

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Dimensionamiento óptimo de instalación doméstica  
de autoconsumo fotovoltaico bajo el RD 244/2019 e  
implementación informática

Autor: Rafael Benjumea Domínguez

Tutores: Catalina Gómez Quiles

Antonio Gómez Expósito

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

Sevilla, 2020





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

# **Dimensionamiento óptimo de instalación doméstica de autoconsumo fotovoltaico bajo el RD 244/2019 e implementación informática**

Autor:

Rafael Benjumea Domínguez

Tutora:

Catalina Gómez Quiles

Profesora titular de Universidad

Antonio Gómez Expósito

Catedrático de Universidad

Dpto. de Ingeniería Eléctrica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado: Dimensionamiento óptimo de instalación doméstica de autoconsumo fotovoltaico bajo el RD 244/2019 e implementación informática

Autor: Rafael Benjumea Domínguez

Tutores: Catalina Gómez Quiles

Antonio Gómez Expósito

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal



*El tiempo no existe, por eso no  
hay que perderlo.*

*- “El Príncipe de la Niebla”,  
Carlos Ruiz Zafón -*





# Agradecimientos

---

El siguiente texto es el fruto del aprendizaje de los últimos años y más concretamente del trabajo realizado en los últimos meses, marcados por la pandemia de la COVID-19. Durante este tiempo he recibido el apoyo, de una u otra manera, de muchas personas a las que me gustaría mostrar mi gratitud.

En primer lugar, me gustaría agradecer a las 415 personas que se molestaron en rellenar y difundir la encuesta lanzada para sentar algunas ideas con vistas a este proyecto.

A mi familia por todo lo que me ha dado; por permitirme estudiar y redactar este texto sin tener que preocuparme por que me falte de nada.

A mis tutores, Catalina y Antonio. A este último por su supervisión, por iluminarme con su experiencia en momentos de duda y por su voluntad de hacer sugerencias interesantes para el proyecto; a Catalina por sus propuestas, su disposición, sus consejos y sus correcciones. La ayuda de ambos es responsable de que este trabajo haya llegado a buen término.

A mis amigos, de todos los ámbitos: los de siempre y los más recientes, los ingenieros y los músicos, los que viven aquí o allá pero siempre están cerca. Con ellos he tenido la oportunidad de debatir, intercambiar ideas y demás quehaceres del ámbito académico, pero también me han permitido evadirme y encontrar el descanso, que a veces tanto se necesita, en las cosas más simples.

*Rafael Benjumea Domínguez*

*Arahal, julio de 2020*



# Resumen

---

Vivimos en una sociedad cada vez más preocupada por el planeta, por lo que se van llevando a cabo medidas que contribuyen a su conservación, junto a una mejor calidad de vida de sus habitantes, recogidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible; una de ellas es el uso de energías renovables. El siguiente texto versará sobre la energía fotovoltaica, concretamente acerca de las instalaciones de autoconsumo, ya que han sufrido en España un cambio de legislación con el RD 244/2019. Este trabajo buscará ayudar a que los usuarios conozcan las dimensiones de potencia instalada y capacidad de las baterías de su instalación de forma que la inversión se devuelva en el plazo de tiempo más corto posible.

Para ello se hace un repaso del efecto fotovoltaico y se reflejan sus dependencias con lugar y tiempo. También se comentarán los elementos que componen la instalación fotovoltaica y sus aportes al coste total. Además, veremos que dicho coste a veces se verá aliviado por subvenciones o por deducciones fiscales.

Por otra parte, se estudia lo que realmente se ahorra de consumo eléctrico, viendo las diferencias que suponen tener distintas modalidades de consumo (2.0A y 2.0DHA) tanto en la distribución horaria del propio consumo como en el precio de la energía. El texto se adentrará en la factura total, que es el todo del que el consumo energético sólo es parte, y en el ahorro que se produce en ella con una instalación fotovoltaica.

Con el coste de la instalación y el ahorro que nos supone al mismo tiempo, se estudia la viabilidad económica del proyecto mediante el tiempo de retorno actualizado. Para conseguir el cálculo del dimensionamiento óptimo que nos da el menor tiempo de retorno, se implementa en una aplicación informática, *Fotovoltín*.



# Abstract

---

We live in a society more and more concerned about the planet, so measures are being performed in order to contribute to its conservation, besides a better well-being of its inhabitants, and they are gathered in the Sustainable Development Goals; one of them is the use of renewable energies. This text will be about photovoltaic energy, especially self-consumption installations, due to the change of legislation occurred in Spain by the RD 244/2019. This project will attempt to help users to know the installed power and battery capacity sizing of their installations in order to the investment to be recovered as soon as possible.

For that purpose, a review about photovoltaic effect is done and its dependencies with space and place are shown. Elements that constitute the installation will be discussed too, as well as their portion on the total cost. Furthermore, it will be proven that cost sometimes will be reduced by grants or tax deductions.

Additionally, electricity consumption savings have been studied, approaching the differences between both consumption modalities (2.0A and 2.0DHA) in the hourly distribution of the consumption itself as well as in the energy prices. This text will analyse the electricity bill, that is a whole of which the energetic consumption is not but a part, and the saving that is produced in it with a photovoltaic installation as well.

Having the installation total cost and the saving that it implies, it is possible to study the economic viability of the project using the discounted payback period. To achieve the calculation of the optimal sizing, which means the minimal payback period, a computer program has been implemented, *Fotovoltin*.



# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xv</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xvii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xix</b>
<b>Notación</b>	<b>xxiii</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto y objetivos	2
1.2 Encuesta realizada	5
1.2.1 Energías renovables y autoconsumo fotovoltaico	5
1.2.2 Consumo y factura eléctricos	9
<b>2 Energía fotovoltaica</b>	<b>15</b>
2.1 Radiación solar	16
2.1.1 Potencia del Sol	16
2.1.2 Espectro electromagnético	16
2.2 Fundamentos de la energía fotovoltaica	17
2.2.1 Historia	17
2.2.2 Unión PN	18
2.3 Irradiancia y producción de la energía fotovoltaica	18
2.3.1 Dependencia de la ubicación geográfica	19
2.3.2 Dependencia de la ubicación temporal	21
2.3.3 Dependencia de la orientación	22
2.3.4 Producción fotovoltaica	22

<b>3</b>	<b>Instalación fotovoltaica. Elementos y coste</b>	<b>27</b>
3.1	<i>Elementos</i>	27
3.1.1	Elementos principales	27
3.1.2	Otros elementos	36
3.2	<i>Obra y materiales</i>	36
3.3	<i>Legalización</i>	36
3.4	<i>Costes totales</i>	36
3.5	<i>Incentivos económicos</i>	38
3.5.1	Subvenciones directas	38
3.5.2	Bonificaciones fiscales	39
3.6	<i>Coste ambiental</i>	39
<b>4</b>	<b>Consumo</b>	<b>41</b>
4.1	<i>Consumo eléctrico</i>	41
4.2	<i>Consumo económico</i>	47
4.3	<i>Factura eléctrica</i>	49
<b>5</b>	<b>Viabilidad</b>	<b>53</b>
5.1	<i>Viabilidad económica</i>	53
5.1.1	Valor Actual Neto	53
5.1.2	Tasa Interna de Retorno	54
5.1.3	Tiempo de retorno	55
5.2	<i>Viabilidad técnica</i>	59
<b>6</b>	<b>Metodología</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>Simulaciones</b>	<b>65</b>
7.1	<i>Ejemplo de simulación</i>	65
7.2	<i>Simulaciones y análisis de resultados</i>	67
<b>8</b>	<b>Conclusiones y trabajos futuros</b>	<b>69</b>
	<b>Anexo A: Encuesta</b>	<b>71</b>
	<b>Anexo B: Manual de usuario de Fotovoltín</b>	<b>79</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>83</b>
	<b>Glosario</b>	<b>91</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1-1. Registro de potencia de autoconsumo fotovoltaico del RD 900/2015 (noviembre 2018)[17]	5
Tabla 3-1. Precios de inversores en función de su potencia[46]. Elaboración propia	30
Tabla 3-2. Precios de baterías fotovoltaicas en función de su capacidad[46]. Elaboración propia	33
Tabla 4-1. Ejemplo de factura anual para un consumo 2.0A. Elaboración propia	50
Tabla 4-2. Ejemplo de factura anual para un consumo 2.0DHA. Elaboración propia	50
Tabla 4-3. Ejemplo de ahorro con distintas instalaciones para consumo 2.0A y 2.0DHA. Elaboración propia	50
Tabla 7-1. Resumen de resultados para el caso real anónimo. Elaboración propia	66



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1-1. Foto de una manifestación contra el cambio climático[2]	1
Figura 1-2. Capacidad fotovoltaica instalada mensualmente en España[10]	2
Figura 1-3. Fragmento de las interacciones entre el PNIEC y los ODS[14]	3
Figura 1-4. Estimación de la potencia instalada de autoconsumo fotovoltaico[17]	4
Figura 1-5. Grado de conocimiento de diferentes tecnologías de energía renovable	6
Figura 1-6. Diagrama del funcionamiento de una bomba de calor[21]	6
Figura 1-7. Dique de la central undimotriz de Mutriku[23]	7
Figura 1-8. Recuento de encuestados que tienen autoconsumo mediante placas fotovoltaicas	8
Figura 1-9. Recuento de encuestados que conocen a alguien que tiene autoconsumo mediante placas fotovoltaicas	8
Figura 1-10. Recuento de encuestados que saben qué es el autoconsumo colectivo	8
Figura 1-11. Recuentos de encuestados a los que le ayudaría a decidir si instalar placas fotovoltaicas si supieran cuánto ahorran en la factura y el tiempo en el que recuperan la inversión	9
Figura 1-12. Recuentos de encuestados que se decidirían por instalar placas fotovoltaicas con subvención	9
Figura 1-13. Recuento de encuestados que saben con quién tienen contratado el suministro	10
Figura 1-14. Recuento de encuestados que saben qué es el PVPC	10
Figura 1-15. Recuento de encuestados que tienen contratado PVPC	10
Figura 1-16. Recuento de encuestados que saben qué es la potencia contratada	11
Figura 1-17. Recuento de encuestados que saben cuál es su potencia contratada	11
Figura 1-18. Recuento de los encuestados que saben qué es la tarifa de discriminación horaria	11
Figura 1-19. Recuento de encuestados que tienen contratada discriminación horaria	12
Figura 1-20. Recuento de encuestados que saben qué es la Tarifa 2.0TD	12
Figura 1-21. Recuento de encuestados que saben qué es el bono eléctrico	12

Figura 1-22. Recuento de encuestados que saben qué es la pobreza energética	13
Figura 1-23. Precios de electricidad para consumidores domésticos[29]	13
Figura 2-1. Ilustración de comparación entre Sol y Tierra[32]	15
Figura 2-2. Espectro electromagnético de las ondas[35]	16
Figura 2-3. Radiación del cuerpo negro, radiación que llega a la atmósfera y la que llega a la superficie[36]	16
Figura 2-4. Célula fotovoltaica de Charles Fritts[38]	17
Figura 2-5. Esquema del efecto fotoeléctrico[37]	17
Figura 2-6. Configuraciones electrónicas de las estructuras P y N que conforman la unión PN[41]	18
Figura 2-7. Representación de las capas de una celda fotovoltaica[38]	18
Figura 2-8. Mapa de la irradiancia global media en Europa, norte de África y oeste de Asia[42]	19
Figura 2-9. Datos de irradiancia global media ( $\text{kWh m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) en distintas capitales europeas[34]	19
Figura 2-10. Zonas climáticas de España[42]	20
Figura 2-11. Datos de irradiancia global media diaria en las capitales de provincia de España[34]	20
Figura 2-12. Irradiancia global media en España en primavera, verano, otoño e invierno (de izquierda a derecha y de arriba a abajo)[34]	21
Figura 2-13. Gráfica del horizonte con alturas solares (junio y diciembre) y ojo de pez de la ubicación[44]	21
Figura 2-14. Orientación de la irradiancia solar con las variables que la definen[39]	22
Figura 2-15. Niveles de irradiancia mensual en municipios lejanos[43]	23
Figura 2-16. Irradiancia media diaria de octubre[43]	23
Figura 2-17. Producción de energía fotovoltaica mensual en municipios lejanos[43]	24
Figura 2-18. Producción fotovoltaica del 27 de mayo. Elaboración propia. Fuente: PVGIS[43]	24
Figura 2-19. Producción fotovoltaica del 22 de noviembre. Elaboración propia. Fuente: PVGIS[43]	24
Figura 3-1. Esquema de una instalación fotovoltaica con los elementos principales[46]	28
Figura 3-2. Silicio monocristalino, policristalino y amorfo (de izquierda a derecha)[38]	28
Figura 3-3. Placa fotovoltaica[49]	28
Figura 3-4. Precio del Wp de los paneles en función de la potencia instalada según la Ley de Swanson[51]	29
Figura 3-5. Precio del Wp de los paneles desde 1977 hasta 2015[52]	29
Figura 3-6. Inversor fotovoltaico[46]	30
Figura 3-7. Gráficas Tensión-Intensidad (arriba) y Tensión-Potencia (abajo) para distintas irradiancias y su punto de máxima potencia[38]	30
Figura 3-8. Escalado de costes del inversor fotovoltaico. Elaboración propia	32
Figura 3-9. Batería de ión litio[46]	32
Figura 3-10. Ciclos de carga y descarga frente a la profundidad de descarga[59]	33
Figura 3-11. Escalado de costes de la batería de ión litio en función de su capacidad de almacenamiento. Elaboración propia	35
Figura 3-12. Variación de los precios de las baterías de ión-litio y estimación del futuro[17]	35
Figura 3-13. Placas fotovoltaicas con estructura metálica de soporte con inclinación fija[38]	36
Figura 3-14. Costes totales de la instalación en función de potencia y almacenamiento. Elaboración propia	

	37
Figura 3-15. Coste total de la instalación en función de la potencia con distintos almacenamientos (0,5 kWh y 5 kWh). Elaboración propia	37
Figura 3-16. Coste total de la instalación en función del almacenamiento con distintas potencias (0,27 kWp y 2,7 kWp). Elaboración propia	38
Figura 3-17. Emisiones evitadas por tipo de fuente primaria[17]	39
Figura 4-1. Consumo eléctrico medio residencial mensual de 2.0A y 2.0DHA, en Comercializadoras Oficial de Referencia (COR) y mercado libre[90]	42
Figura 4-2. Perfiles de consumo 2.0A y 2.0DHA del 27 de mayo. Elaboración propia.	42
Figura 4-3. Perfiles de consumo 2.0A y 2.0DHA del 22 de noviembre. Elaboración propia	43
Figura 4-4. Consumo 2.0A con producción fotovoltaica: 0,27 y 1,35 kWp. Elaboración propia	43
Figura 4-5. Consumo 2.0DHA con producción fotovoltaica: 0,27 y 1,35 kWp. Elaboración propia	44
Figura 4-6. Un pato[97]	44
Figura 4-7. Consumo 2.0A con producción fotovoltaica y almacenamiento: 2 y 5 kWh. Elaboración propia	45
Figura 4-8. Consumo 2.0DHA con producción fotovoltaica y almacenamiento: 2 y 5 kWh. Elaboración propia	45
Figura 4-9. Excedentes fotovoltaicos para un consumo 2.0A. Elaboración propia	46
Figura 4-10. Excedentes fotovoltaicos con consumo 2.0DHA. Elaboración propia	47
Figura 4-11. Precio de la energía consumida (2.0A y 2.0DHA) y excedente. Elaboración propia. Fuente: [99]	48
Figura 4-12. Coste 2.0A sin y con compensación de excedentes. Elaboración propia	48
Figura 4-13. Coste 2.0DHA sin y con compensación de excedentes. Elaboración propia	49
Figura 4-14. Ahorro en la factura mediante autoconsumo fotovoltaico con consumo 2.0A en 3 dimensiones. Elaboración propia	51
Figura 4-15. Ahorro en la factura mediante autoconsumo fotovoltaico con consumo 2.0A. Elaboración propia	51
Figura 4-16. Ahorro en la factura mediante autoconsumo fotovoltaico con consumo 2.0DHA en 3 dimensiones. Elaboración propia	52
Figura 4-17. Ahorro en la factura mediante autoconsumo fotovoltaico con consumo 2.0DHA. Elaboración propia	52
Figura 5-1. Valor Actual Neto en función de la tasa de descuento. Elaboración propia	54
Figura 5-2. Tiempo de retorno de instalación fotovoltaica sin subvención (consumo 2.0A). Elaboración propia	56
Figura 5-3. Tiempo de retorno de instalación fotovoltaica con subvención (consumo 2.0A). Elaboración propia	56
Figura 5-4. Tiempo de retorno de instalación fotovoltaica sin subvención para un consumo 2.0DHA. Elaboración propia	57
Figura 5-5. Tiempo de retorno de instalación fotovoltaica con subvención para un consumo 2.0DHA. Elaboración propia	57
Figura 5-6. Tiempo de retorno de una instalación fotovoltaica en función de la potencia instalada para distintos almacenamientos con un consumo 2.0A. Elaboración propia	58
Figura 5-7. Tiempo de retorno de una instalación fotovoltaica en función del almacenamiento para distintas potencias instaladas con un consumo 2.0A. Elaboración propia	58

Figura 5-8. Tiempo de retorno de una instalación fotovoltaica en función de la potencia instalada para distintos almacenamientos con un consumo 2.0DHA. Elaboración propia	59
Figura 5-9. Tiempo de retorno de una instalación fotovoltaica en función del almacenamiento para distintas potencias instaladas con un consumo 2.0DHA. Elaboración propia	59
Figura 6-1. Diagrama de flujo del programa. Elaboración propia	62
Figura 6-2. Descripción del proceso seguido por el programa. Elaboración propia	63
Figura 7-1. Potencia instalada óptima para distintas irradiancias y consumos. Elaboración propia	67
Figura 7-2. Almacenamiento en baterías óptimo para distintas irradiancias y consumos. Elaboración propia	67
Figura 7-3. Tiempos de retorno de las instalaciones óptimas para distintos consumos sin y con subvención. Elaboración propia	68

# Notación

---

%	Por ciento
/	Tal que
€	Euro
€·mes <sup>-1</sup>	Euro dividido por mes
<	Menor que
=	Igual a
>	Mayor que
≈	Aproximadamente igual a
≤	Menor o igual que
10 <sup>x</sup>	10 elevado a X
Ah	Amperio-hora
C <sub>0</sub>	Inversión inicial
exp{x}	Función exponencial
G <sub>s</sub>	Constante solar
K	Kelvin
kg	Kilogramo
k <sub>n</sub>	Tasa de descuento del año n
ktCO <sub>2</sub>	Kilotonelada de dióxido de carbono
k <sub>TIR</sub>	Tasa interna de retorno

kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio-hora
$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$	Kilovatio-hora dividido por metro cuadrado y por día
kWp	Kilovatio pico
$\lim_{N \rightarrow \infty}$	Límite de cuando N tiende a infinito
ln	Logarimo natural
$\text{m}^2$	Metro cuadrado
mín (n)	Mínimo de n
mm	Milímetro
mtCO <sub>2</sub>	Megatonelada de dióxido de carbono
MW	Megavatio
$P_X^{Y=Z}$	Potencia en forma de X vista por Y recibida desde Z
$Q_n$	Flujo de caja del año n
$t_{RA}$	Tiempo de retorno actualizado
$t_{RS}$	Tiempo de retorno simple
$T_X$	Temperatura de X
$\text{VAN} (k_{TIR})$	Valor actual neto con una tasa de descuento igual a la tasa interna de retorno
$\text{VAN} (t_{RA})$	Valor actual neto contando flujos de caja hasta el año $t_{RA}$
W	Vatio
$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	Vatio dividido por metro cuadrado
Wh	Vatio-hora
Wp	Vatio pico
$\alpha$	Exponente de factorización de tamaño
$\gamma_S$	Altura o ángulo solar
$\eta_{\text{Bomba de calor}}$	Rendimiento de la bomba de calor
$\theta_S$	Ángulo zenital
$\prod_{n=1}^N$	Productorio desde n igual a 1 hasta n igual a N
$\sum_{n=1}^N$	Sumatorio desde n igual a 1 hasta n igual N
$\sum_{n=1}^{t_{RS}}$	Sumatorio desde n igual a 1 hasta n igual al tiempo de retorno simple
$\psi_S$	Ángulo azimutal o azimut



# 1 INTRODUCCIÓN

---

*Here comes the Sun.*

*- The Beatles -*

Vivimos en una sociedad cada vez más concienciada con el Medioambiente, es decir, con el “conjunto de componentes físicos, químicos y biológicos externos con los que interactúan los seres vivos”[1]; éste es un hecho que se puede comprobar en nuestro día a día en todos los niveles. Comenzando este análisis por la sociedad civil, se puede apreciar cómo ha aumentado la preocupación y concienciación de ésta, así como su organización y visibilidad[2].



Figura 1-1. Foto de una manifestación contra el cambio climático[2]

Asimismo, se puede observar la misma tendencia en la clase política y gobiernos del mundo; parece que la apuesta de éstos por el uso de energías renovables es nota dominante en la agenda política, dando lugar a lo que parece un pugilato de las naciones por liderar la producción energética con estas fuentes no contaminantes. Prueba de ello es Portugal, que no conformándose con consumir sólo con energía producida mediante fuentes renovables durante 4 días consecutivos en mayo de 2016[3], se superó abasteciéndose únicamente de éstas durante el mes entero de marzo de 2018 ininterrumpidamente[4].

## 1.1 Contexto y objetivos

En cuanto a España, podemos destacar algunas medidas por parte del Gobierno de la Nación, poniendo como punto de partida junio de 2018, con la creación del Ministerio para la Transición Ecológica[5](MITECO). Este ministerio se mantendrá más adelante en 2020[6], quedando patente la importancia que tiene el modelo energético del país.

Una de las primeras medidas (octubre de 2018) del MITECO fue un Real Decreto-ley para anunciar una serie de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores[7]. En él se destaca la relevancia del autoconsumo eléctrico renovable en la búsqueda del acceso de los consumidores a una energía menos costosa y menos contaminante. Además, achaca el subdesarrollo del autoconsumo eléctrico en España a la normativa que lo regulaba hasta entonces[8], el Real Decreto 900/2015, al que señala por imposibilitar la viabilidad económica de este tipo de instalaciones para el consumidor. Por eso deroga varios artículos de ella junto a otros de la Ley 24/2013, del Sector Eléctrico.

El Real Decreto 900/2015 ya había sido cuestionado por la Unión Española Fotovoltaica (UNEF)[9] por introducir el peaje de respaldo o lo que popularmente se llamó el “Impuesto al Sol”, ya que para algunas instalaciones había “cargos transitorios por energía autoconsumida”. Además, se introducían cargos por potencia instalada en caso de que la instalación incluyera baterías que permitieran reducir la potencia contratada del consumidor.

Asimismo, la controversia de esta normativa también había llegado al Parlamento Europeo en forma de un estudio[10] en el que se hace un análisis a la producción fotovoltaica en general y otro específico para el autoconsumo de varios países, entre los que se encuentra España. En el informe no hay datos del crecimiento específico de la capacidad de instalaciones de autoconsumo, pero sí fotovoltaica en general, pudiéndose observar que, tras alcanzar su apogeo en 2008, llega a su mínimo en 2009.

Por tanto, concluye que, si bien las condiciones para la inversión en energía fotovoltaica no eran las mejores en el momento, la ley empeoraba la situación del autoconsumo en España.

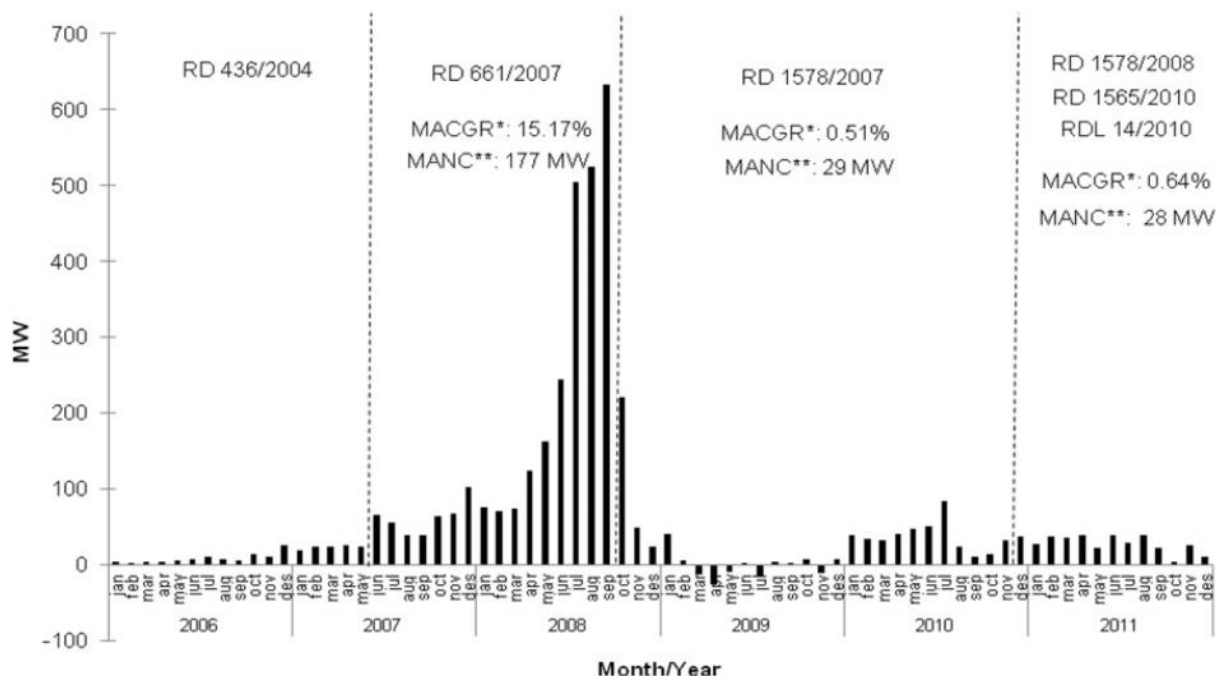


Figura 1-2. Capacidad fotovoltaica instalada mensualmente en España[10]

Así, el Real Decreto-ley de medidas urgentes modifica y prepara las condiciones del autoconsumo para una transición de legislación que culminará en abril de 2019[11]: el Real Decreto 244/2019. En él se eliminan los cargos y peajes a la energía autoconsumida que tenga producción de origen renovable. Además, se implanta una nueva clasificación de modalidades de autoconsumo:

- Modalidad de suministro con autoconsumo sin excedentes: la instalación incluye un mecanismo antivertido que impide la inyección de excedentes a la red eléctrica.
- Modalidad de suministro con excedentes: la instalación de producción (próxima y asociada a la de consumo) podrá dar energía para autoconsumo e inyectar a la red el excedente. Se divide a su vez en:
  - a) Modalidad con excedentes acogida a compensación: el consumidor y productor se acogen voluntariamente a un régimen de compensación de excedentes. Para esta modalidad además se deben cumplir varios requisitos como que la fuente de energía sea renovable (como es el caso fotovoltaico) y que la potencia de las instalaciones de producción sea menor a 100 kW, entre otros.
  - b) Modalidad con excedentes no acogida a compensación: los que no cumplan los requisitos de a) o los que no se quieran acoger voluntariamente a éste.

