Aunque no es únicamente el motivo medioambiental por el que el autoconsumo está aumentando, sino que también existe un motivo económico, ya que supone un gran ahorro en el gasto de electricidad de una vivienda, y eso es lo que se ha querido analizar durante este proyecto, no solo la rentabilidad de tener una instalación de autoconsumo en una vivienda sino también escenarios en los que añaden factores externos que puedan afectar al consumo energético de la vivienda, con el objetivo de conseguir una vivienda libre de emisiones y a largo plazo ser una vivienda sostenible.

El modelo de autoconsumo más es la instalación de placas fotovoltaicas debido a las facilidades y ayudas que existen actualmente. Durante el proyecto se han analizado diferentes escenarios.

- **Escenario 1: Instalación fotovoltaica sin agentes externos:** se ha querido analizar la rentabilidad de una instalación para una vivienda unifamiliar estándar, diseñando la instalación adecuada para el consumo de la vivienda.

En los resultados se ha obtenido que la instalación de las placas solares supone un ahorro anual de un **48%** en el gasto de electricidad de la vivienda, y aunque la inversión inicial es grande, esta se recuperaría en 6 años, muy por debajo de la vida útil de los paneles (25 años), y si se tiene en cuenta todas las subvenciones ese periodo podría reducirse a 1,5 años, por lo que se concluye que la inversión es rentable y beneficiosa para la economía de la vivienda y el medioambiente.

- **Escenario 2: Coche eléctrico:** en este escenario se ha analizado el añadido de un coche eléctrico, partiendo del caso base, es decir, con una instalación fotovoltaica previa. En este caso se ha concluido que la introducción del coche eléctrico supondría

el aumento de la instalación para que la inversión fuese rentable, ya que supone un consumo añadido para la vivienda. Llegando a reducir el gasto si se aumenta la instalación fotovoltaica un **67%** y la inversión de aumentar la instalación fotovoltaica se recuperaría en 2 años, lo que supondría una inversión rentable y buena combinación.

- **Escenario 3: Aerotermia:** en este escenario se ha analizado el cambio de la calefacción de gas natural por la aerotermia, siendo una opción más limpia y sostenible, partiendo del caso base, es decir, con una instalación fotovoltaica previa y sin coche eléctrico. En este caso se ha concluido que el cambio de tipo de calefacción supondría el aumento de la instalación para que la inversión fuese rentable, ya que supone un consumo añadido para la vivienda. Llegando a reducir el gasto si se aumenta la instalación fotovoltaica un **66%** y la inversión de aumentar la instalación fotovoltaica se recuperaría en 1 año, lo que supondría una inversión rentable y buena combinación.

Tras analizar todos los escenarios, se ha concluido que la inversión en una planta fotovoltaica es muy rentable, no solo por el ahorro inmediato en la factura de la luz, sino que también si se quieren añadir otros factores a la vivienda que ayuden a reducir el gasto a largo plazo, como puede ser el coche eléctrico y la aerotermia, si se tiene una instalación de autoconsumo ese paso será más fácil de dar ya que esa instalación va a suplir parte del gasto de las otras inversiones.

Para que las instalaciones de autoconsumo en una fuente común de generación de energía en todas las viviendas se ha de promover más su adquisición, resaltando las ventajas que conllevan, dando más ayudas para las inversiones iniciales y facilitando la instalación.