Asimismo, existe otra clasificación en función del número de consumidores que estén asociados a la instalación de producción:

- Individual: existe un sólo consumidor asociado a la instalación.
- Colectivo: existen varios consumidores asociados a la instalación, que además deberán estar acogidos al mismo régimen de autoconsumo.

El presente texto se centrará en el autoconsumo fotovoltaico individual en modalidad con excedentes acogida a compensación; el método de compensación está definido como Mecanismo de compensación simplificada[11]. No por ello se debe menoscabar la modalidad colectiva, cuya importancia se destaca, por ejemplo, en la Estrategia Nacional de Lucha contra la Pobreza Energética[12].

Queda justificado, por tanto, este estudio por la importancia que tiene el autoconsumo fotovoltaico en el paradigma energético. A nivel de política nacional esta relevancia queda plasmada en la búsqueda del cumplimiento de algunos de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030[13][14]; en concreto, el desarrollo del autoconsumo con renovables y la generación distribuida quedan suscritos a la consecución de 8 de ellos:

- Objetivo 1: Fin de la pobreza
- Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante
- Objetivo 8: Trabajo decente y crecimiento económico
- Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura
- Objetivo 10: Reducción de las desigualdades
- Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles
- Objetivo 13: Acción por el clima
- Objetivo 16: Paz, justicia e instituciones sólidas



Figura 1-3. Fragmento de las interacciones entre el PNIEC y los ODS[14]

Podemos apreciar en la Figura 1-3 que también está presente entre las medidas del borrador del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, concretándose en la “Medida 1.4. Desarrollo del autoconsumo con renovables y la generación distribuida”[14]. Aunque es un documento no definitivo, presenta el autoconsumo como:

- Punto de partida para las comunidades energéticas locales
- Lucha contra la Pobreza Energética
- Medida de competitividad

Para lograr esto, se plantean distintos mecanismos de actuación, entre varios se pueden destacar:

- Una Estrategia Nacional de Autoconsumo
- Medidas de fomento desde ámbito local
- El impulso del autoconsumo en sectores vulnerables
- Un manual para el autoconsumo en entornos urbanos

En vista de estos mecanismos es importante nombrar también el papel que están desempeñando administraciones más pequeñas como ayuntamientos que incentivan este tipo de instalaciones[15] y que facilitan el acceso de la ciudadanía a ellas.

Si al lector le satisfacen más las cifras, en 2019 la potencia fotovoltaica de autoconsumo de nueva instalación fue de 459 MW, el doble del dato de 2018, 235 MW[16]. La UNEF estima que el 90% de esos 459 MW fueron en instalaciones conectadas a red, mientras el 10% a instalaciones aisladas; si el reparto se hace por sectores queda de la siguiente forma: 50-60% sector industrial, 40-30% sector comercial y 10% sector residencial.

Para determinar la idoneidad del nuevo sistema de autoconsumo habrá que esperar, pero mientras tanto tenemos los datos de la estimación de potencia instalada de autoconsumo fotovoltaico de los últimos años[17], en los que ya se apreciaba una tendencia creciente que se ha hiperbolizado.

#### Estimación de la potencia instalada de autoconsumo fotovoltaico

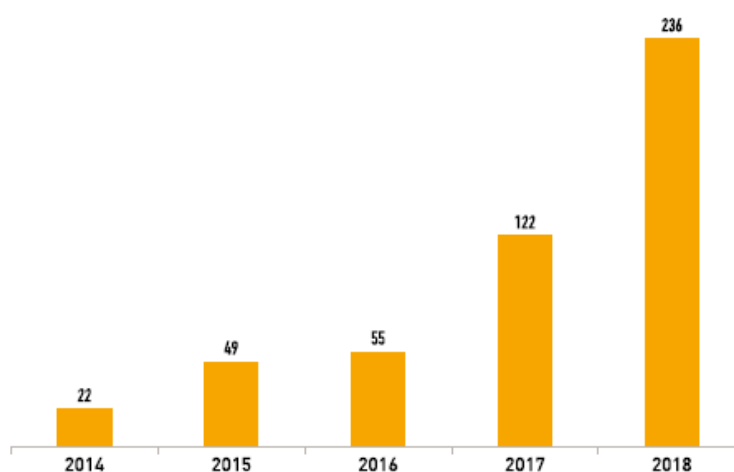


Figura 1-4. Estimación de la potencia instalada de autoconsumo fotovoltaico[17]

A pesar de la abismal diferencia si comparamos con los datos del registro de autoconsumo del RD 900/2015[17], éste nos puede dar una proporción de cómo se reparte en España; cabe destacar el bajo autoconsumo en el norteste de la península (Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco), mientras que mientras nos acercamos al sur y al oeste se puede apreciar que la potencia fotovoltaica instalada aumenta, así como el número de instalaciones, destacando los datos de Andalucía y Cataluña.

Para el tratamiento de datos a nivel estadístico, el RD 244/2019 establece un nuevo registro administrativo a nivel de Comunidades y Ciudades Autónomas con el propósito de reunir los datos y evitar las discrepancias que estamos viendo entre distintas fuentes y así poder evaluar la evolución del autoconsumo en España.

Tabla 1-1. Registro de potencia de autoconsumo fotovoltaico del RD 900/2015 (noviembre 2018)[17]

Comunidades Autónomas	Tipo 1 P < 10 KW		Tipo 1 P > 10 KW		Tipo 2	
	Número de instalaciones	Potencia Instalada (kW)	Número de instalaciones	Potencia Instalada (kW)	Número de instalaciones	Potencia Instalada (kW)
ANDALUCIA	102	344	28	819	6	772
ARAGON	2	6	3	93	5	594
BALEARES	6	28	3	34	8	499
C. LA MANGHA	17	58	6	126	1	14
C. VALENCIANA	16	51	6	91	3	299
CANARIAS	4	10	13	296	1	91
CANTABRIA	0	0	0	0	0	0
C. Y LEÓN	3	10	3	62	0	0
CATALUÑA	110	350	35	350	15	1.161
EXTREMADURA	6	19	0	0	0	0
GALICIA	0	0	0	0	0	0
LA RIOJA	3	15	3	48	0	0
MADRID	19	64	5	48	2	187
MURCIA	10	32	8	84	1	53
NAVARRA	1	2	1	10	1	27
PAÍS VASCO	0	0	0	0	0	0
ASTURIAS	0	0	1	6	0	0
CEUTA	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>299</b>	<b>987</b>	<b>115</b>	<b>2.067</b>	<b>43</b>	<b>3.698</b>

Será, por tanto, objetivo de este documento estudiar las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo y en concreto su viabilidad económica aprovechando el cambio de legislación que, al modificar aspectos que las hacían menos atractivas[10], la opción del autoconsumo fotovoltaico puede ser más accesible por más consumidores.

## 1.2 Encuesta realizada

Por lo que se ha presentado en este texto de momento, el objetivo primordial es conocer la viabilidad técnica y posibles ventajas económicas de la generación de energía fotovoltaica de autoconsumo que puedan incentivar su generalización entre consumidores.

Para ello cabría preguntarse qué conoce el consumidor sobre las energías renovables y en concreto sobre la energía fotovoltaica y su uso autogestionado. Además, para estudiar la viabilidad del uso de estas instalaciones hará falta conocer algunos parámetros del régimen de facturación eléctrica, por lo que también es interesante cuestionarse qué se sabe un usuario medio sobre éstos.

Por esto, el autor de este trabajo ha valorado positivamente la idoneidad de realizar una encuesta que refleje los conocimientos de la ciudadanía sobre estos temas, así como con otros asuntos con enfoque energético y social.

### 1.2.1 Energías renovables y autoconsumo fotovoltaico

En una primera tanda de preguntas se intenta sondear el conocimiento sobre tecnologías renovables y sobre el uso concreto del autoconsumo fotovoltaico.

#### 1.2.1.1 Tecnologías de energía renovable

Se muestra a los encuestados una lista de tecnologías o fuentes de energía renovable para que seleccionen las que conocen (si conocen alguna). Con esta pregunta obtenemos unos porcentajes para cada energía por separado, es decir, no se establece relación entre la conciencia de una con la de otra. Las energías elegidas para mostrar son: aerotermia, biomasa, fotovoltaica, geotérmica, hidráulica, eólica, mareomotriz, undimotriz o ninguna, que también podría darse, como de hecho se comprueba con los resultados.

En base a las respuestas, podemos afirmar que las energías renovables están bastante asentadas en la conciencia colectiva, ya que sólo el 0,7% reconoce no conocer ninguna de las energías mostradas en la lista.

Fijándonos ahora sí en las energías en sí, el autor aprecia 3 grados de intensidad de elección en los resultados:

- Poco conocidas.
- Bastante conocidas.
- Muy conocidas.

¿Conoce alguna de estas energías renovables? Indique cuáles

415 respuestas

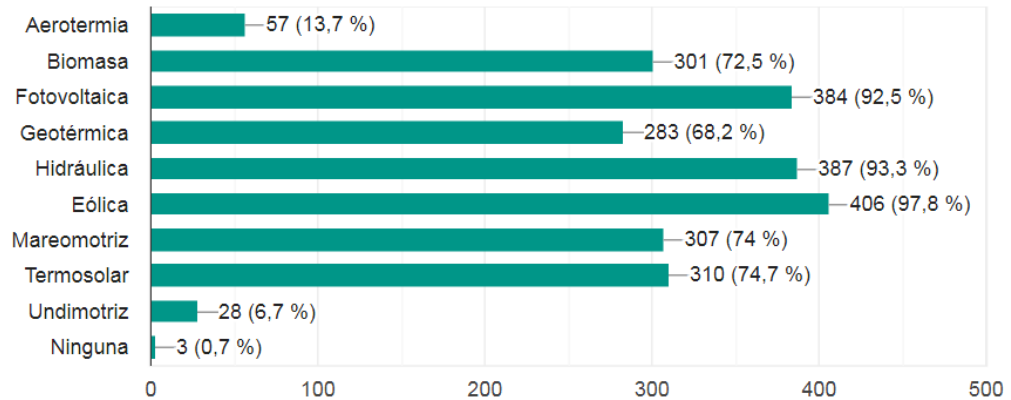


Figura 1-5. Grado de conocimiento de diferentes tecnologías de energía renovable

#### 1.2.1.1.1 Poco conocidas

Se consideran en este trabajo poco conocidas las que obtienen un porcentaje menor al 20% de la muestra. Las que tienen esta característica son la aerotermia y la energía undimotriz.

La energía aerotérmica sólo la conocen un 13,7% de los encuestados, y es aquella almacenada en forma de calor en el aire[18]. Podría haber discusión en cuanto a la consideración de la energía aerotérmica como renovable ya que hay quien defiende que para que se considerara renovable la bomba de calor necesitaría un coeficiente de operatividad o, en su nomenclatura anglosajona, *Coefficient Of Performance* (COP), sólo alcanzable en términos teóricos[19]; sin embargo el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) dependiente del MITECO, basándose en una directiva del Parlamento Europeo, la considera renovable[18][20].

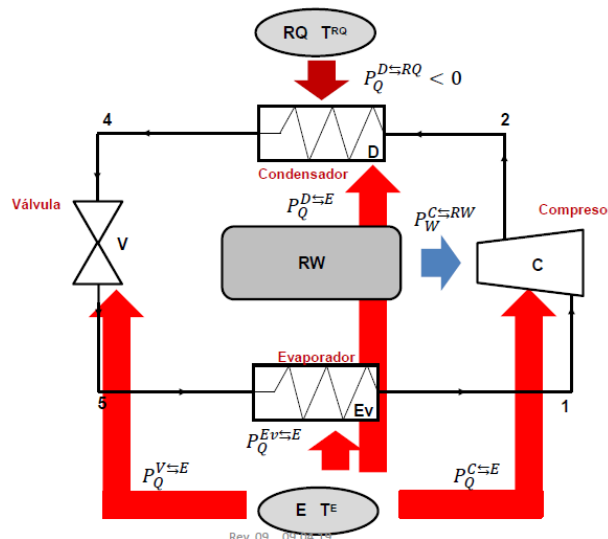


Figura 1-6. Diagrama del funcionamiento de una bomba de calor[21]

$$\eta_{Bomba\ de\ calor} = \frac{-P_Q^{D=RW} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{RQ2}}\right)}{P_W^{C=RW}}$$

Ecuación 1-1

Ecuación del Coefficient Of Performance[21]



La otra gran desconocida para la población es la energía undimotriz, o energía de las olas, que sólo ha sido seleccionada por un 6,7% de los encuestados, la energía con el menor porcentaje. Este dato contrasta con el hecho de que España fue pionera en Europa en su aprovechamiento, instalando la primera central comercial que aprovechaba la energía almacenada en las olas en el puerto de Mutriku (País Vasco) en 2011 [22].



Figura 1-7. Dique de la central undimotriz de Mutriku[23]

#### 1.2.1.1.2 Bastante conocidas

Se considerarán en este apartado a aquellas con un porcentaje mayor al 20% pero menor al 90%. Éstas tienen unos porcentajes más parecidos. La menos conocida (y el porcentaje más alejado de la tendencia) sería la energía geotérmica (68,2%).

Le seguirían la biomasa (72,5%) y la mareomotriz (74%). Llama la atención el dato de la mareomotriz, energía obtenida de la energía de las mareas y, por tanto, al igual que la undimotriz, del mar, aunque teniendo un porcentaje mucho mayor la primera que la segunda.

Para finalizar este apartado, aparece el sol por primera vez como fuente de energía con la termosolar (74,7%).

#### 1.2.1.1.3 Muy conocidas

Se consideran las que tienen un porcentaje mayor al 90%, condición que sólo consiguen 3. La más conocida parece ser la energía eólica (97,8%), seguida de la hidráulica (93,3%). La energía que cierra por lo bajo este *ranking* es la fotovoltaica (92,5%), objeto de estudio de este texto.

La fotovoltaica es la menos conocida de estas 3, sin embargo, hay que reconocer el calado del que goza en la sociedad, llevándole gran ventaja en el grado de conocencia, por ejemplo, a la termosolar, con la que comparte fuente de energía.

#### 1.2.1.2 Autoconsumo fotovoltaico

Como hemos visto, la energía fotovoltaica es ampliamente conocida en la sociedad; también se está intentando fomentar el autoconsumo mediante los cambios de las leyes que lo regulan. Por lo tanto, cabe preguntarse, qué nivel de asentamiento tiene el autoconsumo fotovoltaico en la sociedad española.

Para ello se pregunta a los encuestados si usan ellos mismos autoconsumo fotovoltaico en sus hogares y si conocen a alguien que lo haga. A la primera pregunta, la mayoría (87,5%) responde que no dispone de autoconsumo fotovoltaico para abastecerse eléctricamente, frente a un 12,5% que sí lo tiene. Este dato contrasta con el de las personas que dicen conocer a alguien que tiene autoconsumo (65,8%), es decir, la gran mayoría no dispone de este tipo de instalaciones en sus domicilios, pero una gran parte de los encuestados sí conocen a alguien que las tiene.

¿Tiene autoconsumo mediante placas fotovoltaicas?

415 respuestas

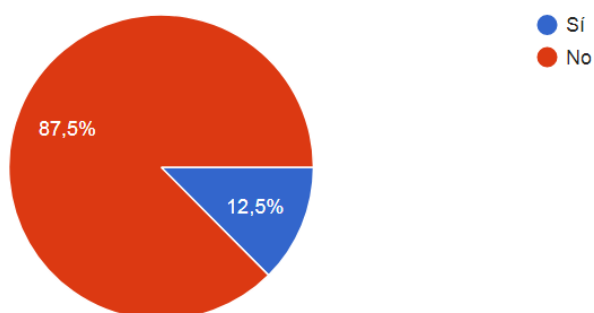


Figura 1-8. Recuento de encuestados que tienen autoconsumo mediante placas fotovoltaicas

¿Conoce a alguien que tenga autoconsumo mediante placas fotovoltaicas?

415 respuestas

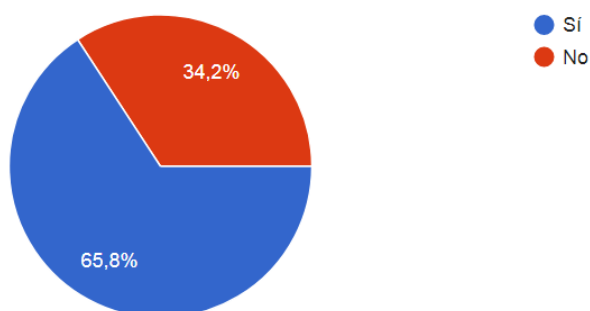


Figura 1-9. Recuento de encuestados que conocen a alguien que tiene autoconsumo mediante placas fotovoltaicas

Aprovechando la incorporación del autoconsumo colectivo en la legislación y a su relevancia en los aspectos ya mencionados, se le pregunta a los encuestados si conocen esta modalidad, descubriéndose que la mayoría (66,3%) no saben de qué se trata.

¿Sabe qué es el autoconsumo colectivo?

415 respuestas

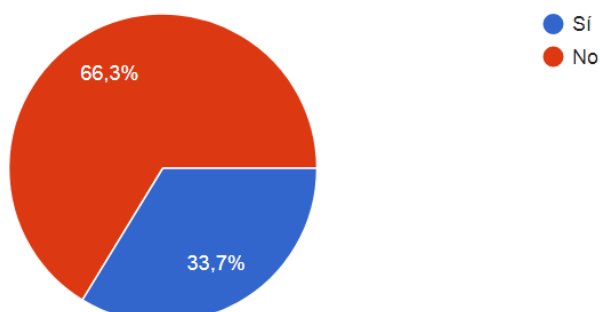


Figura 1-10. Recuento de encuestados que saben qué es el autoconsumo colectivo

Para finalizar las preguntas sobre autoconsumo se opta por cuestionar a los encuestados sobre algunas condiciones que hicieran aumentar la presencia de éste en los hogares españoles. Se hace una primera pregunta para saber si sabe cuánto ahorra en la factura eléctrica con una instalación fotovoltaica y cuánto tiempo se tarda en recuperar la inversión que supone ésta. Se observa que un porcentaje cercano a la totalidad de los encuestados (97,1%) responderían favorablemente si conocieran estos datos.



¿Le ayudaría a decidir si instalar placas fotovoltaicas si supiera cuánto ahorra en la factura y cuánto tiempo tarda en recuperar la inversión?

415 respuestas

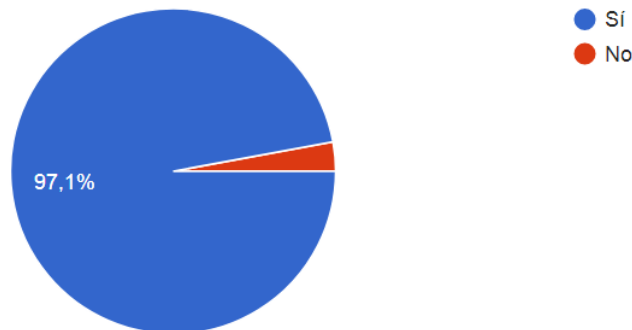


Figura 1-11. Recuentos de encuestados a los que le ayudaría a decidir si instalar placas fotovoltaicas si supieran cuánto ahorran en la factura y el tiempo en el que recuperan la inversión

La otra pregunta que se hace sobre esta cuestión es si se decidirían por hacer una inversión en una instalación fotovoltaica de autoconsumo si ésta estuviera parcial o totalmente subvencionada. La propuesta, igual que en la cuestión anterior, es muy aceptada (96,6%).

¿Le ayudaría a decidirse por instalar placas fotovoltaicas si percibiera subvención para costearlas, al menos en parte?

415 respuestas

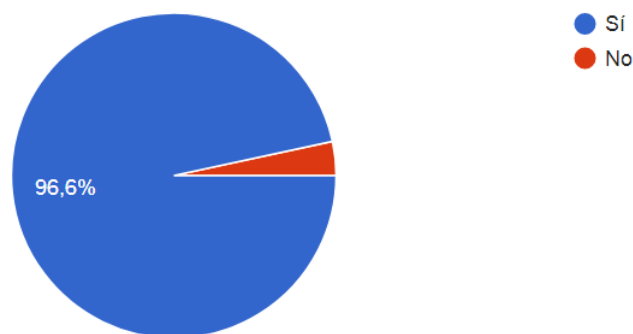


Figura 1-12. Recuentos de encuestados que se decidirían por instalar placas fotovoltaicas con subvención

## 1.2.2 Consumo y factura eléctricos

En esta segunda tanda diferenciada se hacen preguntas para sondear los conocimientos que tienen los consumidores sobre el consumo de energía eléctrica en sus hogares, especialmente sobre lo relacionado a su facturación, es decir, en la parte económica que, como hemos visto, tan importante es para los usuarios, quienes buscan el ahorro.

La primera de estas preguntas será si el encuestado sabe con quién tienen contratado el suministro eléctrico, de lo que parece que la mayoría (81,7%) conocen esta información.

Con respecto a la factura eléctrica, ¿sabe con quién tiene contratado el suministro?

415 respuestas

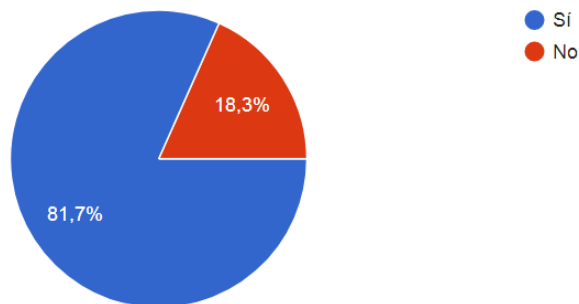


Figura 1-13. Recuento de encuestados que saben con quién tienen contratado el suministro

Se pregunta si se sabe qué es el Precio Voluntario de Pequeño Consumidor (PVPC)[24] y si lo tiene contratado. Además de esto, en vista a la importancia del factor económico, el PVPC (o tarifa regulada) es más barato que la tarifa libre, que en algunos casos puede llegar a ser hasta un 64% más cara[25]. Con estos resultados no podemos concluir nada con suficiente certidumbre, ya que un 90,4% no sabe qué es el PVPC; si se pregunta si lo tiene contratado, el 5,3% dice que sí lo tiene, el 11,3% no, pero un considerable 83,4% no lo sabe.

¿Sabe qué es el Precio Voluntario de Pequeño Consumidor (PVPC)?

415 respuestas

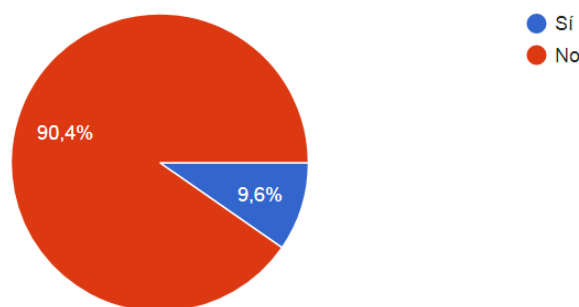


Figura 1-14. Recuento de encuestados que saben qué es el PVPC

¿Tiene contratado PVPC?

415 respuestas

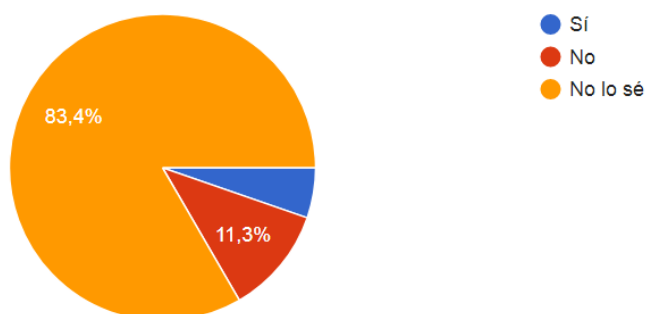


Figura 1-15. Recuento de encuestados que tienen contratado PVPC

Análogamente, se pregunta sobre si saben qué es la potencia contratada y si saben cuál es la suya. En cuanto a la primera pregunta hay una mayoría pronunciada que sí sabe qué es (86%), lo que contrasta con la respuesta a la segunda, que muestra una proporción más igualada (51,6% que sí sabe cuál es su potencia contratada frente a un 48,4% que no).

¿Sabe qué es la potencia contratada?

415 respuestas

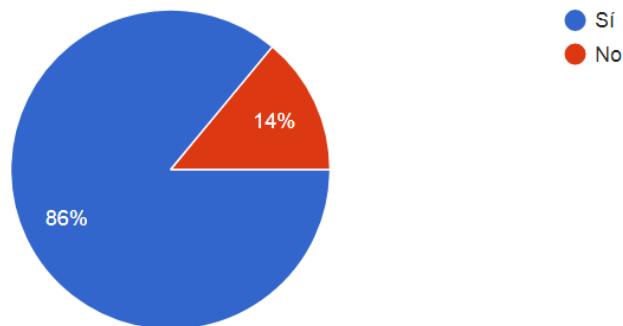


Figura 1-16. Recuento de encuestados que saben qué es la potencia contratada

¿Sabe cuál es su potencia contratada?

415 respuestas

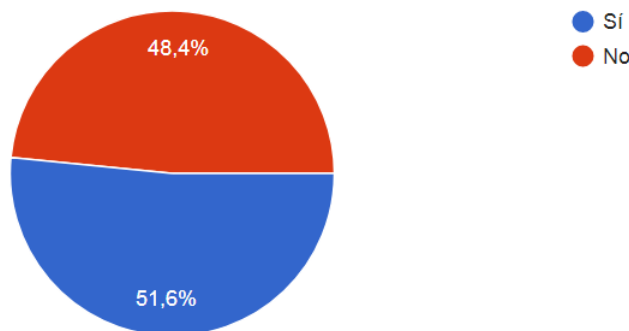


Figura 1-17. Recuento de encuestados que saben cuál es su potencia contratada

Otra de las variables de la factura de las que se ha querido saber datos en la sociedad es la discriminación horaria, en concreto si la gente sabe qué es y si la tienen o no contratada, esto es, si tienen la 2.0DHA o la 2.0A[26] respectivamente. De nuevo observamos una mayoría (78,1%) que sí sabe lo que es la discriminación horaria; el 20,5% tienen discriminación horaria y el 33% no. No obstante, observamos también otra vez una gran incertidumbre, ya que el 46,5% no sabe la modalidad que tiene contratada.

¿Sabe qué es la tarifa de discriminación horaria?

415 respuestas

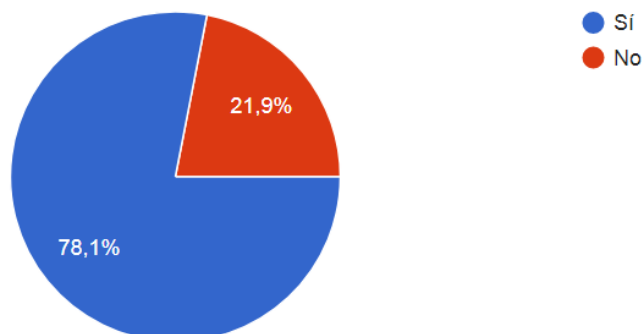


Figura 1-18. Recuento de los encuestados que saben qué es la tarifa de discriminación horaria

¿Tiene contratada tarifa con o sin discriminación horaria?

415 respuestas

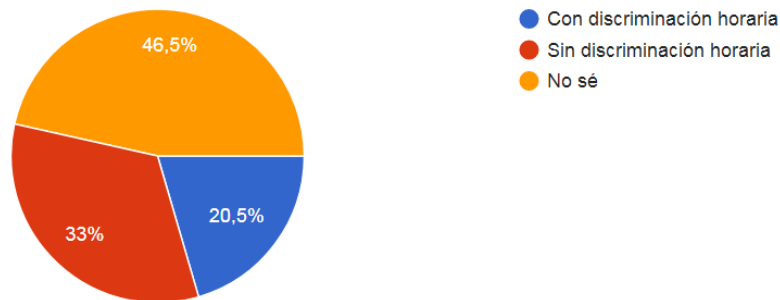


Figura 1-19. Recuento de encuestados que tienen contratada discriminación horaria

Sin embargo, a día de hoy se conoce que las tarifas 2.0A y 2.0DHA serán sustituidas por una única tarifa, 2.0TD[27], por lo que aprovechando la encuesta se introduce una pregunta para saber qué porcentaje de la población sabe este cambio que afecta directamente a su factura y se descubre que sólo un porcentaje muy pequeño (4,1%) se ha enterado.

¿Conoce la nueva tarifa eléctrica 2.0 TD?

415 respuestas

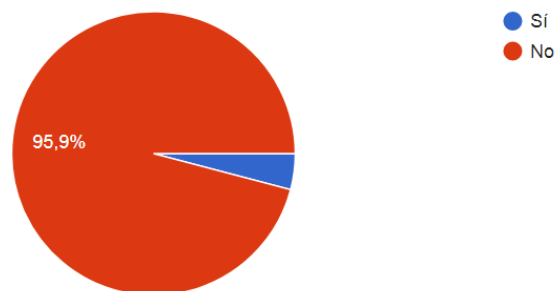


Figura 1-20. Recuento de encuestados que saben qué es la Tarifa 2.0TD

Se ha querido saber también cuánta gente sabe qué es el bono eléctrico, elemento de nuestra factura eléctrica. Éste, simplificando mucho, supone un descuento del 25% o 40% en los términos de potencia y energía en la factura, en función de la vulnerabilidad del consumidor[28]. Los resultados muestran que la mayoría (el 62,7%), no conoce la existencia de esta bonificación.

¿Sabe qué es el bono social eléctrico?

415 respuestas

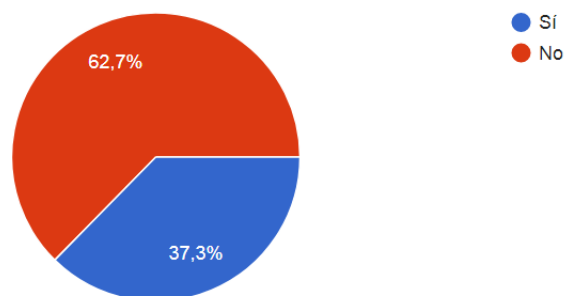


Figura 1-21. Recuento de encuestados que saben qué es el bono eléctrico

Por último, se ha querido preguntar por una cuestión mencionada ya en este trabajo: la pobreza energética. Con esta pregunta que finaliza la encuesta se constata que la mayoría de la población (el 65,8%) conoce este problema.

¿Sabe qué es la pobreza energética?

415 respuestas

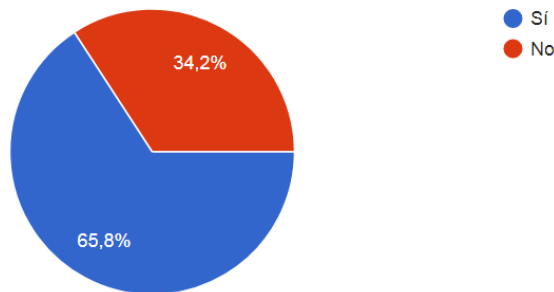


Figura 1-22. Recuento de encuestados que saben qué es la pobreza energética

Si comparamos con el resto de la Unión Europea, el precio de la energía eléctrica total en España ocupa la quinta posición, sólo por detrás de Alemania, Dinamarca, Bélgica e Irlanda; si no se tienen en cuenta ni el IVA ni otros impuestos, el precio de la electricidad en nuestro país escala al tercer puesto, superado sólo por los dos últimos, dejando claro que los primeros tienen un alto porcentaje en cargos fiscales[29].

**Electricity prices for household consumers, first half 2019**  
(EUR per kWh)

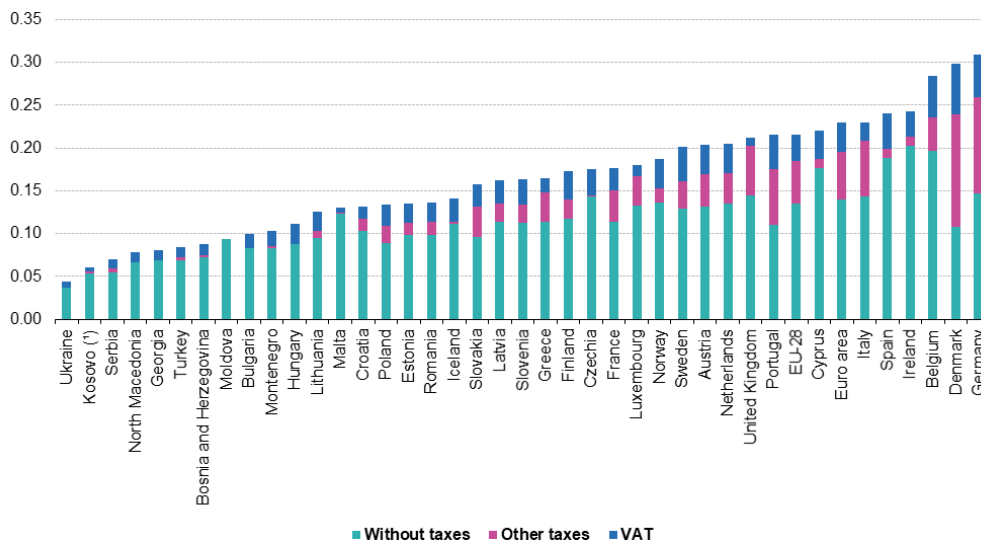


Figura 1-23. Precios de electricidad para consumidores domésticos[29]



## 2 ENERGÍA FOTOVOLTAICA

---

*¿Y qué iluminaba al sol? Su propio fuego. Y el sol sigue,  
día tras día, quemando y quemando. El sol y el tiempo.  
El sol, el tiempo y las llamas.*

- "Fahrenheit 451", Ray Bradbury -

La energía fotovoltaica es una pieza importante en el autoconsumo, así como en el conjunto de las energías renovables, reconociendo éstas como aquellas cuya fuente de energía es teóricamente inagotable[30].

La fuente de energía de la fotovoltaica es el Sol. Éste es una estrella enana blanca cuya "vida" está estimada en 10 mil millones de años; el Sol estaría en la actualidad a la mitad de esta fase de su ciclo vital, quedándole unos 5 mil millones de años[31], por lo que hablamos de un horizonte temporal lo suficientemente lejano como para seguir utilizando su energía sin sospecha de que se vaya a acabar.

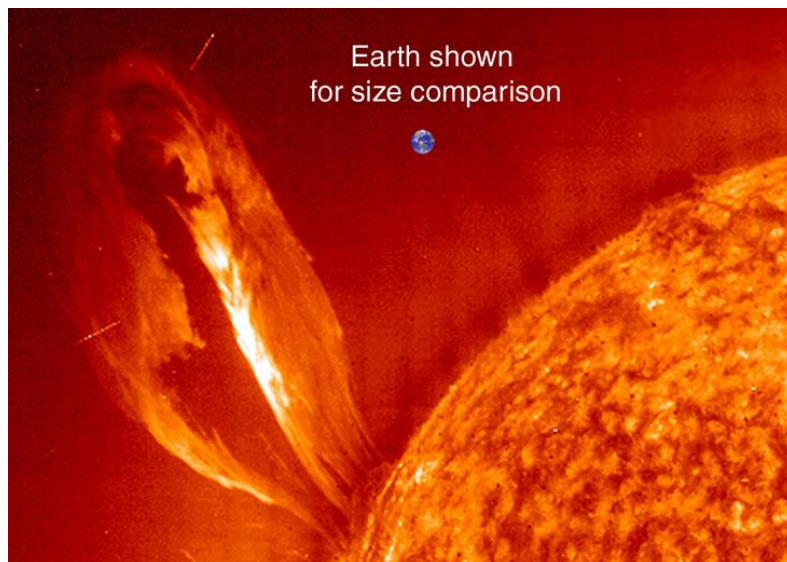


Figura 2-1. Ilustración de comparación entre Sol y Tierra[32]

Esta energía llega a la superficie de la Tierra mediante la denominada radiación solar y será aquí donde se capta para su transformación en energía eléctrica.

## 2.1 Radiación solar

### 2.1.1 Potencia del Sol

El Sol se puede considerar un cuerpo negro a 5778 K que se encuentra a 150 millones de kilómetros de la Tierra, distancia que deben recorrer los  $3,8 \times 10^{26}$  W que emite (calculable a partir de la Ley de Stefan-Boltzmann); de esta potencia sólo una pequeña parte llega a nuestro planeta (unos  $1,7 \times 10^{17}$  W). Es interesante expresar este último dato por unidad de área, ya que es un número conocido como “Constante solar” o “Irradiancia solar” ( $G_s$ ), igual a  $1366 \pm 3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  (margen debido a las variaciones de actividad solar). Esta gran cantidad es producida a partir de las reacciones nucleares de fusión que tienen lugar en la estrella, en las que pares de átomos de hidrógeno se unen para dar uno de helio[33][34].

### 2.1.2 Espectro electromagnético

La energía proveniente del Sol llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética, esto es, en forma de onda y tendrá componentes en las 3 partes diferenciadas del espectro: ultravioleta, visible e infrarrojo.

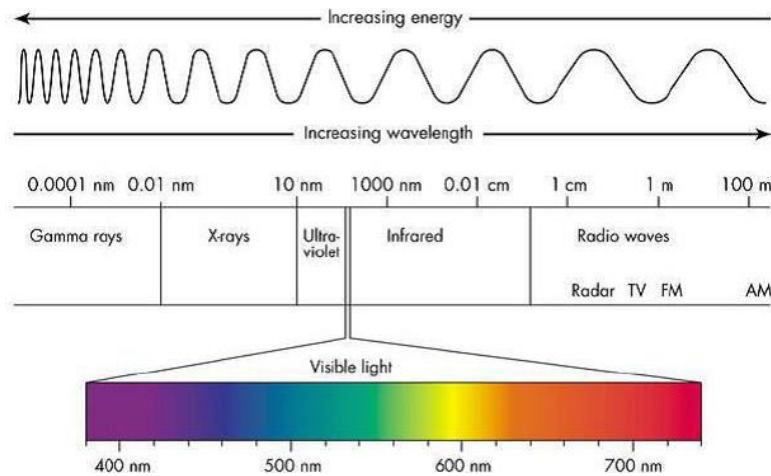


Figura 2-2. Espectro electromagnético de las ondas[35]

Recordemos que en la banda ultravioleta se encontrarán aquellas ondas de menor longitud de onda y, por tanto, mayor frecuencia, que equivale a decir mayor energía; viceversa en la banda infrarroja. Pero no toda esta radiación llega a la superficie terrestre, ya que parte de ella es absorbida por la atmósfera.

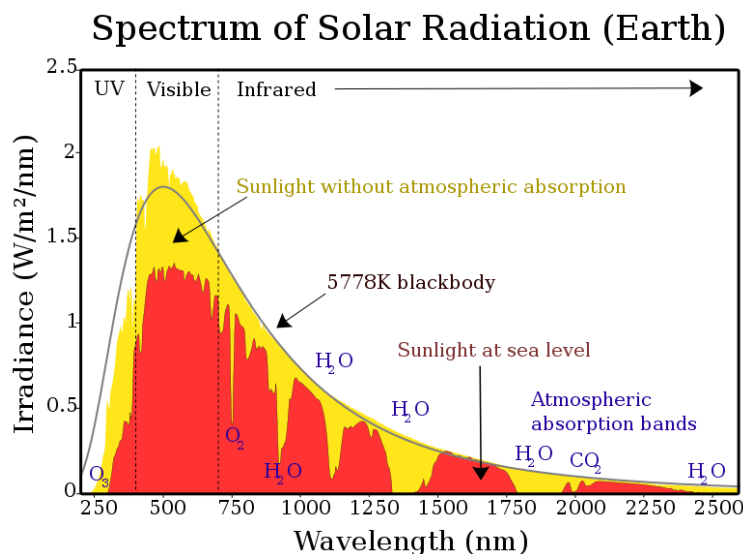


Figura 2-3. Radiación del cuerpo negro, radiación que llega a la atmósfera y la que llega a la superficie[36]



Como podemos apreciar en la Figura 2-3 que la suposición del Sol como cuerpo negro a 5778 K es bastante precisa y su radiación se aproxima a la recibida por la atmósfera. Los distintos gases que forman a esta última serán los que absorben la radiación solar en determinadas bandas de longitud de onda, y por tanto de determinada energía.

## 2.2 Fundamentos de la energía fotovoltaica

Ya se ha hablado de la energía que emite el Sol y que llega a la superficie de la Tierra, sin embargo, cabría preguntarse cómo tiene lugar su transformación en energía eléctrica; la respuesta la encontramos en el efecto fotovoltaico.

### 2.2.1 Historia

El efecto fotovoltaico fue observado por primera vez en 1839 por Alexander-Edmond Becquerel. La primera célula fotovoltaica (de bajo rendimiento) fue creada en 1884 por Charles Fritts a partir de selenio recubierto de oro[37][38].

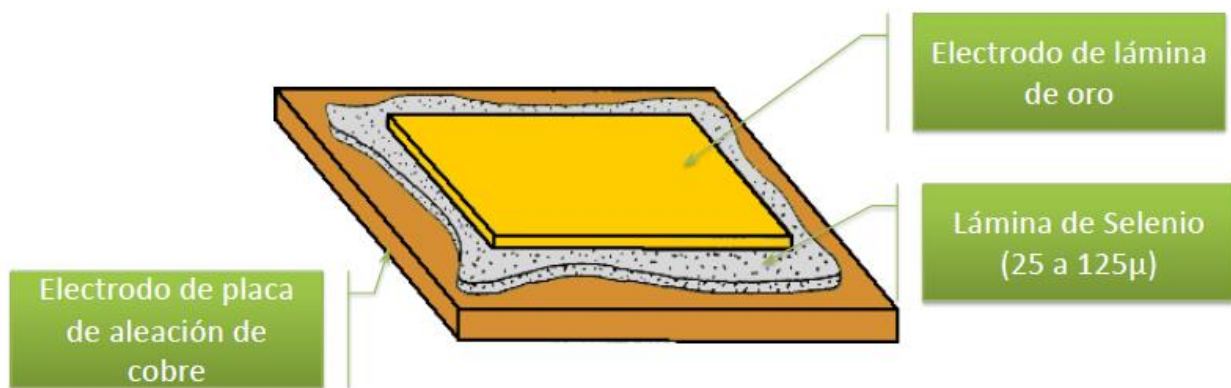


Figura 2-4. Célula fotovoltaica de Charles Fritts[38]

Más tarde, llegó el descubrimiento del efecto fotoeléctrico en 1887 por Heinrich Rudolf Hertz; Albert Einstein fue el que llegó a su formulación (basada en trabajos anteriores de Max Planck) en su artículo *On a Heuristic Viewpoint Concerning the Production and Transformation of Light* en 1905. Fue tal la importancia de este trabajo que le valió a Einstein el Premio Nobel en 1921. Quedaba así demostrada y cuantificada la conversión de luz en energía, al liberar una superficie electrones al incidir sobre ella una radiación electromagnética[37].

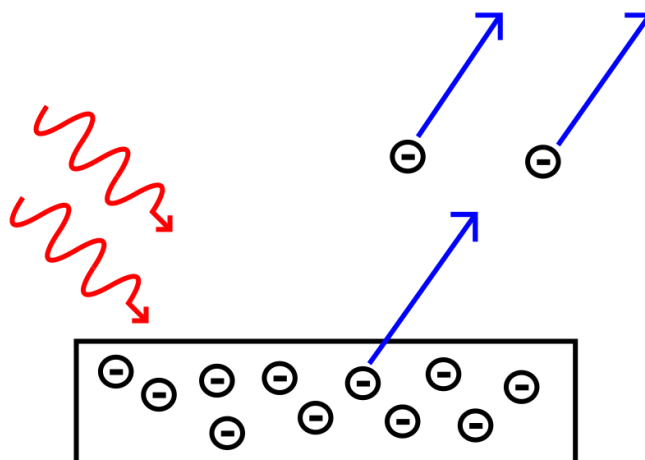


Figura 2-5. Esquema del efecto fotoeléctrico[37]

## 2.2.2 Unión PN

La producción de energía en paneles fotovoltaicos en el nivel interatómico está fundamentada en la llamada unión PN. Este efecto se da en materiales semiconductores, es decir, en los que forman los grupos del 12 al 16 de la Tabla Periódica de los Elementos. Si nos fijamos en el silicio puro (o intrínseco), más concretamente en su configuración electrónica, se observa que tiene 4 electrones en la capa de valencia y, por lo tanto, en una estructura formada únicamente por este material, sólo habrá átomos con 8 electrones compartidos mediante enlace covalente. Sin embargo, esta estabilidad se verá alterada cuando la estructura esté dopada, esto es, algunos átomos de silicio sean sustituidos por otros semiconductores de los grupos mencionados, variando los electrones de la última capa de los átomos.

En el caso de doparse con átomos de más de 4 electrones libres (grupos 15 y 16, con elementos como el fósforo o el antimonio), la estructura queda con un electrón libre por átomo y pasa a estar cargada negativamente; pasa a llamarse semiconductor N. Si se dopara con átomos de menos de 4 electrones (grupos 12 y 13, con elementos como el boro) quedan con huecos donde deberían ir electrones; los huecos se consideran como partículas con carga de mismo valor y signo contrario al electrón, por lo que queda positivamente cargado y se le llama semiconductor de tipo P. La unión PN provoca una diferencia de potencial y, por tanto, una corriente eléctrica[40][41].

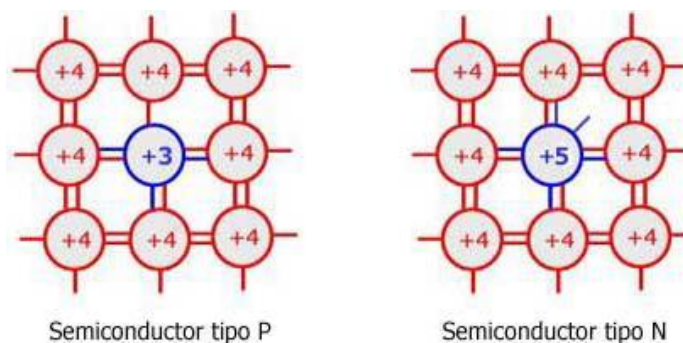


Figura 2-6. Configuraciones electrónicas de las estructuras P y N que conforman la unión PN[41]

## 2.3 Irradiancia y producción de la energía fotovoltaica

Cuando la luz solar llega a la superficie del silicio pueden pasar varias cosas. En primer lugar, en el caso de fotones de baja energía, puede que esta luz lo atraviese; en un segundo caso, la luz puede ser reflejada por el silicio. Pero también puede ser que la luz sea absorbida por la superficie dando lugar a dos posibles efectos. Esta absorción puede provocar la generación térmica, es decir, pérdidas por calor. Por otra parte, si la energía de la luz es suficiente, puede hacer que se rompan enlaces covalentes, los electrones pasen la banda prohibida y lleguen a la banda de conducción, produciendo en el material pares hueco-electrón[38].

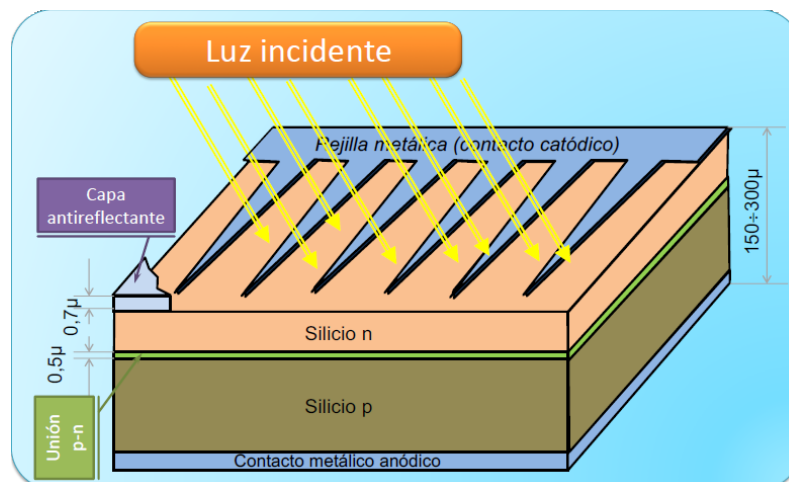


Figura 2-7. Representación de las capas de una celda fotovoltaica[38]

### 2.3.1 Dependencia de la ubicación geográfica

Del apartado anterior se deduce que, en efecto, la energía obtenida de la placa fotovoltaica dependerá de la luz incidente, es decir, de la radiación solar recibida, la irradiancia; la irradiancia podrá ser directa o difusa. La directa proviene directamente del Sol y la difusa del resto del cielo, absorbida o reflejada (el porcentaje es denominado albedo) por la atmósfera; la suma de ambas dará la irradiancia global[39].

España cuenta con un lugar privilegiado en Europa en términos de irradiancia solar, con  $232,59 \text{ kWh m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  de irradiancia global media en el total de su territorio. Para comparar este dato con otros países del continente nos fijamos sólo en el de las capitales; Madrid recibe una irradiancia de  $4,88 \text{ kWh m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ .

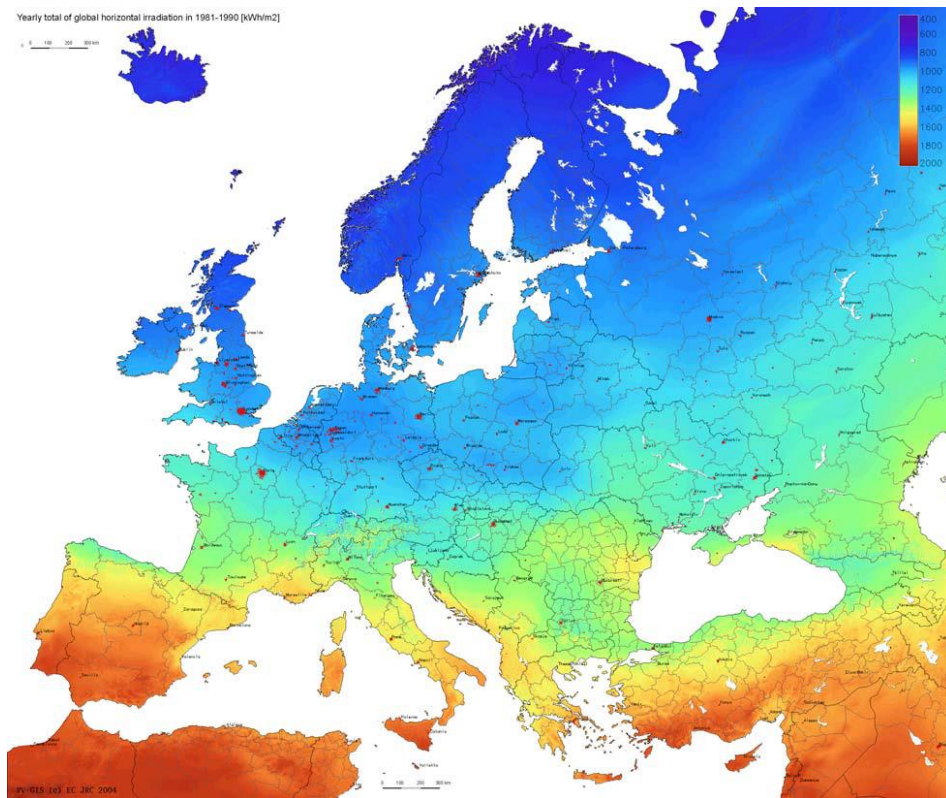


Figura 2-8. Mapa de la irradiancia global media en Europa, norte de África y oeste de Asia[42]

Con este criterio, España sería el segundo país europeo con la capital con mayor dato de irradiancia global media, sólo por detrás de Atenas, que corona la primera posición con sus  $4,92 \text{ kWh m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . El tercer y cuarto puesto lo ocupan Lisboa y Roma, mientras que los mínimos valores van para Helsinki, Estocolmo y Oslo, evidenciando el sur de Europa como una zona rica en recurso solar[34].