Actualmente una instalación fotovoltaica de autoconsumo es rentable, sin embargo, si la energía se pudiese almacenar en baterías de mayor capacidad a las que existen ahora, y a un precio más asequible, esa rentabilidad aumentaría considerablemente, por lo que es un factor a mejorar para el futuro.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «El crecimiento imparable del autoconsumo fotovoltaico», *Endesa*, 31 de julio de 2023. <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/aumento-autoconsumo-fotovoltaico-espana> (accedido 13 de agosto de 2023).
- [2] «JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission». https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/ (accedido 10 de agosto de 2023).
- [3] P. P. G. May, «Autoconsumo de energía solar creció un 108 % en España en 2022», *EFEverde*, 14 de febrero de 2023. <https://efeverde.com/autoconsumo-energia-solar-108-espana-2022/> (accedido 19 de marzo de 2023).
- [4] «España podría alcanzar los 30 GW de autoconsumo solar para 2030», *El Periódico de la Energía*, 30 de junio de 2022. <https://elperiodicodelaenergia.com/espana-podria-alcanzar-los-30-gw-de-autoconsumo-solar-para-2030/> (accedido 20 de noviembre de 2022).
- [5] «Subvenciones de placas solares: cuáles hay y cómo se piden», *Selectra*. <https://selectra.es/autoconsumo/info/normativa/subvenciones> (accedido 19 de marzo de 2023).
- [6] «¿Qué son las comunidades solares y como funcionan?», *REPSOL*. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/comunidades-solares/index.cshtml> (accedido 27 de marzo de 2023).
- [7] Isaac Quetzal, «Qué es una comunidad solar con autoconsumo compartido», *Quetzal Ingeniería*, 4 de mayo de 2020. <https://www.quetzalingeneria.es/comunidad-solar-autoconsumo-compartido/> (accedido 17 de julio de 2023).
- [8] P. P. de León, «Huertos solares: Qué son, Costes y Rentabilidad en 2023», *The Eco Experts*, 28 de octubre de 2022. <https://www.theecoexperts.com/es/placas-solares/huerto-solar> (accedido 13 de agosto de 2023).
- [9] I. CORPORATIVA, «El autoconsumo eléctrico, ¿conoces sus claves y las posibilidades que ofrece?», *Iberdrola*. <https://www.iberdrola.com/innovacion/autoconsumo-electrico> (accedido 19 de marzo de 2023).
- [10] «Autoconsumo Con Excedentes Y Sin Excedentes Guía 2023», 9 de diciembre de 2019. <https://gruposuroeste.es/blog/autoconsumo-con-excedentes-y-sin-excedentes-guia-2019/> (accedido 19 de marzo de 2023).
- [11] «El autoconsumo generó en España el 1,8% de la demanda eléctrica en 2022», *El Periódico de la Energía*, 13 de febrero de 2023. <https://elperiodicodelaenergia.com/autoconsumo-genero-espana-18-demanda-electrica-2022/> (accedido 19 de marzo de 2023).
- [12] «España ya está entre los 10 países con más potencia de fotovoltaica instalada», *ELMUNDO*, 3 de octubre de 2022. <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/medio-ambiente/2022/10/03/633b0beae4d4d87e748b45e8.html> (accedido 20 de noviembre de 2022).

- [13] «Solar fotovoltaica: países con mayor potencia instalada en 2022», *Statista*. <https://es.statista.com/estadisticas/641225/potencia-solar-fotovoltaica-instalada-por-paises/> (accedido 13 de agosto de 2023).
- [14] C. V. Gutiérrez, «Normativa de autoconsumo en España vs países UE», *POWER*, 7 de enero de 2022. <https://powen.es/normativa-autoconsumo-espana-versus-ue/> (accedido 13 de agosto de 2023).
- [15] Viaintermedia.com, «Fotovoltaica - Alemania produjo el año pasado más electricidad solar que Italia, Portugal y España juntas», *Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias.*, 24 de agosto de 2022. <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/alemania-produjo-el-ano-pasado-mas-electricidad-20220526> (accedido 13 de agosto de 2023).
- [16] «El mercado fotovoltaico italiano brilla más que nunca | Artículos y entrevistas», *Energética XXI, revista de noticias de energía, biomasa, eólica, fotovoltaica, solar, autoconsumo*. <https://energetica21.com/articulos-y-entrevistas-online-ver/el-mercado-fotovoltaico-italiano-brilla-mas-que-nunca> (accedido 13 de agosto de 2023).
- [17] «Después de Alemania, Holanda anuncia que eliminará el IVA de autoconsumos residenciales», *pv magazine España*, 22 de septiembre de 2022. <https://www.pv-magazine.es/2022/09/22/despues-de-alemania-holanda-anuncia-que-eliminara-el-iva-de-autoconsumos-residenciales/> (accedido 13 de agosto de 2023).
- [18] «España podría alcanzar los 30 GW de autoconsumo solar para 2030», *El Periódico de la Energía*, 30 de junio de 2022. <https://elperiodicodelaenergia.com/espana-podria-alcanzar-los-30-gw-de-autoconsumo-solar-para-2030/> (accedido 19 de marzo de 2023).
- [19] «¿Cuál es el futuro del autoconsumo en España?», *Endesa*, 1 de junio de 2023. <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/autoconsumo/futuro-autoconsumo-espana> (accedido 13 de agosto de 2023).
- [20] «Solar fotovoltaica: autoconsumo en España 2020», *Statista*. <https://es.statista.com/estadisticas/1184253/solar-fotovoltaica-interes-en-el-autoconsumo-espana/> (accedido 17 de julio de 2023).
- [21] «Horas luz solar». <https://www.hogarsense.es/placas-solares/horas-luz-solar> (accedido 17 de julio de 2023).
- [22] V. Momparler, «Tipos de Tarifas Eléctricas: ¿Cuál Debo Contratar?», *Plenitude*, 27 de enero de 2023. <https://eniplenitude.es/blog/energia/tipos-de-tarifas-electricas/> (accedido 17 de julio de 2023).
- [23] «Tarifas de electricidad | Octopus Energy». <https://octopusenergy.es/precios> (accedido 11 de agosto de 2023).
- [24] «Plan Vehículo Eléctrico: Tarifas para Coches Eléctricos - IBERDROLA». <https://www.iberdrola.es/smart-mobility/plan-vehiculo-electrico> (accedido 11 de agosto de 2023).
- [25] «Consumo medio de luz y gas en una casa: ¿Cuánto es y cómo se calcula?», *comparadorluz.com*. <https://comparadorluz.com/faq/consumo-medio-casa> (accedido 4 de agosto de 2023).
- [26] «¿Qué potencia necesitan los electrodomésticos? - IBERDROLA». <https://www.iberdrola.es/blog/energia/cual-es-la-potencia-necesaria-para-los-electrodomesticos> (accedido 4 de agosto de 2023).