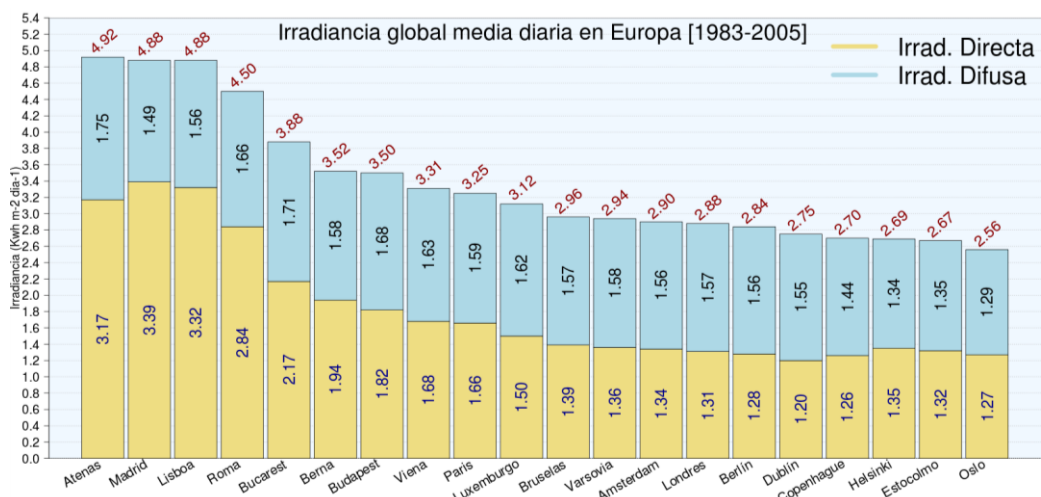


Figura 2-9. Datos de irradiancia global media ( $\text{kWh m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) en distintas capitales europeas[34]

Así como la irradiancia (y por consiguiente la producción de energía fotovoltaica) en Europa depende de la ubicación geográfica, también lo hará en España, donde encontramos variaciones significantes entre los distintos puntos del país. Este hecho es algo lógico si se tiene en cuenta la presencia de distintos climas en la península, archipiélagos y norte de África[42]. Estas variedades climáticas se clasifican en:

- Zona I: Irradiancia media menor que 3,8 kWh m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>.
- Zona II: Irradiancia media menor o igual que 3,8 y mayor que 4,2 kWh m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>.
- Zona III: Irradiancia media menor o igual que 4,2 y mayor que 4,6 kWh m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>.
- Zona IV: Irradiancia media menor o igual que 4,6 y mayor que 5,0 kWh m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>.
- Zona V: Irradiancia media mayor que 5,0 kWh m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>.

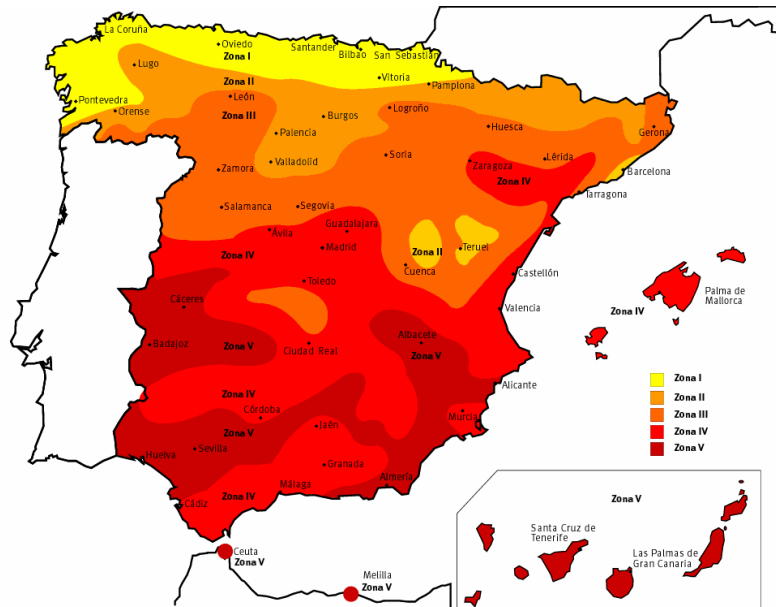


Figura 2-10. Zonas climáticas de España[42]

En vista de la diversidad climática de España, son de esperar los distintos valores medios de irradiancia global media diaria que hay en el país, que entre las capitales de provincia variarán desde los 5,40 kWh m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> de Santa Cruz de Tenerife a los 3,54 de Bilbao. Cabe destacar que entre las 10 primeras ciudades se encuentran las 8 capitales andaluzas.

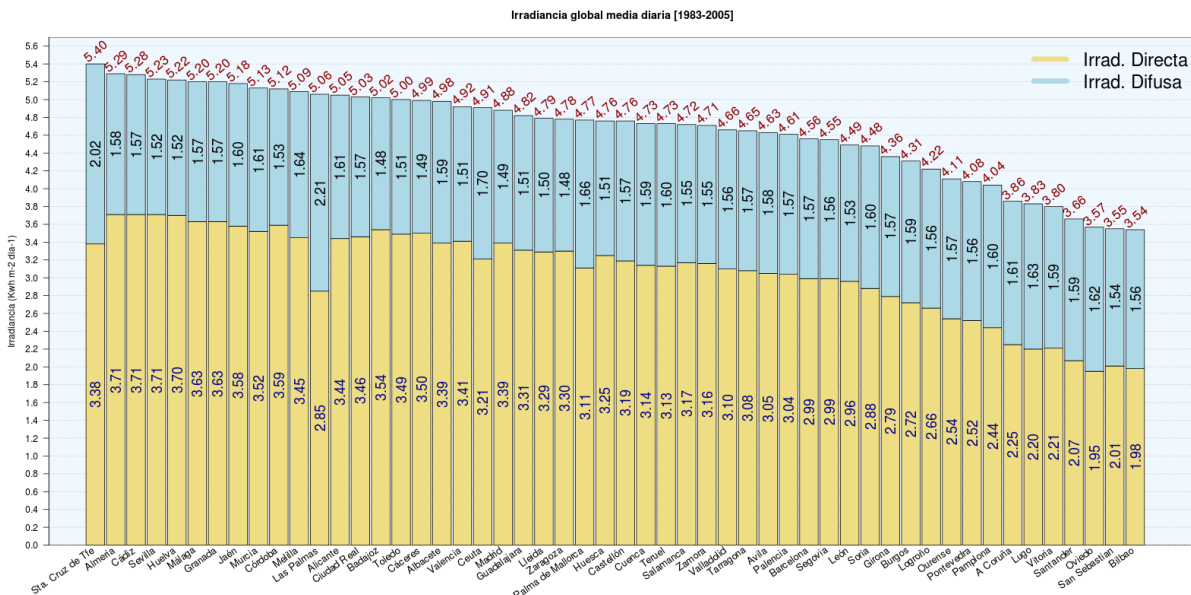


Figura 2-11. Datos de irradiancia global media diaria en las capitales de provincia de España[34]



### 2.3.2 Dependencia de la ubicación temporal

Al igual que del lugar, la irradiancia solar obviamente dependerá del momento del año. Aunque España tenga un dato elevado de irradiancia solar, hay que señalar que no será constante e irá variando con las estaciones o meses. En la Figura 2-12 podemos ver la irradiancia global media en primavera (marzo, abril y mayo), verano (junio, julio y agosto), otoño (septiembre, octubre y noviembre) e invierno (diciembre, enero y febrero) La diferencia entre máximas y mínimas irradiancias será más o menos acentuada dependiendo de la zona de la que estemos hablando del país; se aprecia que es menor en el norte peninsular, donde se mantiene baja todo el año.

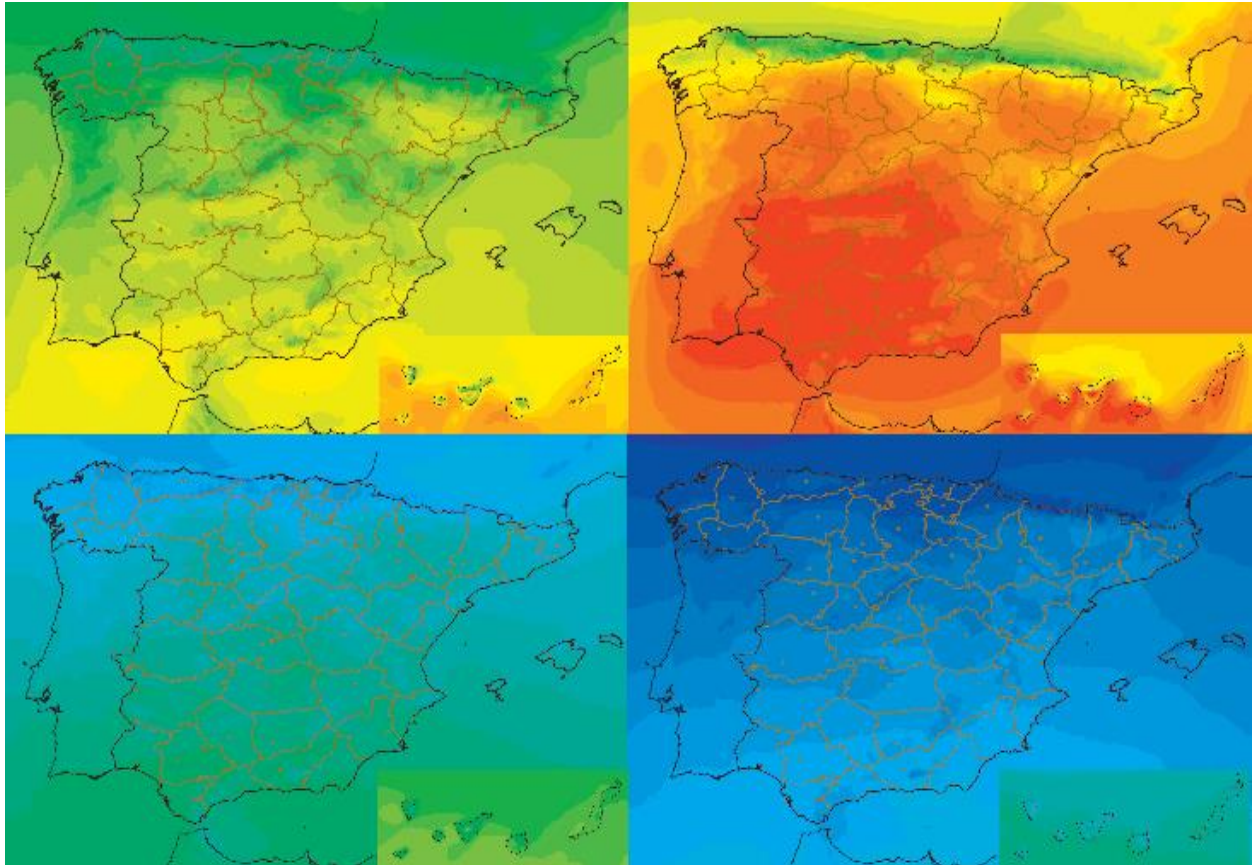


Figura 2-12. Irradiancia global media en España en primavera, verano, otoño e invierno (de izquierda a derecha y de arriba a abajo)[34]

Esta variación de irradiancia es comprensible si tenemos en mente la variación de la posición del Sol a lo largo del año. Esto se puede observar en las distintas trayectorias y alturas solares durante el año que harán que, en el hemisferio norte, en diciembre el Sol recorra un arco menor y más al sur que por ejemplo en junio.

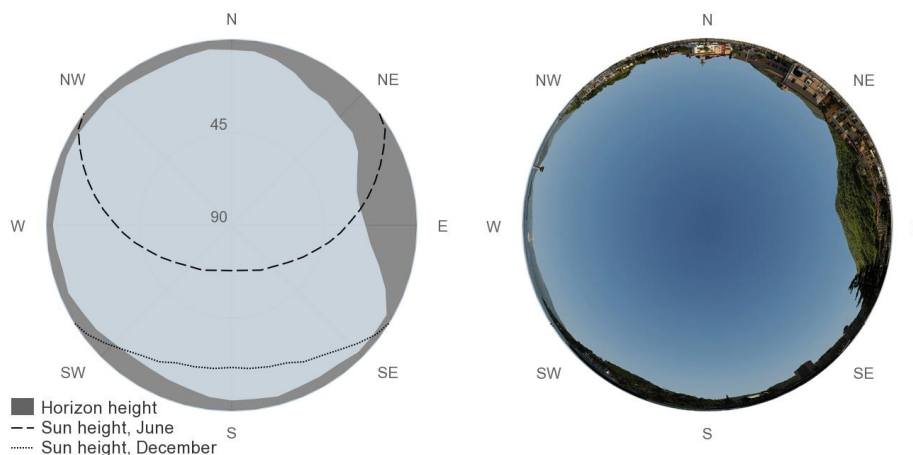


Figura 2-13. Gráfica del horizonte con alturas solares (junio y diciembre) y ojo de pez de la ubicación[44]

### 2.3.3 Dependencia de la orientación

Si la irradiancia solar depende del momento y del lugar en los que se recibe no es por otra cosa que por el hecho de que depende de la orientación con la que llega a la Tierra, o al punto de captación, como una placa fotovoltaica. La orientación de la irradiancia estará definida por un conjunto de variables[39], entre las que podemos destacar:

- Altura solar o ángulo solar,  $\gamma_s$ : ángulo que forma la irradiancia con su proyección horizontal.
- Ángulo azimutal o azimut,  $\psi_s$ : ángulo que forma la proyección horizontal de la irradiancia con la dirección sur y que aumenta de este a oeste en el hemisferio norte (en el hemisferio sur es con la dirección norte y aumenta de oeste a este).
- Ángulo zenital,  $\theta_s$ : ángulo que forma la irradiancia con su proyección vertical.

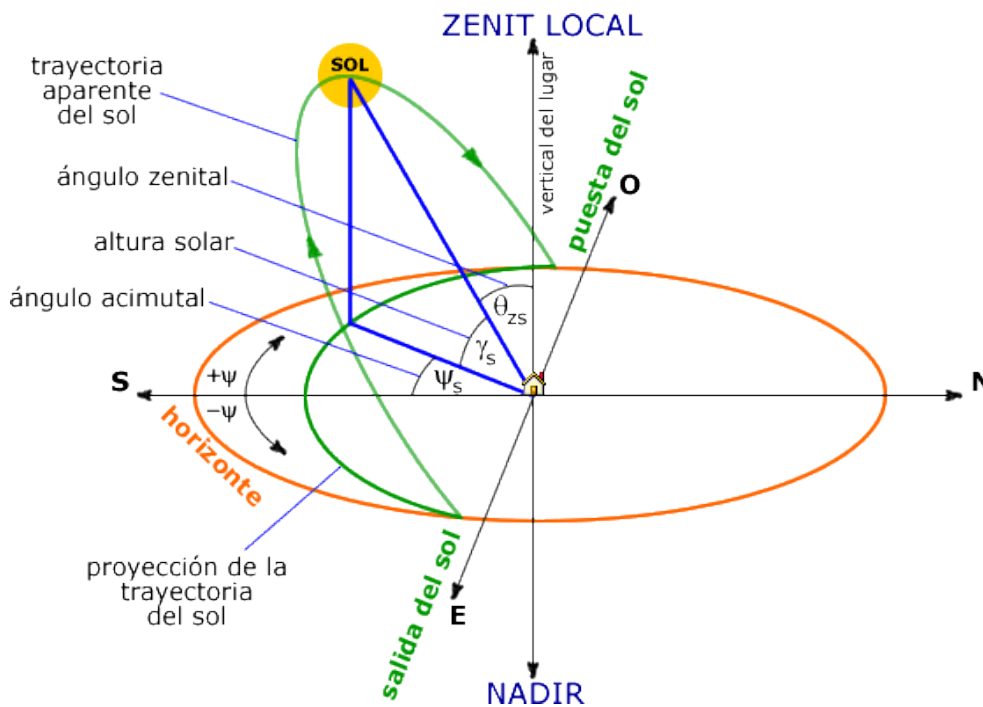


Figura 2-14. Orientación de la irradiancia solar con las variables que la definen[39]

### 2.3.4 Producción fotovoltaica

Los datos mostrados de irradiancia mostrados hasta el momento son medias diarias, esto es porque como es de esperar la irradiancia también irá variando a lo largo del día, con la posición del Sol y por consiguiente de la orientación.

Para estudiar la irradiancia y, sobre todo, la producción de energía fotovoltaica, en este trabajo se ha hecho uso de un software informático en línea, *Photovoltaic Geographical Information System*, conocido por sus siglas PVGIS[43]. Esta elección se basa en que es un programa libre, sin restricciones y que forma parte de un proyecto impulsado por la Unión Europea, lo que le da un gran respaldo a su precisión. No obstante, esta elección no se hace en detrimento de otras opciones, como la también libre *Renewables.ninja*, que está desarrollada por las universidades Imperial College London y ETH Zürich[45], y también nos proporciona la potencia eólica.

Para obtener los datos de irradiancia en PVGIS, en primer lugar, necesitamos elegir el punto y con esto elegir una base de datos. Para este trabajo se los datos se han obtenido a partir de la PVGIS-SARAH, que es la que recomienda por defecto el programa para Europa, frente a la PVGIS-CMSAF, cuya base de datos ya no se actualiza. Al seleccionar el punto también se establece una orientación y azimut.

A continuación, se muestran los datos de irradiancia por mes de dos municipios lejanos y con un clima muy distinto como son Arahál (Sevilla) y Muiños (Ourense).

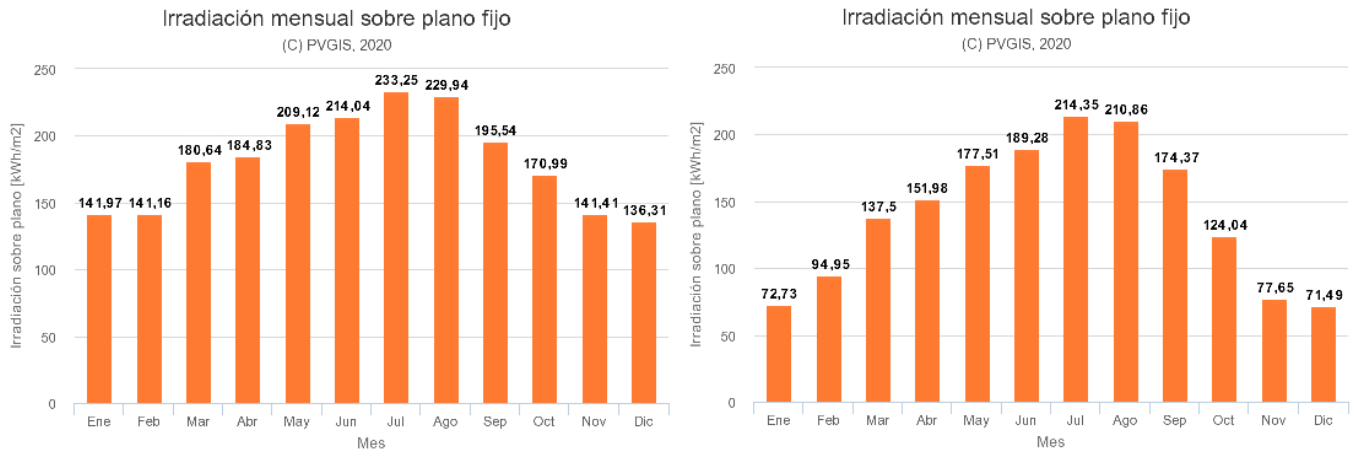


Figura 2-15. Niveles de irradiancia mensual en municipios lejanos[43]

Podemos observar como existe la misma tendencia con el paso de los meses, sin embargo, comprobamos que cuantitativamente en el sur de la península hay mayor irradiancia. Si nos fijamos en cómo varía a lo largo de un día (por ejemplo, de octubre), las gráficas tendrán una forma parecida (Figura 2-16), pero de nuevo variarán los valores numéricos, siendo menores de nuevo en el norte

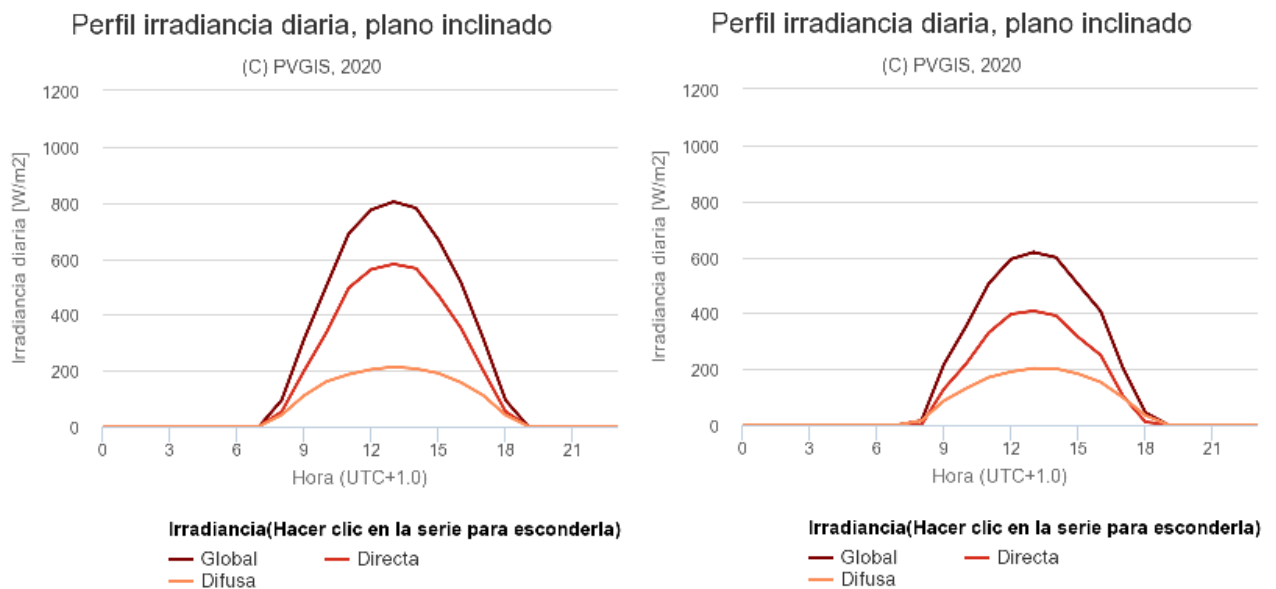


Figura 2-16. Irradiancia media diaria de octubre[43]

Pero lo que es de interés en este trabajo será la producción de potencia fotovoltaica a partir de esa irradiancia, y también nos dará el programa. Para ello debemos elegir la base de datos, así como el año del que queremos saber los datos. Además, tendremos que elegir el tipo de montaje, al que se impondrá la condición de que sea fijo. Por lo tanto, debemos darle un valor a la inclinación del panel (para que la irradiancia llegue lo más perpendicularmente posible) y al azimut; se elige la opción optimizar ambos.

Con respecto a las características fotovoltaicas en sí, elegimos que la placa sea de silicio cristalino, con potencia pico de 1 kWp y unas pérdidas del 14%. A partir de aquí, cuando queramos calcular la energía producida por una instalación de una potencia instalada distinta de 1 kWp, la aproximaremos proporcionalmente a la obtenida de esta manera.

Cuando obtenemos las gráficas de la producción de energía fotovoltaica en cada mes (ya en unidades de energía kWh) observaremos las mismas similitudes y diferencias que en el caso de las de la irradiancia, aunque con matices puntuales.

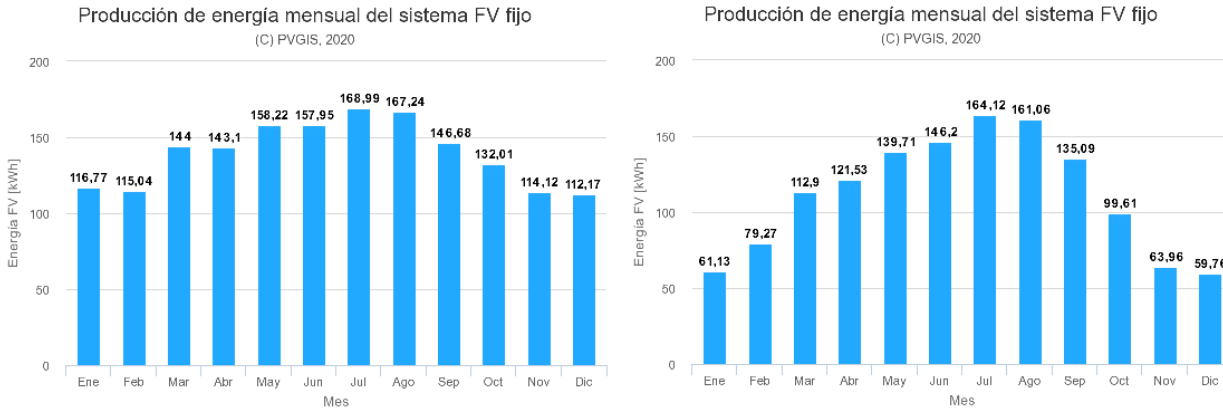


Figura 2-17. Producción de energía fotovoltaica mensual en municipios lejanos[43]

En el caso de que queramos tener datos horarios PVGIS no nos da las gráficas, aunque se pueden crear a partir de los datos de potencia generada horaria (W) que nos proporciona. A continuación, podemos observar cómo la producción fotovoltaica variará a lo largo del día, en los dos municipios y en diferentes épocas del año (un día cualquiera de mayo y de noviembre).

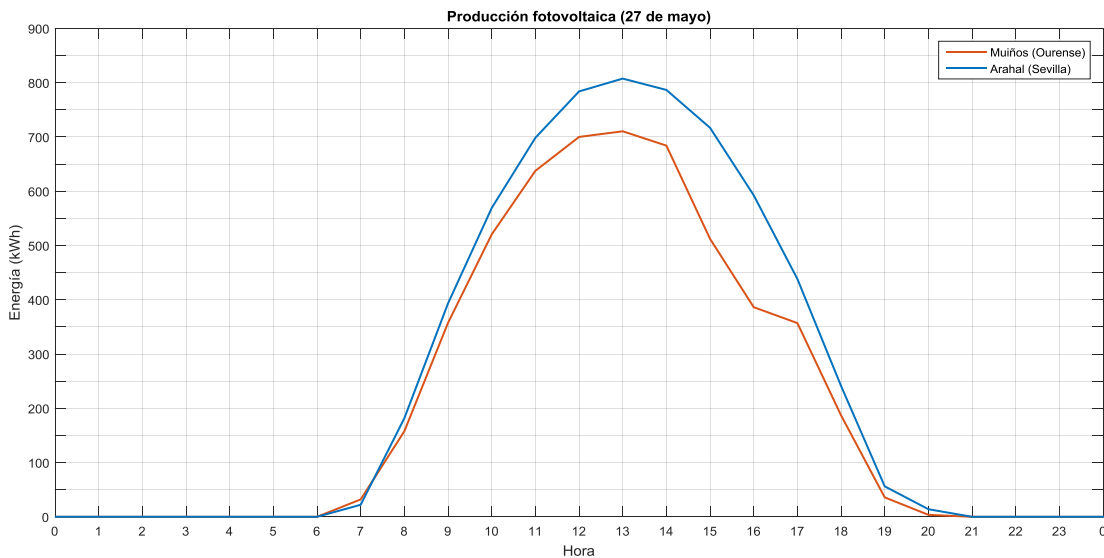


Figura 2-18. Producción fotovoltaica del 27 de mayo. Elaboración propia. Fuente: PVGIS[43]

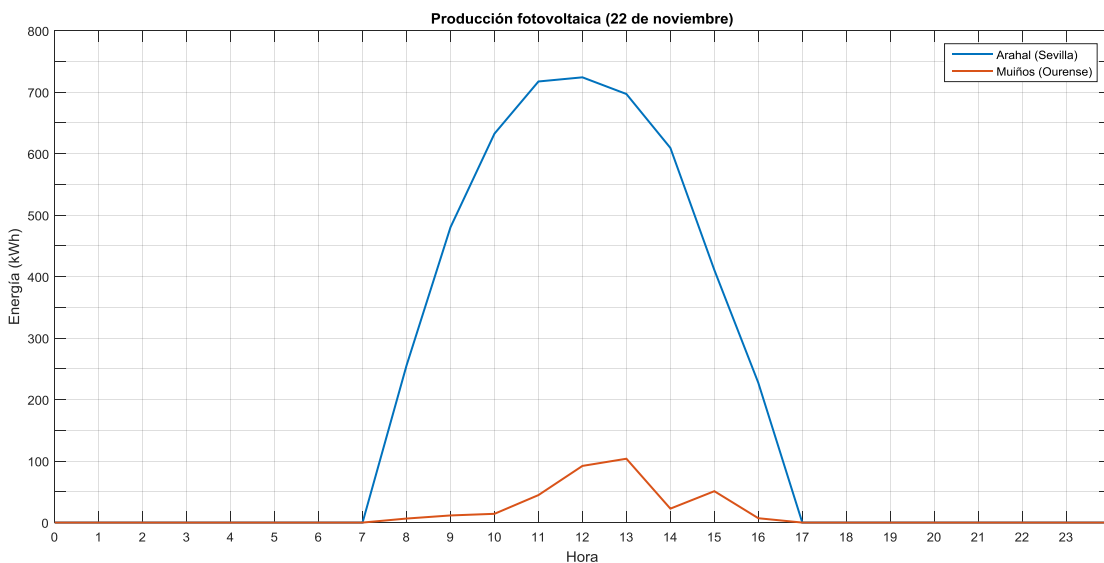


Figura 2-19. Producción fotovoltaica del 22 de noviembre. Elaboración propia. Fuente: PVGIS[43]



Se observa cómo en mayo (Figura 2-18) las potencias generadas son muy parecidas, aunque en el municipio gallego es inferior (diferencia que se va acentuando pasado el mediodía); en noviembre (Figura 2-19) la potencia en el sur es más baja que en mayo pero sigue siendo bastante alta, sin embargo, en el norte sí se hace muy baja. Asimismo, se identifica que en mayo hay más horas de sol que en noviembre en ambas localizaciones.

Se puede concluir, por tanto, que el Sol es un recurso que podemos usar para abastecernos de energía y sustituir en parte la proveniente de combustibles fósiles; la conversión de la energía solar en energía eléctrica está bastante estudiada. Además, España es un país con una cantidad significativa de irradiancia solar, superior a la media europea, sin embargo, es muy variable en función de la época del año y de la zona climática en la que nos encontremos, por lo tanto, no será igual de viable una instalación fotovoltaica en dos puntos distintos del país.



# 3 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA. ELEMENTOS Y COSTE

---

*Pero esperaré a que el sol esté alto, ya que quizás tenga que ir a algún lugar en el que la luz del sol, aunque oscurecida por la nieve y la niebla, pueda proporcionarme seguridad.*

*- "Drácula", Bram Stoker -*

Para el aprovechamiento de la energía fotovoltaica y su conversión eficiente en energía eléctrica para autoconsumo en nuestros hogares necesitaremos una instalación fotovoltaica. Éstas tendrán siempre los mismos componentes fundamentales, pero en función de las necesidades y particularidades del consumo eléctrico del usuario su dimensionamiento variará, y con él su coste.

Se considera oportuno desglosar en sus distintos componentes la instalación para su mejor comprensión y poder asignar más fácilmente un coste a cada uno de ellos, que a veces dependerá del dimensionamiento de la instalación, y poder determinar así el coste de la inversión total que supone al usuario que decide instalar este tipo de tecnología en su hogar.

Para determinar los precios que compondrán el total el autor ha considerado guiarse por distintos catálogos y tablas recopilatorias de estos dispositivos hechas por empresas especializadas en ellos[46][47][48].

## 3.1 Elementos

### 3.1.1 Elementos principales

La instalación fotovoltaica estará formada por varios elementos, cada uno de los cuales tendrá su función o funciones en la instalación completa. Los equipos más importantes y esenciales para la generación de energía y la preparación para su consumo son:

- Placas fotovoltaicas
- Inversor fotovoltaico
- Almacenamiento

A continuación, se pasa a analizar cada uno de ellos, las posibilidades que ofrecen en su variabilidad y su contribución al coste total de la instalación.

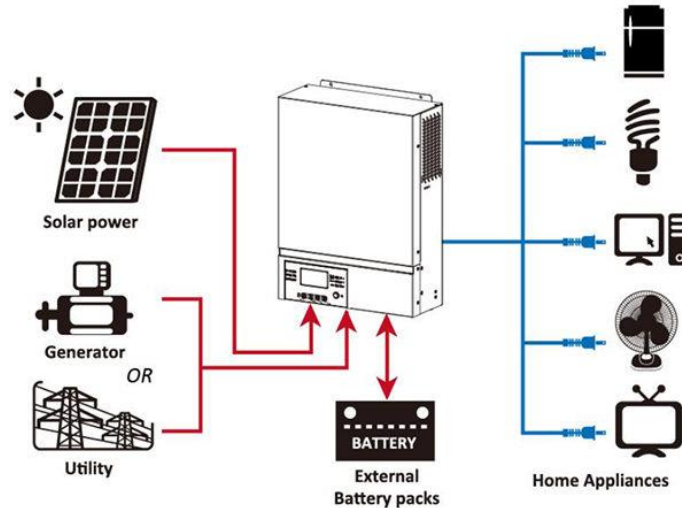


Figura 3-1. Esquema de una instalación fotovoltaica con los elementos principales[46]

### 3.1.1.1 Placas fotovoltaicas

Conforman la superficie en la que se transforma la energía solar en energía eléctrica; esta energía generada se presentará en forma de corriente continua, diferente a la corriente alterna que se consume en la red doméstica.

Como se ha explicado, la tecnología fotovoltaica se basa en las características de los materiales semiconductores, como lo es el silicio. Pero, aunque el material sea el silicio, éste puede haber sido tratado de diversas formas, que darán lugar a un tipo u otro de placa, con características distintas. Estos tipos son[38]:

- Monocristalino: Con un rendimiento en laboratorio del 24% (en la práctica se queda entre el 15% y el 18%). Fabricado con silicio puro fundido con impurezas de boro.
- Policristalino: Con un rendimiento en laboratorio entre 19% y 20% (en la práctica se queda entre el 12% y 14%). Su proceso de fabricación es similar al del monocristalino pero simplificando los pasos.
- Amorfo: Con un rendimiento en laboratorio del 16% (en la práctica se queda con un rendimiento menor al 10%). Se coloca una lámina sobre una superficie de sustrato de vidrio (o plástico).



Figura 3-2. Silicio monocristalino, policristalino y amorfo (de izquierda a derecha)[38]

El modelo de placa que se elige[49] es de 270 W de silicio policristalino de 60 células fotovoltaicas con una eficiencia del 16,50%. Hay ambigüedad sobre si este rendimiento es teórico o práctico. Si es práctico, aun siendo policristalino entraría en un valor en el orden del tipo monocristalino, por lo que queda justificada su decisión; en el caso de referirse a un rendimiento de laboratorio, estamos hablando de un valor bajo, del nivel del amorfo, y no sería tan buena opción. No obstante, parece ser de confianza, ya que se usan placas del mismo fabricante en muchos proyectos[50].



Figura 3-3. Placa fotovoltaica[49]

En cuanto a las dimensiones el panel mide 992 mm de ancho y 1 650 mm de alto, lo que supone una superficie plana de 1,6368 m<sup>2</sup>; mide 40 mm de profundidad y pesa 19 kg. Su coste de referencia es de 193,72 €. Para calcular el coste del total de los paneles fotovoltaicos en función de la potencia instalada se considerará una evolución lineal unitaria.

No se puede dejar de comentar que el precio de los módulos fotovoltaicos ha disminuido mucho desde el comienzo de su distribución y lo sigue haciendo, tal como predice la conocida como Ley de Swanson, que estima que el precio de las placas disminuye en un 20% por cada vez que se duplica la potencia instalada mundial[51].

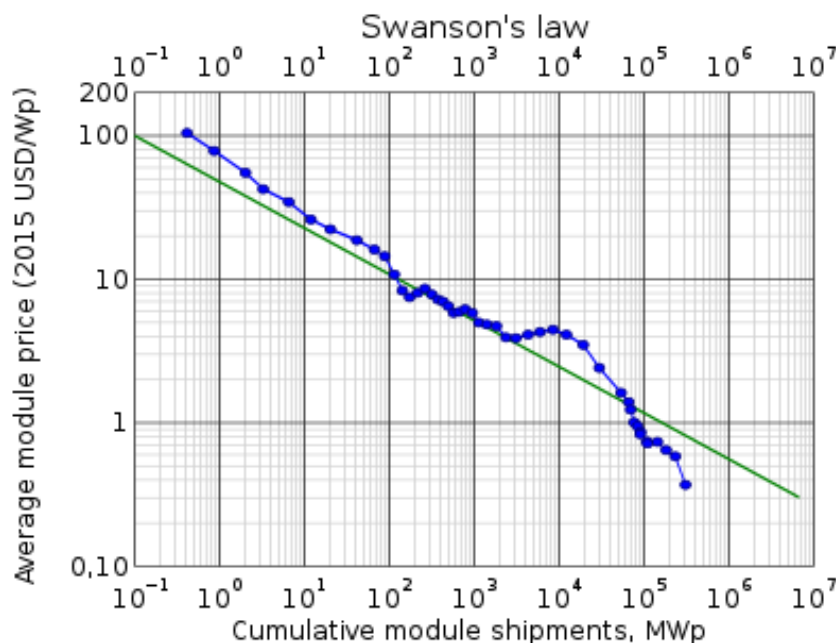


Figura 3-4. Precio del Wp de los paneles en función de la potencia instalada según la Ley de Swanson[51]

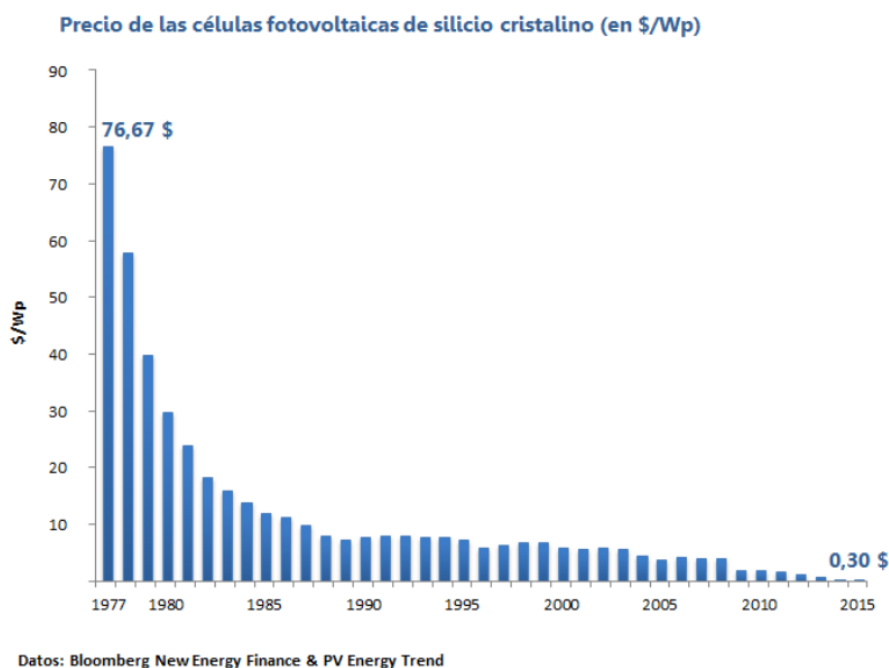


Figura 3-5. Precio del Wp de los paneles desde 1977 hasta 2015[52]

### 3.1.1.2 Inversor fotovoltaico

Al ser la energía obtenida en los paneles de corriente continua, ésta necesitará su conversión a alterna, es decir, necesitaremos un inversor fotovoltaico en nuestra instalación para que adapte la corriente para poder ser consumida en el hogar.



Figura 3-6. Inversor fotovoltaico[46]

Si hablamos de los llamados inversores híbridos, sus funciones en los sistemas conectados a la red comprenden la gestión de la energía excedentes, esto es, de la energía fotovoltaica que no ha sido autoconsumida en el momento de su producción, y hará que sea inyectada a la red o al almacenamiento si lo hubiera. Además, buscará optimizar la producción de los paneles, buscando el punto de máxima potencia (*Maximum Power Point Tracking* o MPPT), en función de la tensión de éstos. La tensión, para un valor de irradiancia dado, determinará la corriente que circula por los paneles, así como la potencia generada, por lo que habrá curvas distintas para cada valor de irradiancia, tal como se ve en la Figura 3-7.

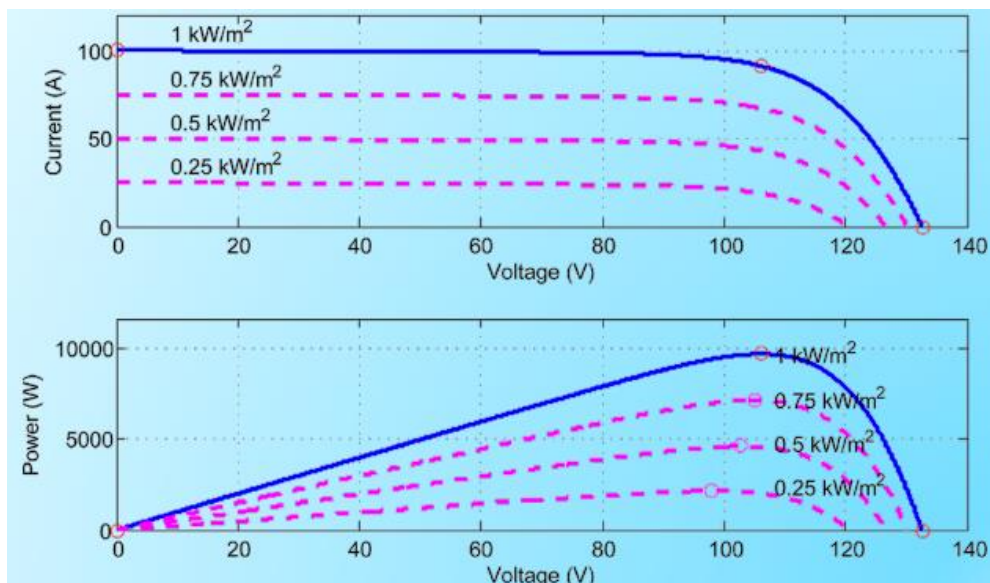


Figura 3-7. Gráficas Tensión-Intensidad (arriba) y Tensión-Potencia (abajo) para distintas irradiancias y su punto de máxima potencia[38]

Para dimensionar el inversor se tendrá en cuenta la potencia instalada con los paneles; la estimación de su coste se ha basado en la consulta de catálogos resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 3-1. Precios de inversores en función de su potencia[46]. Elaboración propia

Potencia del inversor (W)	Precio del inversor (€)
2 000	804,29
2 500	976,52

3 000	1 052,40
3 680	1 149,05
4 000	1 212,98
4 600	1 269,25
5 000	1 276,55
5 500	1 691,73
7 000	2 092,63
8 500	2 248,03
10 000	2 468,21

Una manera de estimar el coste del inversor sería mediante un escalado de costes del tipo:

$$\text{Coste} = \text{Coste}_{\text{referencia}} \cdot \left( \frac{\text{Tamaño}}{\text{Tamaño}_{\text{referencia}}} \right)^{\alpha}$$

Ecuación 3-1  
Escalado de costes[53]

En esta ecuación se calcula el coste de un equipo para de cualquier tamaño tomando una referencia de coste y tamaño conocida; el tamaño es la magnitud característica del equipo, en el caso del inversor, la potencia. Escogiendo por ejemplo como referencia el inversor de 3 kW y 1 089,29 € se obtiene la Ecuación 3-2, que permitiría calcular el coste para un tamaño (potencia) dado:

$$\text{Coste [€]} = 1\,089,29 \cdot \left( \frac{\text{Tamaño}}{\text{Tamaño}^*_{\text{referencia}}} \right)^{0,7138}$$

Ecuación 3-2  
Escalado de costes de los inversores fotovoltaicos.  
Elaboración propia[53]

Siendo el nuevo  $\text{Tamaño}^*_{\text{referencia}}$ :

$$\begin{aligned} \text{Tamaño}^*_{\text{referencia}} &= \text{Tamaño}_{\text{referencia}} \cdot \exp \left\{ \frac{0,045}{0,7138} \right\} \\ &\approx 1,065 \cdot \text{Tamaño}_{\text{referencia}} = 3,195 \text{ kW} \end{aligned}$$

Ecuación 3-3  
Definición de un nuevo tamaño de referencia para los inversores fotovoltaicos.  
Elaboración propia[53]

Con  $\exp\{x\}$  como la función exponencial.

Vemos que el exponente  $\alpha$  es menor que 1, lo que nos indica que los precios siguen una tendencia logarítmica.

No obstante, aunque es un método simple y bastante correcto, se comprueba que nos da diferencias de precios con los catálogos muy importantes.

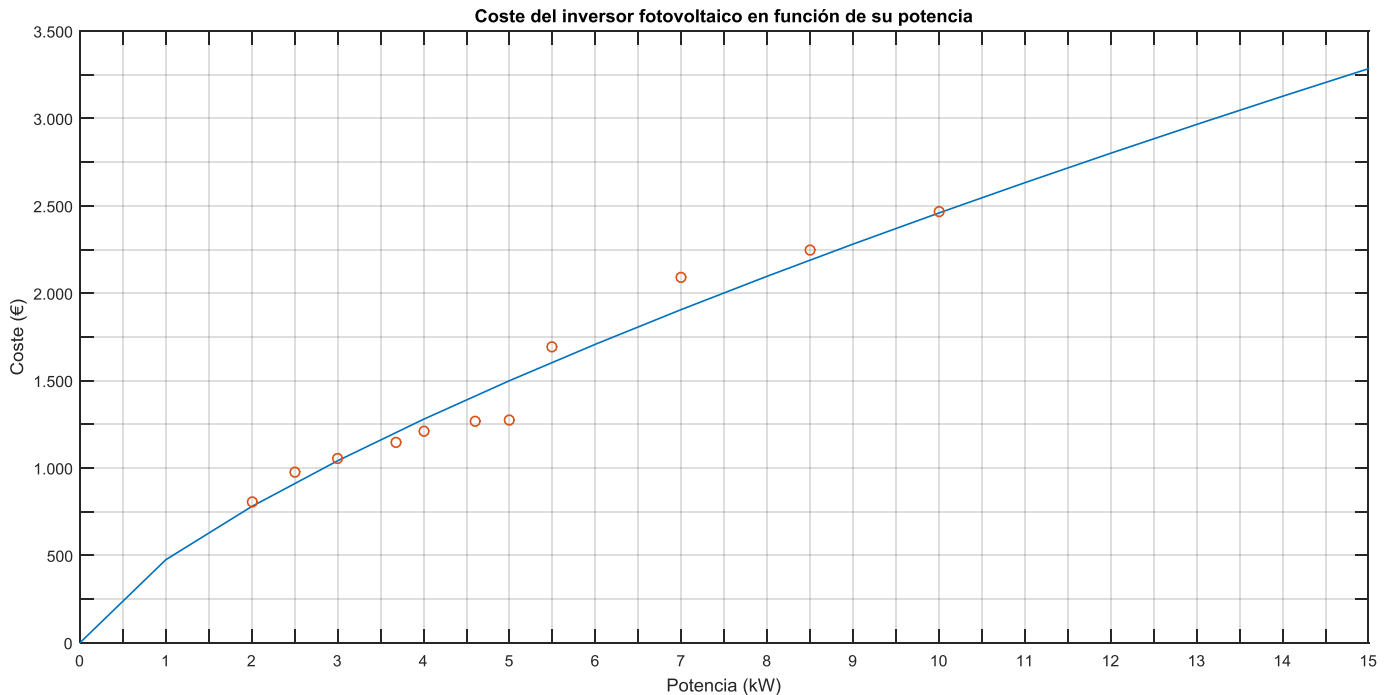


Figura 3-8. Escalado de costes del inversor fotovoltaico. Elaboración propia

### 3.1.1.3 Almacenamiento

El Real Decreto 244/2019 permite la instalación de elementos de almacenamiento sin cargos para el usuario, por lo que su presencia en instalaciones de autoconsumo puede ser rentable. Su razón de ser radica en guardar la energía fotovoltaica excedente para su posterior uso, disminuyendo el consumo futuro de la red eléctrica o garantizando suministro ante cortes inesperados. La energía se almacena en baterías y su funcionamiento se basa en varias tecnologías[54][55], de entre las que se pueden destacar:

- Plomo-ácido
- Estacionaria
- Monobloque o *Monoblock*
- Gel
- Electrolito absorbido o *Absorbed Glass Mat (AGM)*
- Ión litio



Figura 3-9. Batería de ión litio[46]

Se podría mencionar las baterías de plomo-ácido como las que presentan una tecnología más antigua (y por tanto más consolidada) o las *monoblock* (más usadas en el sector de la movilidad), pero de todas ellas, la de mejores prestaciones de manera general es la de ión litio; sin embargo esto implica un mayor coste que las demás. No podemos olvidar que el litio es un mineral que habrá que extraer por minería; el 85% del total de este material se encuentra en el llamado Triángulo del Litio, entre Argentina, Bolivia y Chile[56].



La calidad de una batería queda determinada por sus características[56][58], las cuales se mencionan a continuación brevemente. Una de las magnitudes más importantes será la tensión, que deberá ser compatible con la de los paneles. Otra magnitud característica es la capacidad de la batería es la cantidad de energía que es posible almacenar en ella; normalmente se mide en términos energéticos (Wh) o de capacidad (Ah). Esta segunda unidad dimensional nos hace evidente que, sabiendo la capacidad y la intensidad nominal, sabremos el tiempo que tarda nuestra batería en descargarse. La batería queda caracterizada también por la vida útil, que se define como el período de tiempo en el que mantiene teniendo una capacidad total del 80% de su capacidad nominal. Otra de las características a la que habrá que prestar especial atención para su conservación y alargar su vida útil es la profundidad de descarga, o *Depth of Discharge* (DOD). La DOD se indicará en valor porcentual e indicará la relación de capacidad descargada en un ciclo frente a la capacidad total; es inversamente proporcional al número de ciclos de carga y descarga que puede tener la batería. Esto se traduce en que una batería que puede descargarse en mayor grado durará menos debido a su desgaste.