- [27] «Factura de la luz: desglose y explicación de conceptos», *Selectra*. <https://selectra.es/energia/info/que-es/factura-luz> (accedido 10 de agosto de 2023).
- [28] «¿Cuál es el número de horas solares anuales en España por provincia?», *Selectra*. <https://selectra.es/autoconsumo/info/provincias> (accedido 28 de marzo de 2023).
- [29] «Pérdidas en un Sistema Fotovoltaico», *Inergy Suministro*, 6 de enero de 2021. <https://www.inergy.com.mx/post/pérdidas-en-un-sistema-fotovoltaico> (accedido 10 de agosto de 2023).
- [30] «¿Cómo montar placas solares? 3 pasos para su instalación», *Selectra*. <https://selectra.es/autoconsumo/info/instalacion> (accedido 10 de agosto de 2023).
- [31] «Subvenciones de instalación de placas solares en Cataluña 2023», *Climate Consulting*, 10 de agosto de 2022. <https://climate.selectra.com/es/placas-solares/subvenciones/cataluna> (accedido 29 de marzo de 2023).
- [32] Ó. C. Molinero, «Coches eléctricos en España: ¿cuántos hay? ¿cuánto cuestan?», *Nobbot*, 27 de abril de 2023. <https://www.nobbot.com/coches-electricos-espana/> (accedido 11 de agosto de 2023).
- [33] «Objetivo España: 5 millones de vehículos eléctricos para 2030», *Grant Thornton España*. <https://www.grantthornton.es/sala-de-prensa/2022/espana-tiene-uno-de-los-parques-automovilisticos-mas-envejecidos-de-europa-y-necesita-llegar-en-2030-a-5-millones-de-vehiculos-electricos/> (accedido 11 de agosto de 2023).
- [34] «Peugeot e-208 & 208 térmico: tu coche urbano | Peugeot España». <https://www.peugeot.es/gama/peugeot-e-208.html> (accedido 11 de agosto de 2023).
- [35] softtek, «Plan Moves III en Cataluña», *Ofertas Energía Hoy*, 3 de mayo de 2023. <https://ofertasenergiahoy.com/subvenciones-al-plan-moves-iii-en-cataluna-tramites-necesarios/> (accedido 11 de agosto de 2023).
- [36] «¿Qué es la Aerotermia? Precio de su instalación en 2023», *preciogas.com*. <https://preciogas.com/instalaciones/aerotermia> (accedido 12 de agosto de 2023).
- [37] «6 de cada 10 españoles se plantea cambiar su sistema de climatización, con la aerotermia a la cabeza», *Interempresas*. <https://www.interempresas.net/Climatizacion/Articulos/486435-6-de-cada-10-espanoles-se-plantea-cambiar-su-sistema-de-climatizacion.html> (accedido 12 de agosto de 2023).
- [38] «Saunier Duval». <http://www.saunierduval.es/para-el-profesional/servicios/calculadora-para-aerotermia-y-sistemas-hibridos/> (accedido 12 de agosto de 2023).

ANEXO ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos de España para el autoconsumo están marcados por los Objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales fueron aprobados en 2015 en la Asamblea General de las Naciones Unidas.

Este proyecto se alinea con los siguientes objetivos:

- Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante.
- Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles.
- Objetivo 13: Acción por el clima.

El autoconsumo, y por tanto este proyecto, están directamente relacionados con estos tres objetivos ya que todos tienen un factor en común y es la lucha contra el cambio climático desde la perspectiva de la energía. En este proyecto se estudia la rentabilidad que supone para un consumidor estándar instalar placas solares en su vivienda, con diferentes factores y ayudar al cambio a la movilidad y calefacción eléctrica, lo que supone la producción de energía limpia y ayuda a alcanzar el objetivo de conseguir ciudades totalmente sostenibles.