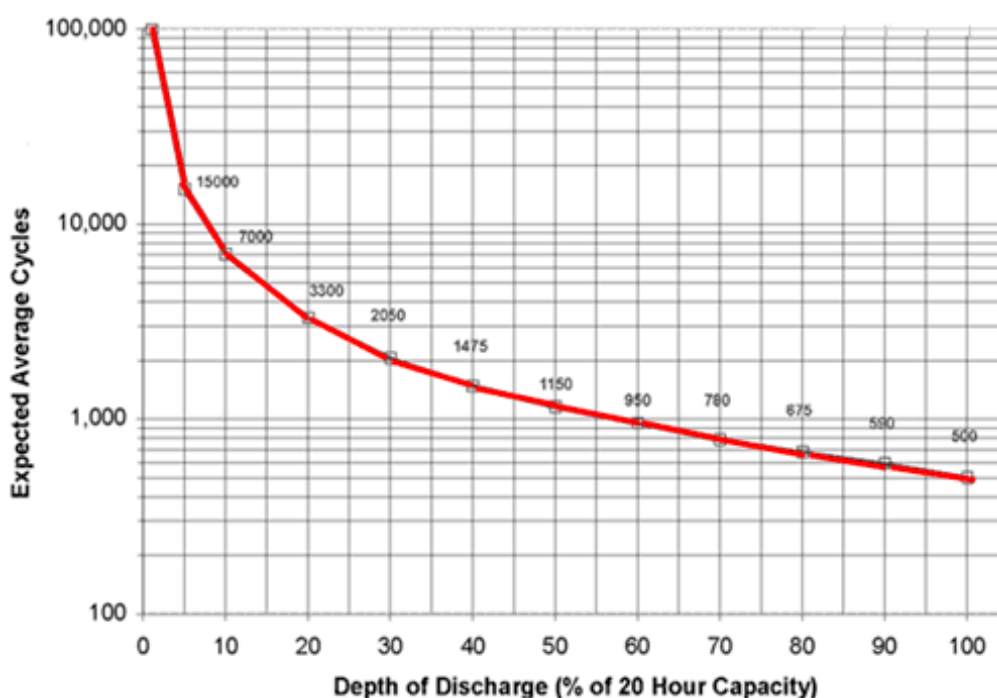


Figura 3-10. Ciclos de carga y descarga frente a la profundidad de descarga[59]

También se puede hablar del rendimiento de una batería, pero habrá que especificar si hablamos del farádico o del energético. Con los dos nos referimos a la relación entre la energía extraída del dispositivo y la necesaria para volver al estado inicial, la diferencia es que en el primero hablamos de carga en Ah y el segundo de energía en Wh.

En cuanto al coste de la batería en una instalación fotovoltaica, en vista a los datos obtenidos mediante la búsqueda en catálogo es predecible su alto peso en el coste total. Se han recopilado una serie de datos para poder estimar el precio de las baterías en función de su capacidad energética.

Tabla 3-2. Precios de baterías fotovoltaicas en función de su capacidad[46]. Elaboración propia

Capacidad (Wh)	Precio de la batería (€)
281,6	213,96
640	537,59
1 280	972,89
1 600	1 133,35

2 400	1 225,75
2 800	1 353,89
3 500	1 880,4
3 840	2 310,86
4 800	2 388,25
6 300	3 555,95
6 500	4 473,87
7 500	4 691,41
8 800	5 116,57
10 000	6 137,6
10 200	7 004,45
11 000	7 066,3
15 400	8 132,65
16 600	10 255,77
19 300	11 850,06

Si hacemos una regresión del mismo tipo que para el inversor, obtendremos que el coste que supone el almacenamiento mediante baterías de ión litio en una instalación fotovoltaica se puede modelar mediante una ecuación similar. Tomando como tamaño (la energía capaz de almacenar) de referencia 10 kWh y el coste de referencia 6 137,6 € el modelo quedará:

$$\text{Coste [€]} = 6\,137,6 \cdot \left( \frac{\text{Tamaño}}{\text{Tamaño}^*_{\text{referencia}}} \right)^{0,9387}$$

Ecuación 3-4.  
Escalado de costes de baterías de ión litio.  
Elaboración propia[53]

En este caso el nuevo tamaño de referencia queda:

$$\begin{aligned} \text{Tamaño}^*_{\text{referencia}} &= \text{Tamaño}_{\text{referencia}} \cdot \exp \left\{ \frac{0,0434}{0,9387} \right\} \\ &\approx 1,043 \cdot \text{Tamaño}_{\text{referencia}} = 10,44 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Ecuación 3-5.  
Definición de un nuevo tamaño de referencia para las baterías de ión litio. Elaboración propia[53]

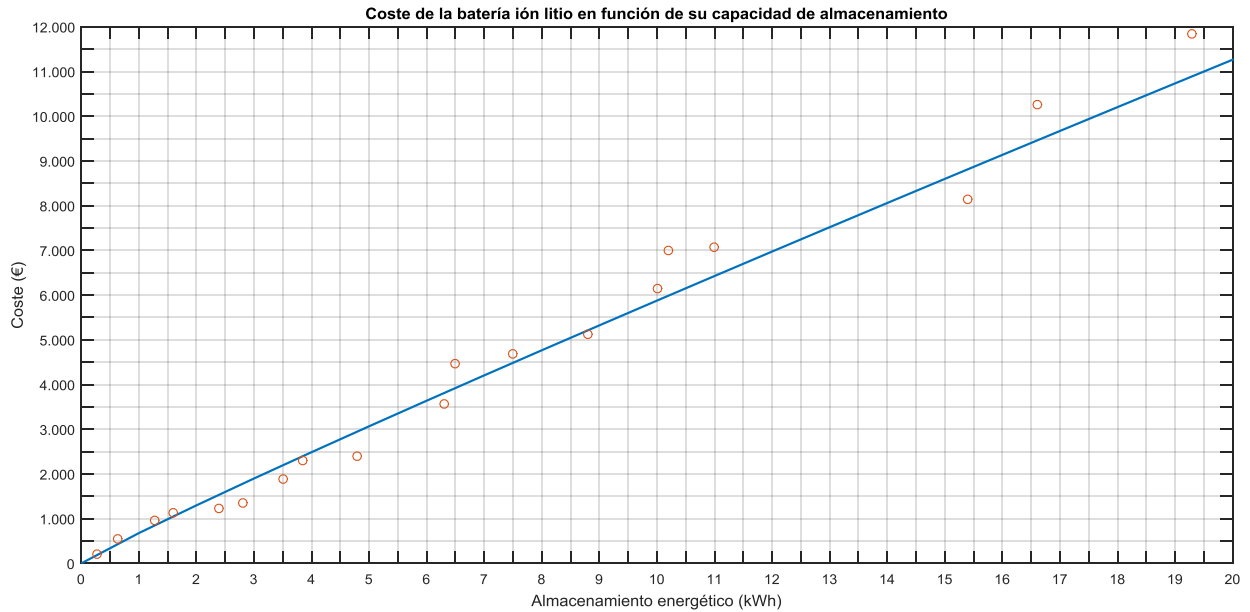


Figura 3-11. Escalado de costes de la batería de ión litio en función de su capacidad de almacenamiento. Elaboración propia

Podemos apreciar que el exponente  $\alpha$  en esta ocasión es 0,9387, lo que nos dice que la relación entre el coste de la batería y su capacidad de almacenamiento es logarítmica al igual que en el caso del inversor, pero de forma más rápida, acercándose al crecimiento lineal. Además, si aumentara más podría llegar al exponencial.

Como ya se ha mencionado, el coste de las baterías, y en concreto las de ión-litio, es muy alto en la actualidad, sin embargo, se observa una tendencia descendente a lo largo de los años igual que con las placas, y se espera que siga disminuyendo, lo que ayudaría a la rentabilidad de añadir almacenamiento mediante esta tecnología[17].

**Evolución de costes de baterías de ión-litio**

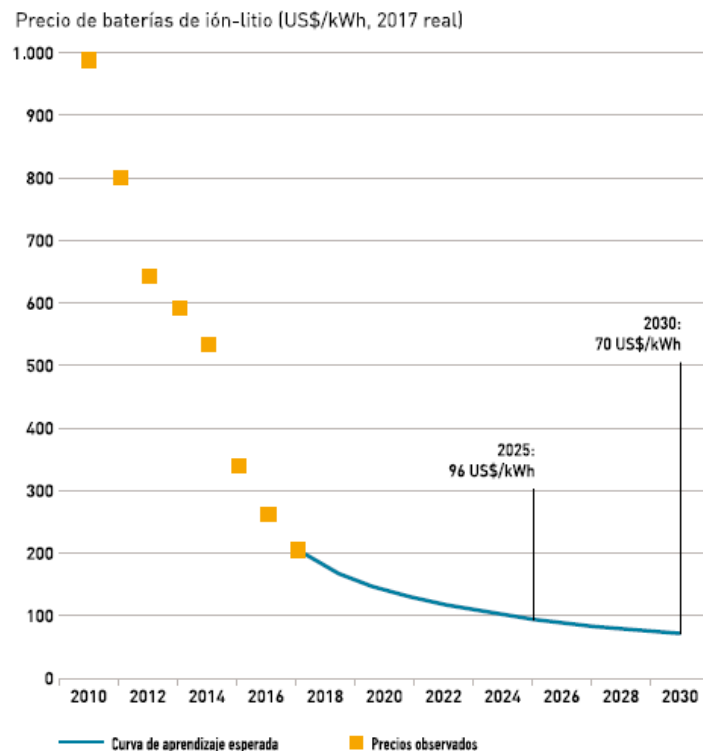


Figura 3-12. Variación de los precios de las baterías de ión-litio y estimación del futuro[17]

### 3.1.2 Otros elementos

#### 3.1.2.1 Estructura

Los paneles deberán ir en estructuras metálicas para darles sujeción. Además, en algunas instalaciones estas estructuras se hacen móviles y se adapta su posición a la del Sol, para aumentar la producción de energía. En el caso de este proyecto se han considerado estructuras fijas, que dan una orientación permanente al panel. Su coste se estima entre 80 € y 90 € por cada par de paneles.



Figura 3-13. Placas fotovoltaicas con estructura metálica de soporte con inclinación fija[38]

#### 3.1.2.2 Contador bidireccional

Será necesaria la instalación de un contador bidireccional que permitirá contabilizar tanto la energía consumida con la generada con las placas fotovoltaicas, es decir, autoconsumida, y la inyectada a la red. Esto será importante para la facturación. Su precio varía entre los 200 y 250 €.

#### 3.1.2.3 Protecciones

La instalación necesitará protecciones tanto para la parte de corriente continua como para la de corriente alterna. Se estima que el total del coste de estas protecciones asciende a 350 €.

## 3.2 Obra y materiales

Para estimar la inversión total que supone la instalación del sistema fotovoltaico completo en el hogar también habrá que tener en cuenta los honorarios del operario que realiza el trabajo de la instalación y el cableado. Esto puede costar unos 750 € en total.

## 3.3 Legalización

Para la puesta en marcha de la instalación debemos regularizarla administrativamente. Los trámites se deben realizar con la Comunidad Autónoma y, por tanto, variará en función del lugar de España en el que se haga la instalación fotovoltaica; sin entrar en más detalle, se pueden consultar en la guía realizada por el IDAE[61] y se toma una media de 300 €, incluyendo el boletín o Certificado de Instalación Eléctrica.

## 3.4 Costes totales

Una vez vistos todos los componentes de la instalación y el resto de las fuentes de gastos, se puede comprobar que la inversión se compondrá de una componente constante, relacionada con la aparataje de medida y protección, además del montaje de la propia instalación y su regularización administrativa; otra componente dependerá de la potencia instalada en paneles fotovoltaicos. Por último, también estará relacionada con el almacenamiento que se decida instalar.

Teniendo esto en cuenta, queda demostrada la importancia del dimensionamiento tanto de la potencia instalada como de baterías; en función de nuestro consumo eléctrico y del recurso solar, el dimensionamiento óptimo de nuestra instalación variará, ya que la función de coste en función de las dos variables será monótonamente creciente, quedando la evolución de costes como se ve en la Figura 3-14.

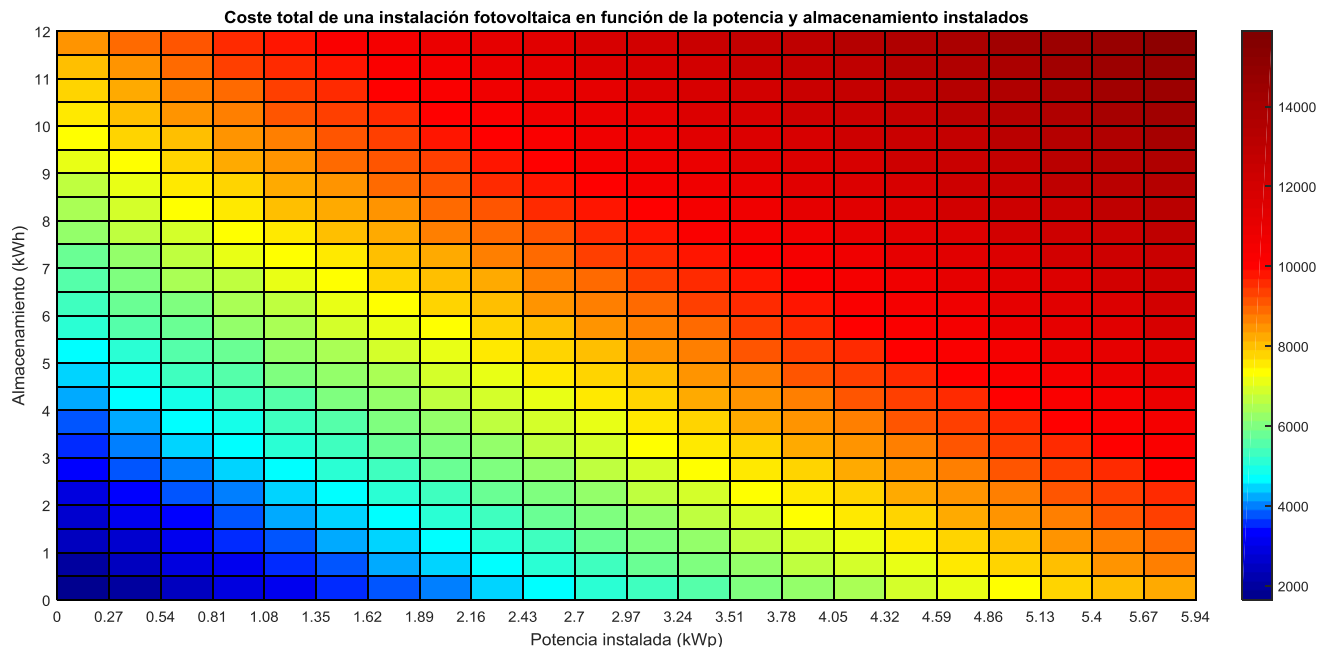


Figura 3-14. Costes totales de la instalación en función de potencia y almacenamiento. Elaboración propia

A continuación, se observan dos gráficas de cómo queda el corte transversal para un almacenamiento en baterías y una potencia dados. Se confirma lo que ya sabíamos, que el coste siempre crece; si sobredimensionamos la potencia de la instalación tendremos mucha generación o capacidad de almacenamiento, pero nos supondrá un coste tan elevado que el tiempo de retorno superará la vida útil de la propia instalación. Por otro lado, si subdimensionamos cualquiera de las dos variables podremos encontrar que ahorramos poco en la factura eléctrica; en cualquiera de los dos casos, puede que el tiempo en el que se recupera la inversión supere la vida útil de la propia instalación o, en el peor de los casos, ni siquiera lleguemos a ver ese momento.

De hecho, según la encuesta realizada el dimensionamiento de la instalación es un lastre para el crecimiento del autoconsumo fotovoltaico en España; un 97,1% de los encuestados respondieron que saber lo que ahorran en la factura y el tiempo que se tarda en recuperar la inversión les ayudaría a decidir si instalarían placas fotovoltaicas.

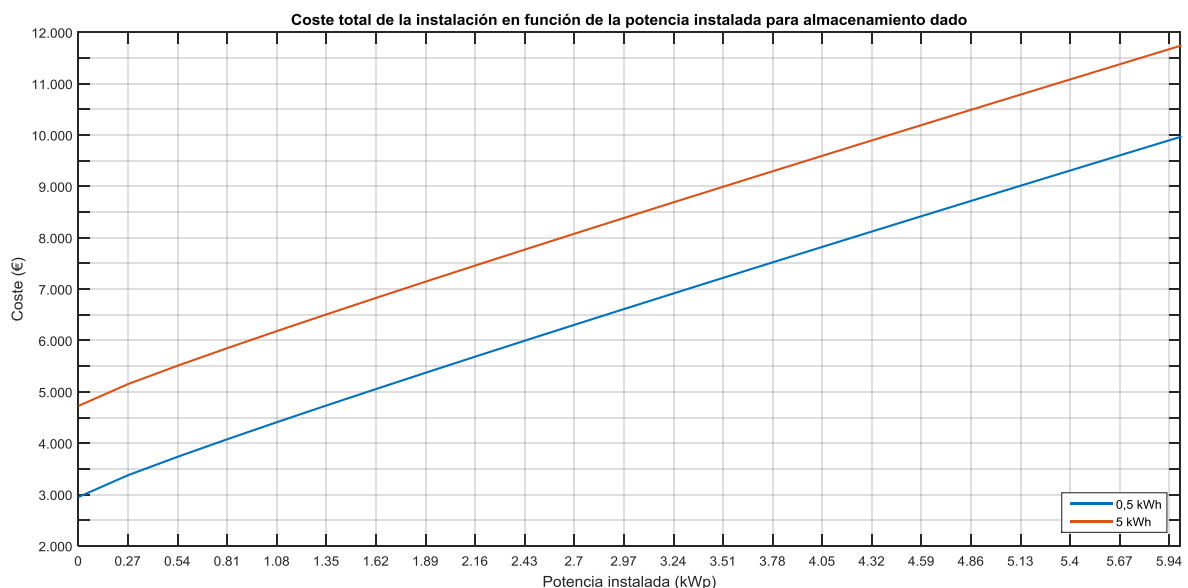


Figura 3-15. Coste total de la instalación en función de la potencia con distintos almacenamientos (0,5 kWh y 5 kWh). Elaboración propia

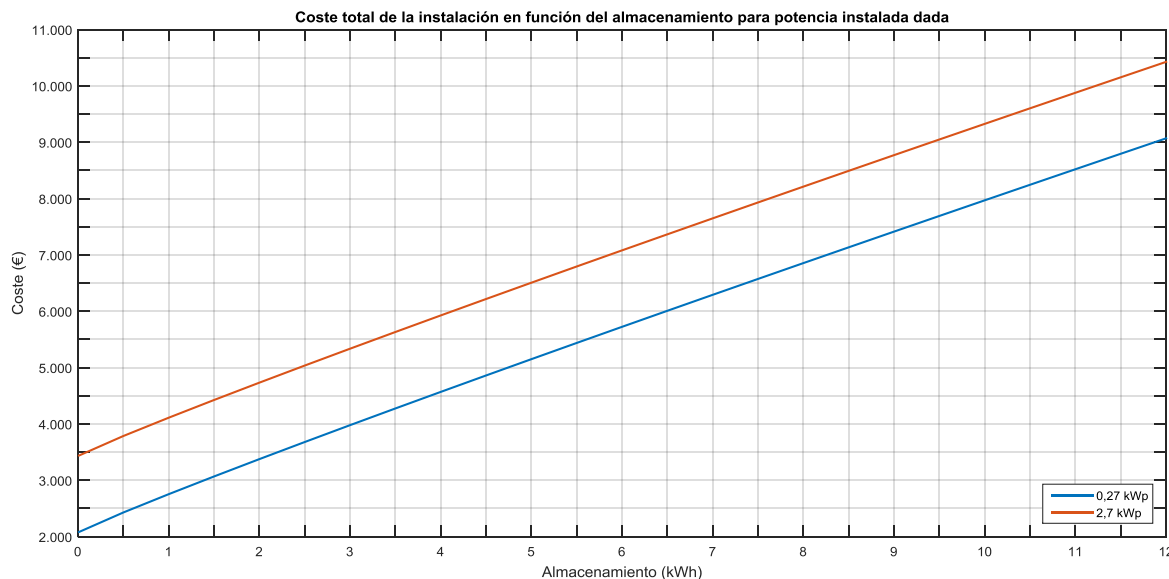


Figura 3-16. Coste total de la instalación en función del almacenamiento con distintas potencias (0,27 kWp y 2,7 kWp). Elaboración propia

### 3.5 Incentivos económicos

La inversión importa mucho, tanto que el 96,6% de los encuestados respondieron que se decidirían por instalar placas fotovoltaicas en sus hogares si percibieran alguna subvención que, al menos en parte, cubrieran los gastos que supone. Sin embargo, ya existen diversos sistemas para incentivar económicamente la decisión de optar por autoconsumo en el hogar.

#### 3.5.1 Subvenciones directas

Uno de los sistemas que existen para disminuir la carga económica que supone la instalación es el de las subvenciones directas. Esta ayuda se hace con carácter autonómico, es decir, cada comunidad autónoma tiene, o no, sus propias subvenciones con sus requisitos y cuantías para sufragar parte del gasto.

Si bien el sistema es el previsto por cada autonomía, tienen criterios comunes en su mayoría. En general, se basa en establecer un máximo de subvención (llamado coste de referencia, elegible o admisible) en función de la potencia instalada y almacenamiento en baterías; si el coste total no supera este máximo se le aplica un porcentaje al total, pero si lo supera se le aplica al máximo. El cálculo del coste máximo varía entre comunidades: un valor fijo, en función de si tiene baterías o no, o en función de la potencia y almacenamiento instalados, entre otros. Sin entrar en detalles, podemos mencionar los casos más llamativos que se pueden encontrar.

En el caso de Andalucía, el coste máximo que no podrá superar la instalación llama la atención porque es muy alto, 1 000 000 €, aunque sin posibilidad de dividir la cuantía en varios proyectos. En el caso de Canarias, para ser subvencionada, la instalación residencial debe superar un mínimo, 2 000 €. Si lo supera, se subvencionará un 45% del total hasta un máximo de 200 000 € por instalación. En Cataluña hay una subvención para la instalación y otra separada para las baterías, subvencionadas en un 70%, porcentaje más alto que veremos en esta materia y que contrasta con el hecho de ser precisamente las baterías una de las partes más caras de la instalación. Otro caso particular es el País Vasco, que tiene un coste de referencia para instalación y batería por separado en función de la potencia, pero para una potencia mayor a 100 kW no subvenciona baterías.

No cuentan con ayudas propias para las instalaciones fotovoltaicas las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla, la Comunidad Foral de Navarra y el Principado de Asturias; esta última sí tiene para instalaciones aisladas, pero no para conectadas a la red eléctrica.

Debemos ser cautelosos al tener en cuenta este apoyo para sufragar el coste de la instalación ya que este aporte económico se verá mermado por el correspondiente régimen tributario en la declaración de la renta.

### 3.5.2 Bonificaciones fiscales

Aunque las subvenciones económicas concedidas por las autoridades autonómicas estén sujetas al pago de impuestos por recibirlas, también podemos encontrar ventajas en el pago de otros impuestos que dependen de los ayuntamientos, que tienen competencias sobre impuestos como el Impuestos a Bienes Inmuebles (IBI) y el Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras (ICIO)[79].

Sobre el IBI, el ayuntamiento podrá aplicar bonificaciones potestativas, donde se contemplan reducciones hasta del 50% de lo que le correspondería para aquellos bienes inmuebles donde se hayan instalado sistemas de autoconsumo fotovoltaico. En el caso del ICIO podrá estar bonificado hasta un 95%.

Hasta octubre de 2019, 47 ayuntamientos consideraban bonificaciones para el IBI y 34 una bonificación mayor al 90% del ICIO[80]. Sin embargo, en la práctica no son disfrutadas debido a las altas restricciones que se ponen para su concesión; cabe destacar el caso extremo de Leganés, cuya bonificación al ICIO es del 5%, con la condición de tener instalados 5 kWp por cada 100 m<sup>2</sup>.

No obstante, cabe mencionar los cambios positivos que han sufrido este tipo de iniciativas desde ayuntamientos; no han empeorado en ningún caso y además ha aumentado el número de municipios que toman estas medidas, dejando clara la línea seguida por los consistorios en materia energética que está consolidándose como tendencia.

### 3.6 Coste ambiental

Al ser la energía fotovoltaica renovable, las emisiones directas asociadas a su uso son prácticamente nulas, haciendo que se reduzcan éstas en el sector eléctrico en general. Sin embargo, para un análisis estricto, hay que tener en cuenta las emisiones relacionadas a todas las actividades del proceso productivo. Con este modo de contabilizar las emisiones, en el sector fotovoltaico completo español (no sólo autoconsumo) en 2017 hubo un total de 1 138 ktCO<sub>2</sub> y en 2018 (hasta octubre), 1 406 ktCO<sub>2</sub>; son pocas emisiones comparadas con las que realmente se ahorran al dejar de usar otras tecnologías no renovables, pero hay que saber que no son nulas.

En la Figura 3-17, se puede ver la distribución de las emisiones reducidas en las distintas fuentes, en la que se puede observar que sólo en el sector del carbón ya se ahorran emisiones en torno a 8 MtCO<sub>2</sub>.

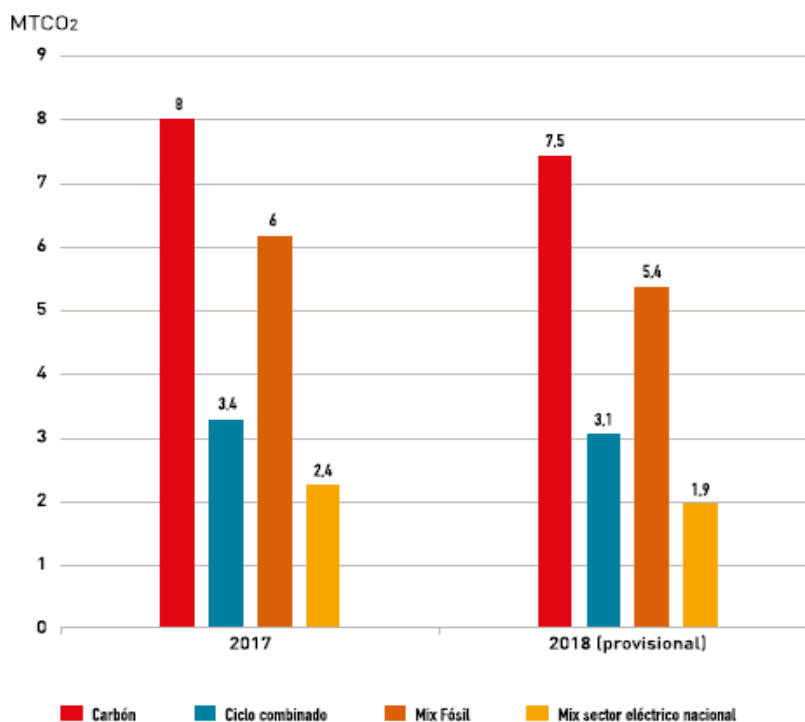


Figura 3-17. Emisiones evitadas por tipo de fuente primaria[17]





# 4 CONSUMO

---

*Not all boats which sail away into darkness never find  
the sun again, or the hand of another child.*

*- "It", Stephen King -*

**Y**a se ha comentado que para que una instalación sea rentable habrá que tener especial cuidado en su dimensionamiento. Una excesiva potencia instalada o almacenamiento podría suponer una inversión tan grande que, por mucho que se ahorrara, no se pudiera amortizar la inversión hasta pasado mucho tiempo; una instalación muy pequeña podría provocar que el ahorro fuera muy pequeño, llevando a la misma consecuencia. Por tanto, es fácil concluir que un dimensionamiento óptimo de la instalación es fundamental para conseguir un ahorro que haga que la inversión para dicha instalación se recupere en el menor tiempo posible, pero para su cálculo, además del dato de producción fotovoltaica, hará falta una variable más, el consumo.

Por ello, se considera necesario hablar del consumo eléctrico y de su distribución a lo largo del día. Además, se traducirá a términos económicos para poder calcular el ahorro, que es lo que nos permite amortizar la instalación.

## 4.1 Consumo eléctrico

El consumo de electricidad variará a lo largo de las horas del día, en función de nuestros hábitos y modo de vida. Además, la distribución horaria del consumo puede estar influida por la tarifa de acceso a la red que tengamos contratada[81]; este trabajo se centra en la 2.0A (tarifa simple) y 2.0DHA (tarifa con discriminación horaria).

La diferencia entre estas modalidades se puede apreciar en los perfiles iniciales de carga publicados[82] para los tipos de consumidores 4 (potencia contratada entre 50 kW y 15 kW) y tipo 5 (potencia contratada menos de 15 kW, nuestro caso)[83]; el perfil *a* corresponde a la tarifa 2.0A y el *b* a la 2.0DHA. Estos perfiles iniciales se usan para el cálculo de los perfiles finales (método también publicado), que se usan para la liquidación de energía de aquellos consumidores sin contador que permita el registro de consumo; en este documento se usarán como consumo horario tipo de sendas tarifas. Los perfiles finales horarios de cada mes deben haber sido trasladados a las autoridades competentes 5 días después de terminar y son publicados por Red Eléctrica de España (REE)[85].

Sin embargo, los perfiles finales nos dan la energía consumida en unidades por unidad, para conocer el dato en unidad de energía tendremos que conocer la energía consumida anualmente. Si se intenta encontrar este dato se pueden encontrar ciertas diferencias en función de la fuente.

Por ejemplo, el IDAE en un estudio llamado SPAHOUSEC I[86] lo cifra en 3 487 kWh y hace un estudio pormenorizado de los tipos de vivienda; por desgracia, este estudio es de 2011 y no hay ninguno a tal nivel de detalle desde entonces. Otro dato de consumo anual nos lo da REE, 3 272 kWh, aunque no nos informa del año de este dato, por lo que podría haber pasado mucho tiempo; sí nos da una distribución por meses.

Los datos más recientes que se encuentran son publicados en julio de 2019. Uno es del IDAE, que cifra el consumo medio anual residencial en 3 790 kWh en el año 2017[88]. Este dato hay que tratarlo con cierto cuidado, ya que la UNEF nos da otro[89], basándose en datos de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC)[90], de 2 240 kWh anuales de consumo en una residencia con tarifa 2.0A, que representan el 83% de los consumidores domésticos, entendiéndose estos como los que tienen contratada una potencia instalada menor a 10 kW. Por otro lado, en las que tienen 2.0DHA se puede observar en la Figura 4-1 que el consumo energético será mayor.

**Consumo medio de los doce meses anteriores a cada fecha (kWh/cliente y año)**

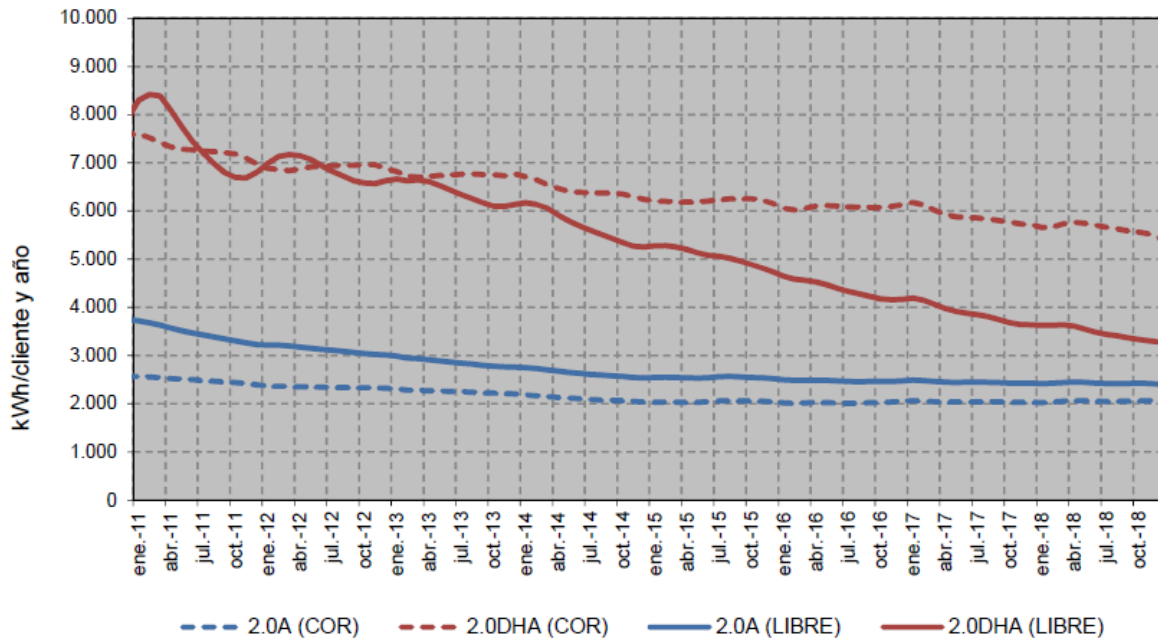


Figura 4-1. Consumo eléctrico medio residencial mensual de 2.0A y 2.0DHA, en Comercializadoras Oficial de Referencia (COR) y mercado libre[90]

Como es natural, cada día tendrá una distribución horaria de consumos distinta, notándose diferencias en función de la época del año en la que estamos o incluso de la festividad del día en cuestión. Se representan a continuación los perfiles de consumo 2.0A y 2.0DHA de dos días separados en el año.

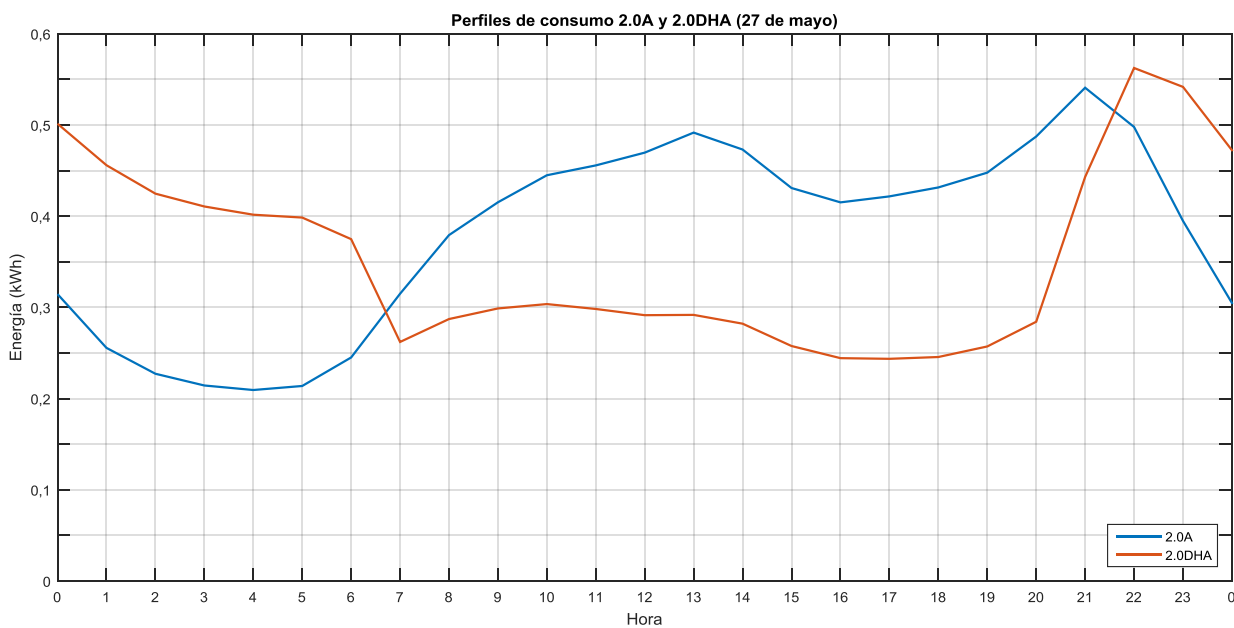


Figura 4-2. Perfiles de consumo 2.0A y 2.0DHA del 27 de mayo. Elaboración propia.

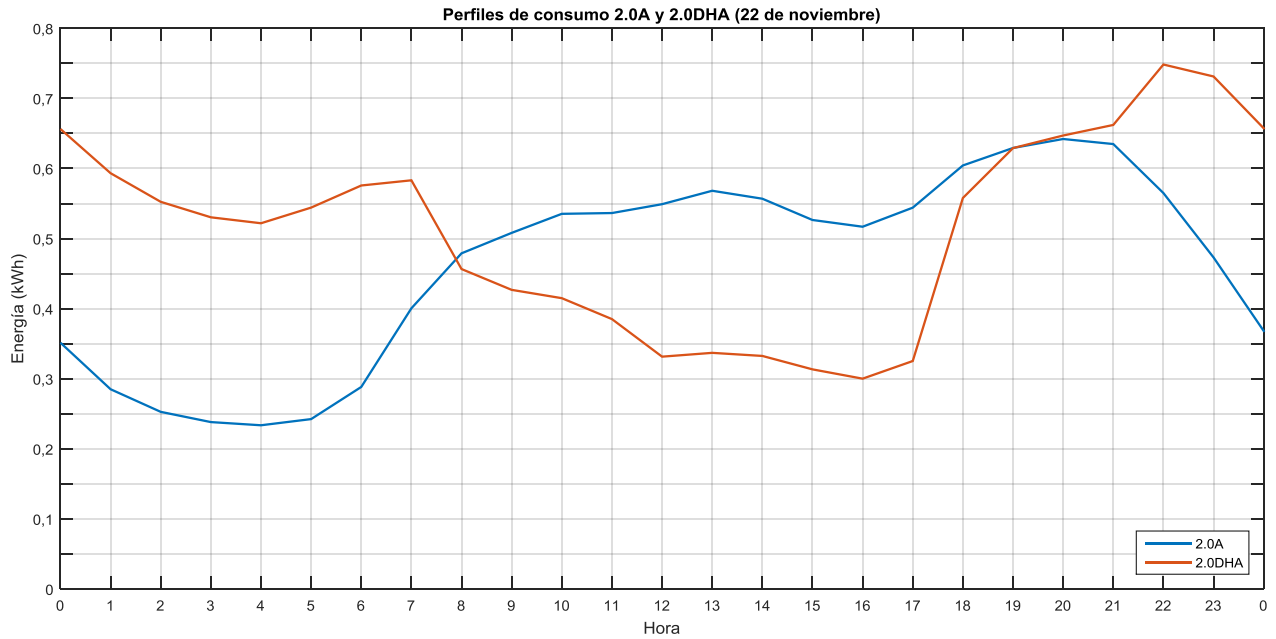


Figura 4-3. Perfiles de consumo 2.0A y 2.0DHA del 22 de noviembre. Elaboración propia

Se puede apreciar que las curvas que corresponden a la misma modalidad de consumo se asemejan, independientemente del momento del año en el que estemos (Figura 4-2 y Figura 4-3), aunque sí varían los valores, por lo tanto, no será necesario hacer un análisis por meses de aquí en adelante. Sin embargo, como es de esperar, sí se aprecian diferencias entre la 2.0A y 2.0DHA. En las horas centrales del día, esta última tendrá un consumo más bajo, mientras que al principio y al final del día presentará valores mayores que la 2.0A.

Este consumo energético puede ser paliado mediante la energía que produzca la instalación fotovoltaica del usuario, esto es, mediante autoconsumo. Como se ve en Figura 4-2 y Figura 4-3, aunque muy variable, habrá consumo energético todo el día, sin embargo esto no se puede decir de la producción fotovoltaica; sólo se genera energía fotovoltaica cuando hay sol, esto es indiscutible, de ahí la importancia de sincronizar el consumo con las horas de generación. La Figura 4-4 y la Figura 4-5 representan cómo quedaría el consumo energético de la red eléctrica si se tiene una instalación fotovoltaica de autoconsumo de 0,27 kWp y de 1,35 kWp (1 y 5 placas fotovoltaicas respectivamente), tanto para un consumo que siga el perfil 2.0A como 2.0DHA, para un día como el 15 de agosto, con mucha generación solar.

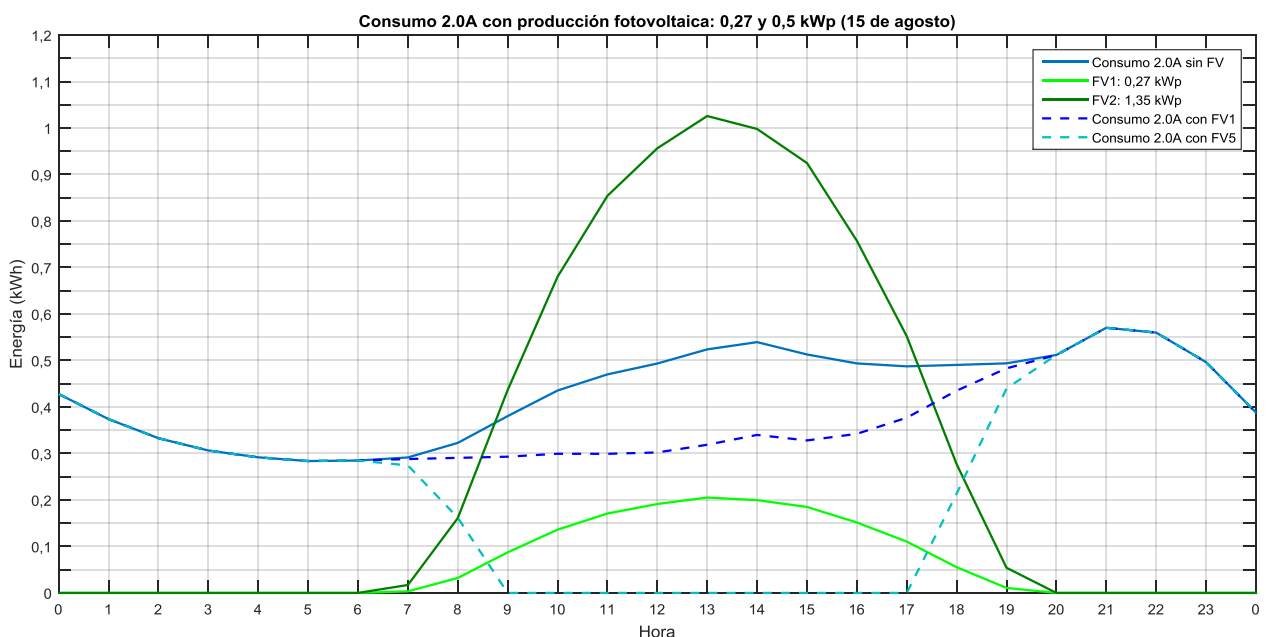


Figura 4-4. Consumo 2.0A con producción fotovoltaica: 0,27 y 1,35 kWp. Elaboración propia

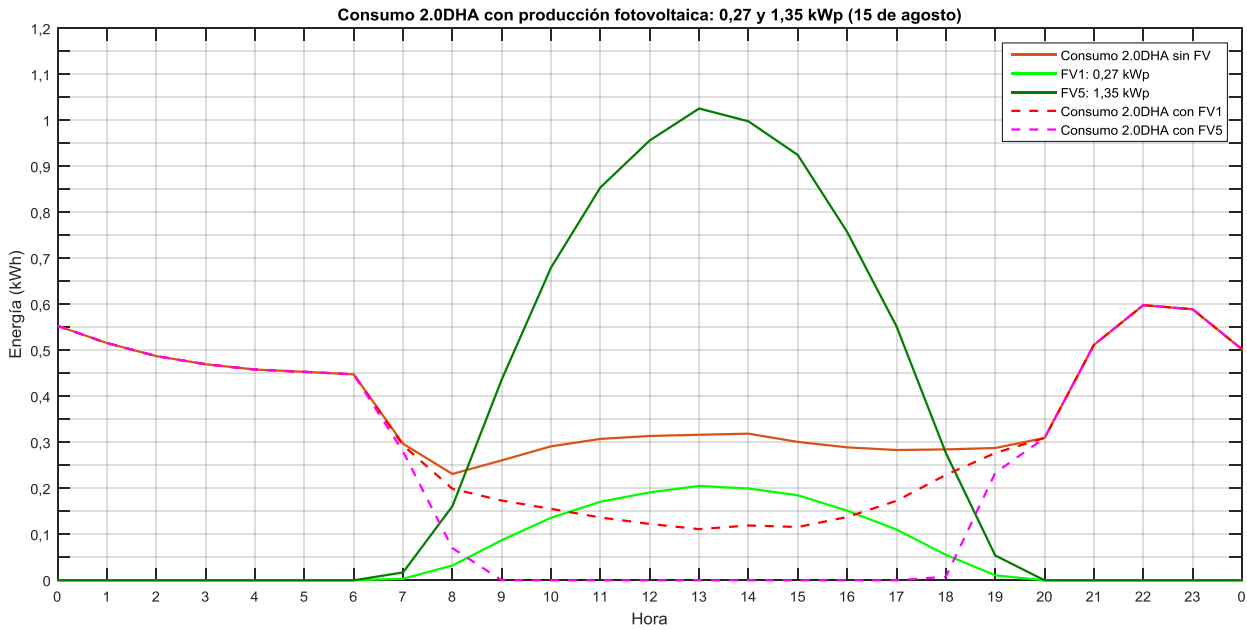


Figura 4-5. Consumo 2.0DHA con producción fotovoltaica: 0,27 y 1,35 kWp. Elaboración propia

Observando los consumos netos, podremos darnos cuenta de que ambos sufren sendas disminuciones con el uso de la instalación fotovoltaica; cuanto mayor es la dimensión de la instalación, mayor será la diferencia. Esta diferencia de consumo debida al uso de las energías renovables provoca que la demanda vista por los operadores de las redes eléctricas aumente bruscamente a últimas horas de la tarde y es tan conocida que en California la bautizaron *curva de pato* [93][94] (compárese con la silueta del animal representado en la Figura 4-6); el caso de Hawaii era más drástico, y al ser la curva de consumos (o de demanda) más exagerada la llamaron *curva de Nessie* [95][96], porque recuerda al monstruoso ser que se dice que habita el famoso lago de Escocia.

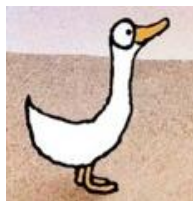


Figura 4-6. Un pato[97]

De hecho, se pueden apreciar los dos efectos en las gráficas; para una instalación de 0,27 kWp, el consumo se reduce, generándose esa zona cóncava (con mínimo), pero para el caso de 1,35 kWp, el consumo de la red eléctrica se reduce tanto que se anula durante algunas horas, lo que arroja dos conclusiones. La primera de ellas es directa, toda esa energía es autoconsumida de lo generado por la propia instalación; la segunda es que, si la energía fotovoltaica ha sido suficiente para abastecer la demanda del usuario, podría darse la situación de haber sobrado energía, esto es, haber excedentes.

En el caso de haber excedentes, podrían hacerse dos cosas. Por un lado, podríamos inyectar esa energía sobrante a la red, acción que estaría remunerada para la modalidad con excedentes acogida a compensación introducida en el RD 244/2019. Otra posibilidad será almacenar dicha energía sobrante en baterías, estrategia que, además de estar permitida por el citado Real Decreto sin cargo ninguno, se recomienda para ralentizar la curva de consumos tras la puesta de sol, mitigando el efecto indeseable de las curvas anteriormente descritas.

El funcionamiento de la instalación vendrá dado por el orden de prioridad de las distintas fuentes de energía para el consumo. En primer lugar, se intentará consumir de lo producido mediante la instalación fotovoltaica. En este caso pueden darse dos situaciones; puede que no haya suficiente producción para cubrir la demanda (caso de la instalación de 0,27 kWp) o que sí la haya (caso de 1,35 kWp). Si no hay excedentes quiere decir que todavía hace falta energía para satisfacer la demanda; la energía restante se sacará de la batería y si no se puede, finalmente se recurre a la red eléctrica. No obstante, si nos encontramos en la situación en la que sí fuera suficiente la energía fotovoltaica generada en la instalación para cubrir la demanda, no habrá que recurrir ni a la batería ni a la red, y los excedentes se gestionarán según lo descrito en el párrafo anterior.

Cabría preguntarse qué situaciones son las que impiden que se pueda obtener la energía de la batería y, obviamente, la más simple en la que se puede pensar es que no haya energía almacenada; sin embargo, se ha visto que no es recomendable que una batería se descargue completamente, ya que podría acortar la vida útil del elemento que, por otra parte, también se ha visto que es costoso. Por ello, se introduce como condición para que la batería no ceda energía que se encuentre en su máxima profundidad de descarga; se toma una DOD del 80%, que es un valor muy alto pero verosímil.

Para comprobar el efecto de incluir almacenamiento con baterías en la instalación en el consumo eléctrico, se realizan simulaciones para sendos consumos, 2.0A y 2.0DHA, esta vez únicamente con una instalación de 1,35 kWp, ya que de las dos anteriores es la única que lograba crear excedentes.

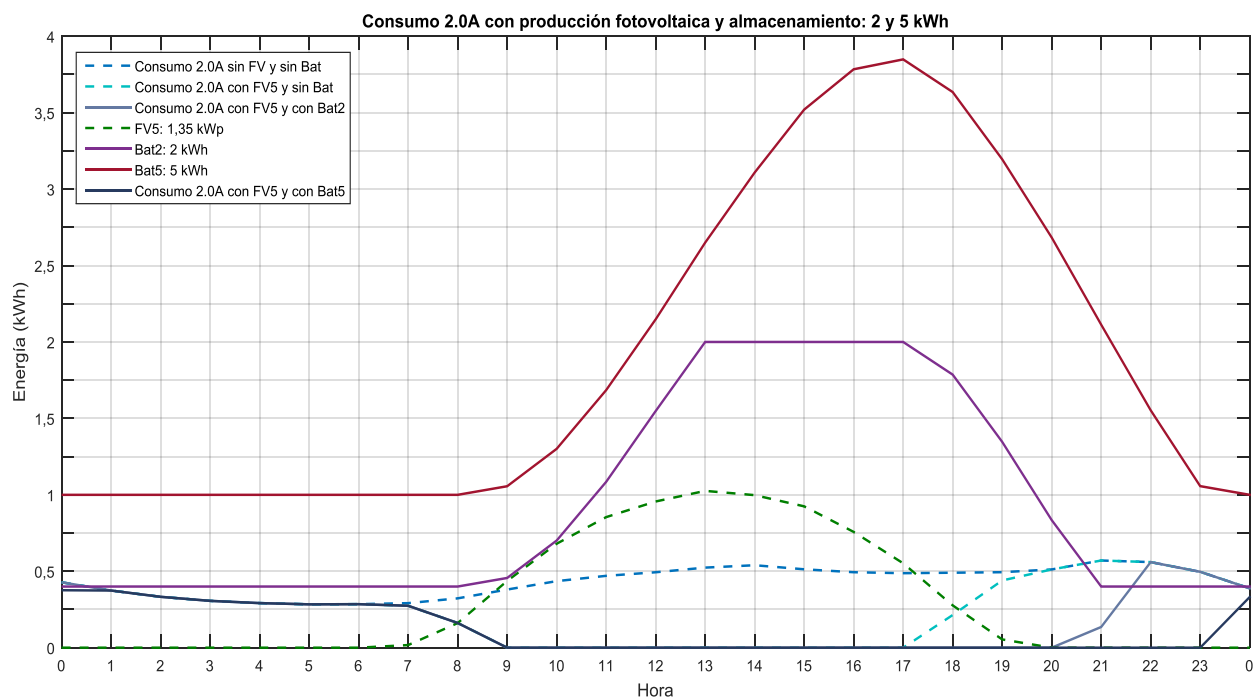


Figura 4-7. Consumo 2.0A con producción fotovoltaica y almacenamiento: 2 y 5 kWh. Elaboración propia

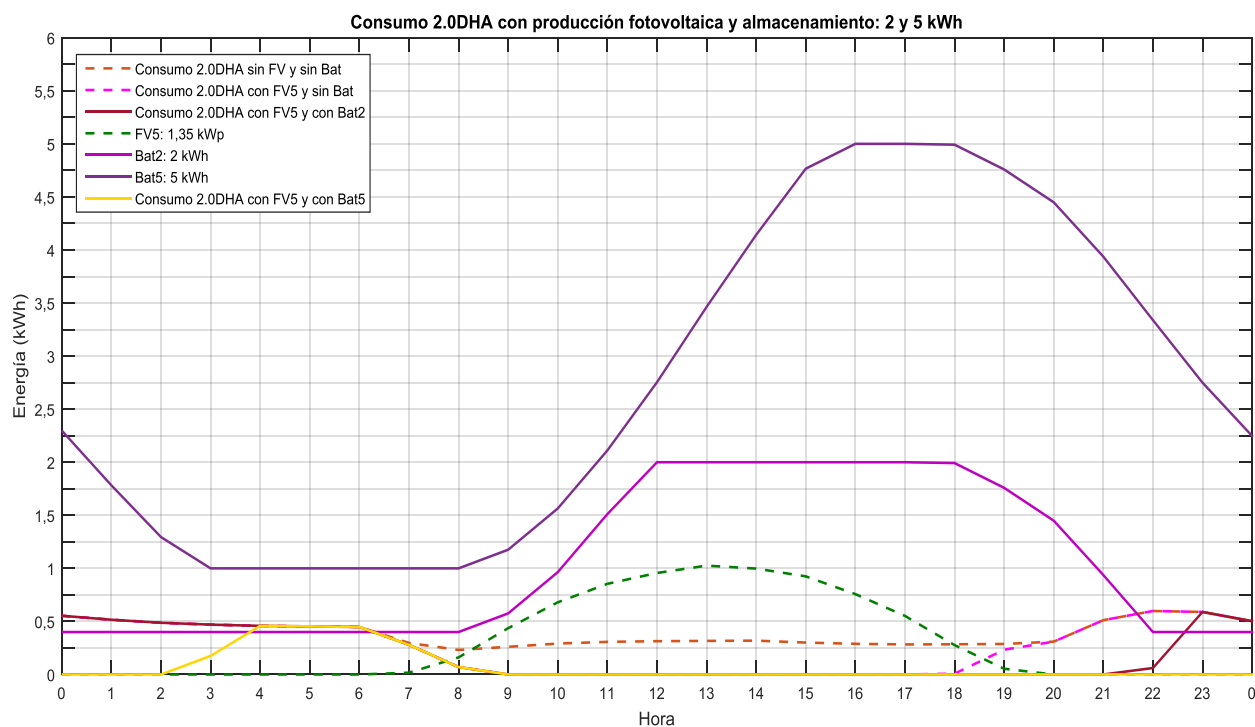


Figura 4-8. Consumo 2.0DHA con producción fotovoltaica y almacenamiento: 2 y 5 kWh. Elaboración propia

En primer lugar, observando la Figura 4-7, el caso del perfil 2.0A, se puede apreciar que las dos baterías se empiezan a llenar a las 8 de la mañana y no es hasta que la producción fotovoltaica desciende y se iguala al consumo cuando empieza a descargarse, a partir de las 5 de la tarde. A esta hora sería cuando, sin almacenamiento en nuestra instalación, empezáramos a consumir de la red, sin embargo, con baterías de 2 y 5 kWh no consumimos hasta las 8 y 11 de la noche respectivamente (el consumo se habría anulado a las 9 de la mañana con y sin baterías), haciendo más progresivo el aumento de demanda de la red eléctrica, consiguiendo “*decapitar el pato*”[94][98], esto es, suavizar el incremento de consumo de la red observado típicamente al final del día. Si nos centramos en las diferencias que suponen las capacidades de las baterías, aparte del tiempo que tardan en descargarse, podemos ver que la de 2 kWh llega a su máximo y no puede cargarse más, mientras que la de 5 kWh no se llena nunca, llegando a un pico de menos de 4 kWh de energía almacenada.

El caso del perfil 2.0DHA, Figura 4-8, se siguen las mismas tendencias, sin embargo, presentará algunas diferencias bastante destacadas. De igual manera que el 2.0A, hasta las 9 de la mañana el consumo desde la red eléctrica no se anula; la batería de 2 kWh sigue llenándose al completo y se comienza a descargar a las 6 de la tarde (hora a la que se empezaría a consumir de la red si no se tuvieran baterías), evitando que consumamos de la red hasta las 9 de la noche. En este caso llama la atención la batería de 5 kWh, que esta vez sí se llena al tope de su capacidad, ya que su instalación supondría que sólo consumiéramos directamente de la red desde las 2 de la madrugada a las 9 de la mañana, 7 horas al día, que además suponen un bajo porcentaje del consumo diario.

En resumen, podemos abstraer varias líneas generales de la evolución del consumo eléctrico con la presencia de una instalación fotovoltaica con almacenamiento y encontrar algunas diferencias dependiendo del perfil. Tanto con baterías como sin ellas, por la mañana el consumo se anula en el mismo momento. A partir de este momento, la energía fotovoltaica que sobra del autoconsumo se almacena en las baterías, pero las características del proceso serán distintas para cada perfil de consumo; como en el 2.0DHA el consumo será menor en las horas centrales, sobra más energía, que irá a parar a la batería. Aquí entran en juego las capacidades de las baterías porque, para el caso de 2 kWh, al ser de menor capacidad, no importa lo que sobre, ya que se llenará rápido y comenzará a haber excedentes. Sin embargo, para la de 5 kWh, sí importa la cantidad de la energía sobrante, porque si es una cantidad alta se llegará al máximo de capacidad de la batería y comenzará a haber excedentes que se verterán a la red. Para un consumo 2.0A será más difícil que haya excedentes si la capacidad de la batería es muy alta, ya que sobrará menos energía del autoconsumo directamente de las placas.

A raíz de esta reflexión se hace evidente que si la energía que sobra al autoconsumir de la producción fotovoltaica se almacena se podrá reducir el consumo posterior, cuando no haya generación solar. No obstante, hará que se reduzcan los excedentes vertidos a la red que están compensados económicamente, por lo que al mismo tiempo estaríamos pagando más por una batería de más capacidad y reduciendo la compensación en la factura.

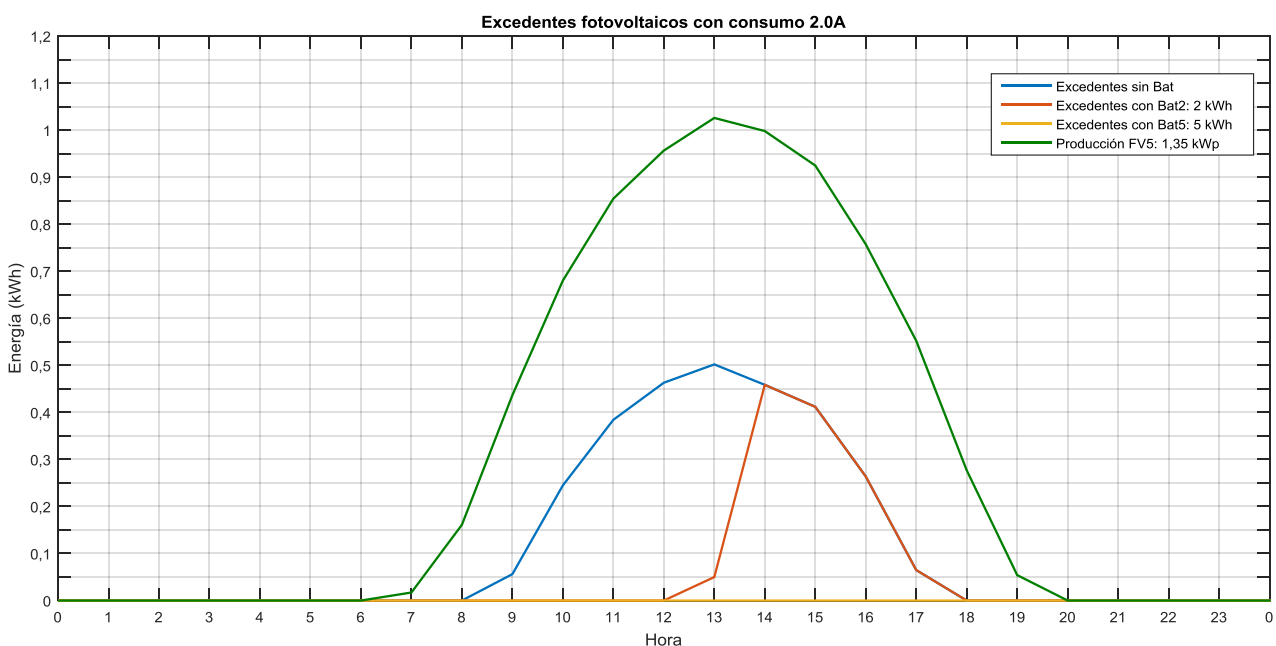


Figura 4-9. Excedentes fotovoltaicos para un consumo 2.0A. Elaboración propia

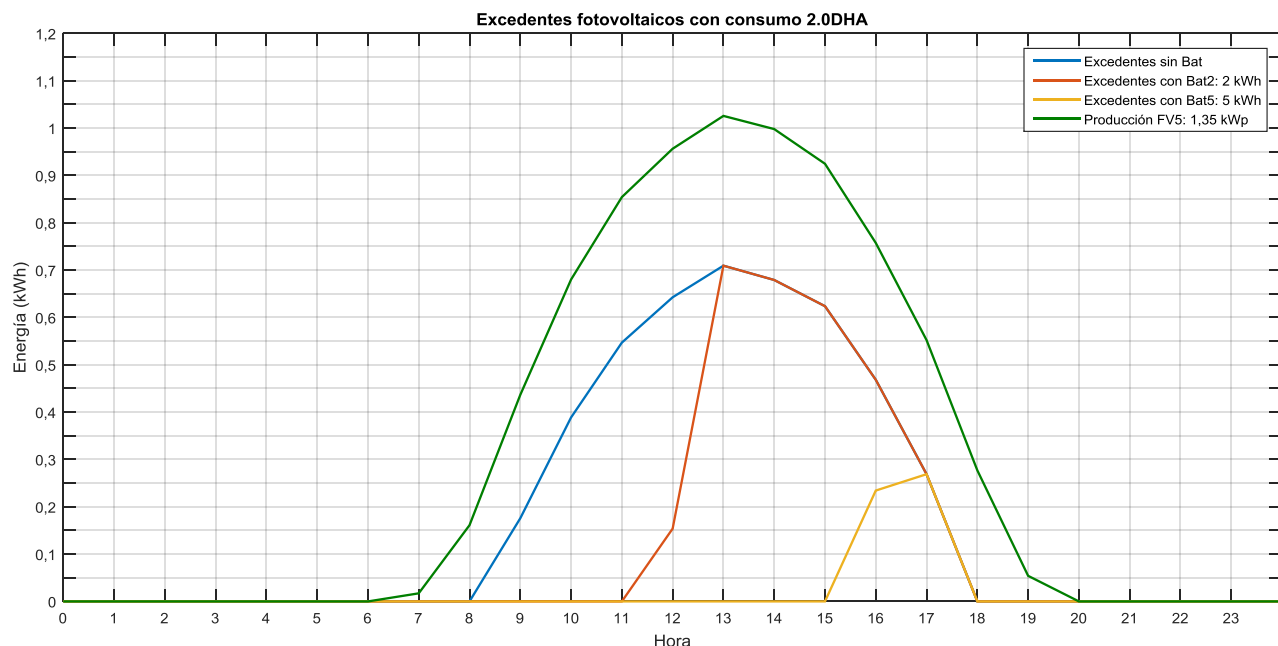


Figura 4-10. Excedentes fotovoltaicos con consumo 2.0DHA. Elaboración propia

Analizando la Figura 4-9 y la Figura 4-10, se pueden saber los excedentes que se verterán a la red eléctrica para los consumos 2.0A y 2.0DHA sin baterías y con almacenamiento de 2 y 5 kWh. En ambos tipos de consumos observamos que sin almacenamiento los excedentes tendrán la misma forma que la producción fotovoltaica, pero de menor valor; los dos empezarán a tener excedentes desde las 8 de la mañana, pero con el 2.0DHA habrá más excedentes que con el 2.0A, ya que en las horas de la generación es cuando menor consumo tendremos del primero, con lo que queda clara la importancia de la distribución horaria del consumo para obtener más excedentes.

Con una batería de 2 kWh los excedentes empezarán a las 11 y 12 de la mañana y llegando a los picos a la 1 y las 2 de la tarde para los consumos 2.0A y 2.0DHA respectivamente; desaparecerán a las 6 de la tarde. De nuevo la forma será parecida, habiendo sólo un pequeño desfase horario, aunque con diferencias numéricas de valores.

La diferencia más notable se ve con la batería de 5 kWh, ya que podremos apreciar cómo para un consumo del tipo 2.0A no habrá excedentes con esta capacidad de almacenamiento. Esto cuadra con lo observado en la Figura 4-7, de la que se dijo que la batería de 5 kWh no llegaba al máximo de su capacidad, por lo tanto, la energía sobrante del autoconsumo iría parar a ella siempre, sin producirse excedentes. Para un consumo 2.0DHA sí habrá una pequeña cantidad de excedentes entre las 3 y las 6 de la tarde ya que, como se ve en la Figura 4-8, la batería sí llega a llenarse, generándose esos excedentes observados en la Figura 4-10.

## 4.2 Consumo económico

Aunque se sepa la energía que se consume y la que se vierte a la red eléctrica en cada momento, lo que interesa al consumidor es el ahorro económico que supondrá la instalación fotovoltaica en la factura. El RD 244/2019 establece que a aquellos que opten por la modalidad con excedentes acogida a compensación se les aplicará el llamado *Mecanismo de compensación simplificada*[11], lo que supone un descuento económico de la energía en la factura; no obstante, este descuento no podrá en ningún caso superar el importe de consumo de energía en el periodo máximo de un mes, es decir, el término económico de la energía podrá como mucho, anularse, pero no suponer un ingreso ni acumularse durante el año. Nótese que en la facturación por energía en la factura se contabiliza tanto el importe por consumo de energía y el importe del peaje de acceso asociado a este consumo, pero este último no podrá verse disminuido en la facturación.

Los precios que se usan para la facturación de energía consumida horaria con contrato con una comercializadora de referencia serán los PVPC; las modalidades 2.0A y 2.0DHA tendrán sendos valores de precios, ya que como se ha visto, no tendrán el mismo consumo horario previsto. Serán publicados junto a los precios de la energía excedente horaria por el Sistema de Información del Operador del Sistema (ESIOS) de REE diariamente[99].

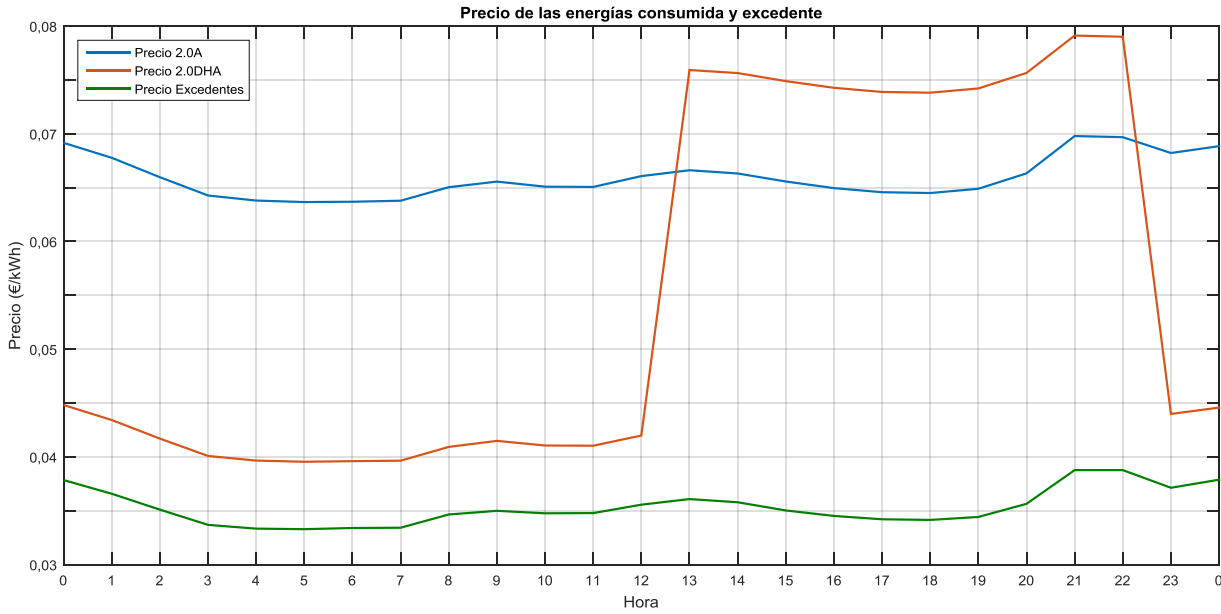


Figura 4-11. Precio de la energía consumida (2.0A y 2.0DHA) y excedente. Elaboración propia. Fuente: [99]

En la Figura 4-11 se puede observar que los precios de la modalidad 2.0A varían poco, mientras que los de la 2.0DHA sufre un gran aumento de de mediodía hasta medianoche; la evolución del valor de los excedentes a lo largo del día será prácticamente igual que la de 2.0A. Los precios 2.0DHA serán menores que los 2.0A en el periodo valle y serán mayores en el punta mientras que los de los excedentes serán menores que los dos durante todo el día. Estos precios dejarán distintos costes económicos por término de energía en función de la potencia y capacidad de almacenamiento instaladas, ya que las dos influirán en los excedentes que, además de disminuir el consumo energético, compensarán el consumo económico.

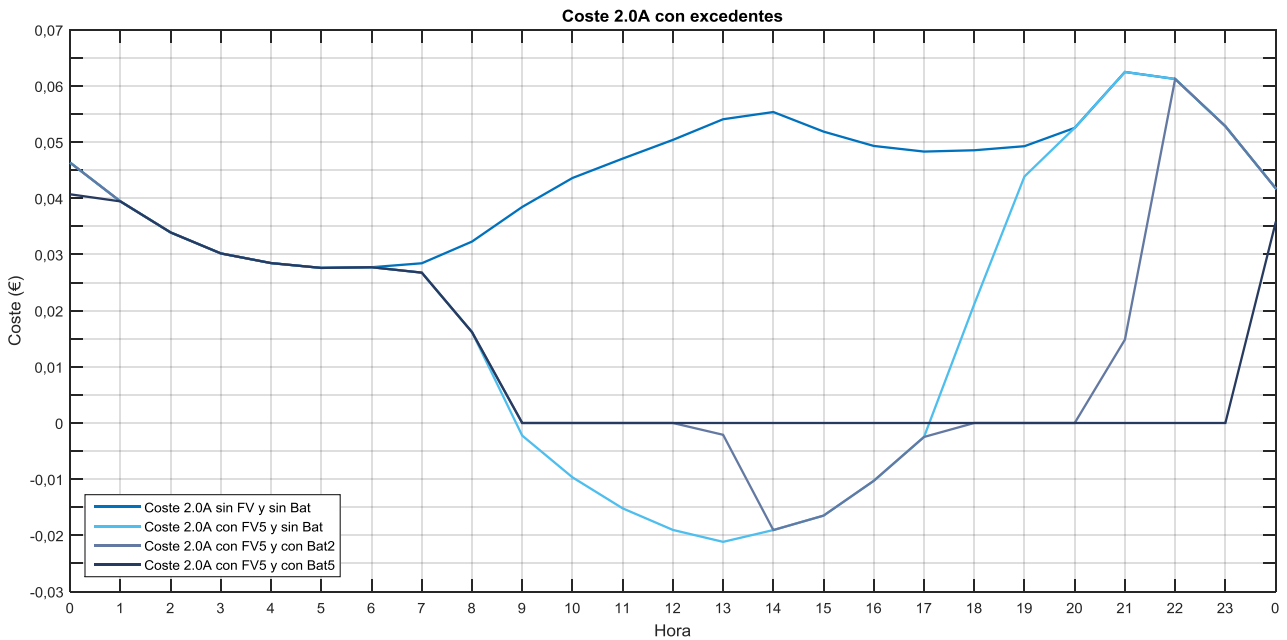


Figura 4-12. Coste 2.0A sin y con compensación de excedentes. Elaboración propia

Para un consumo sin discriminación horaria, 2.0A que vemos en la Figura 4-12, si hay instalación fotovoltaica se empieza a notar una disminución del coste económico de la energía a partir de las 7 de la mañana. En función de si hay baterías o no empezaremos a notar diferencias a las 9; sin batería, a esa hora el coste ya será negativo, esto significa que ya hay excedentes, que serán compensados. A la misma hora pero con baterías el coste sólo se anula, ya que los excedentes que en el caso anterior se inyectaban a la red eléctrica ahora se estarán empleando en llenar las baterías, hasta la 1 post meridiem, cuando la batería de 2 kWh se ha llenado (recordemos que la de 5 kWh no se llena nunca con un consumo 2.0A).



Otra diferencia entre sin y con baterías pasará a las 6 de la tarde, cuando sin baterías ya habrá consumo económico, mientras que con la presencia de almacenamiento el consumo será 0. Esto se debe a que, a esa hora, en el primer caso no hay excedentes y aunque en el segundo tampoco, en éste no hay consumo desde la red eléctrica ya que se consume de las baterías, por lo que tiene sentido que el coste simplemente se anule. Como la batería de 5kWh nunca se llena, toda la energía sobrante del autoconsumo se emplea en almacenarse, por lo que nunca habrá excedente energético y no habrá compensación económica, el coste sólo se anulará (algunas horas).

El coste de un consumo del tipo 2.0DHA (mostrado a continuación en la Figura 4-13) mostrará tendencias similares al del 2.0A, pero tendrá algunas diferencias inherentes a las propias características del consumo.

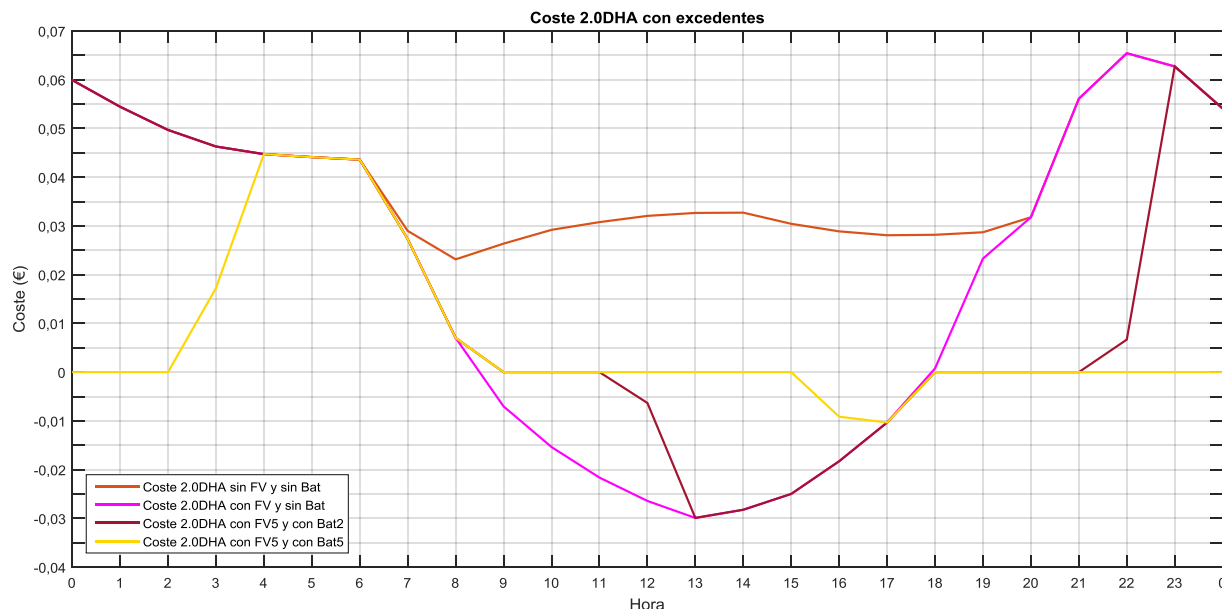


Figura 4-13. Coste 2.0DHA sin y con compensación de excedentes. Elaboración propia

Como hemos visto anteriormente en Figura 4-9 y Figura 4-10, el consumo con discriminación horaria 2.0DHA, al estar más concentrado al principio y final del día, tendrá más excedentes que el 2.0A, por lo tanto, observamos que la compensación será mayor en este caso. Además, como vimos en la Figura 4-8, la batería de 5 kWh sí se llena, por lo que después de su llenado sí habrá excedentes, con su correspondiente compensación económica, aunque sólo es durante una hora (de 4 a 5 de la tarde).

Por lo tanto, se pueden extraer varias conclusiones. Obviamente, la instalación fotovoltaica de por sí hará que se reduzca el consumo; si se instala la suficiente potencia se producirán excedentes, que servirán para la compensación del coste del consumo. La instalación de batería plantea la disyuntiva entre reducir el término energético de la factura con los excedentes o bien almacenarlos y reducir el consumo con esa energía. Esto nos lleva de nuevo, a que un buen dimensionamiento de la instalación nos hará ahorrar el máximo posible, aprovechando las múltiples variables.

### 4.3 Factura eléctrica

Se ha visto el coste económico que supone el consumo energético, pero esto no será lo único que tiene que pagar el usuario. La factura eléctrica se compone de un término variable y otro fijo; el variable corresponde al energético que hemos estudiado que, aunque no lo hayamos diferenciado, está compuesto por un importe por el coste de la energía y otro por el peaje de acceso (que ya hemos dicho que no se compensa). El fijo corresponde a la potencia instalada, que supone  $3,4297055 \text{ €}\cdot\text{mes}^{-1}$ [100] (incluyendo peaje de acceso y coste de comercialización correspondientes a la potencia). Cuando se estudien casos, en este documento se utilizarán 4,6 kW de potencia contratada, por ser un valor típico en el caso doméstico[89].

A este subtotal se le aplica el Impuesto Especial sobre la Electricidad, que es del  $5,11269632\%$ [101], y además se le suma el coste del alquiler del equipo de medida monofásico con discriminación horaria y con posibilidad de telegestión,  $0,81\text{€}\cdot\text{mes}^{-1}$ [100]. Finalmente, a este nuevo subtotal, se le aplica el tipo general del Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA), 21%, y se obtiene el total a pagar en nuestra factura eléctrica.

A continuación, se muestra la factura en los casos estudiados, sin instalación, con instalación de 1,35 kWp sin almacenamiento y con almacenamiento de 2 y 5 kWh, tanto para el consumo 2.0A y 2.0DHA.

Tabla 4-1. Ejemplo de factura anual para un consumo 2.0A. Elaboración propia

2.0A	Sin instalación	Con FV5 sin Bat	Con FV5 y Bat2	Con FV5 y Bat5
Potencia contratada (kWh)	4,6	4,6	4,6	4,6
Término fijo (€)	189,3197436	189,3197436	189,3197436	189,3197436
Energía consumida (kWh)	3 771,22	2 216,57	1 730,11	1 494,31
Energía excedente (kWh)	0	722,23	228,76	0
Coste energía cons. (kWh)	395,63	233,29	181,04	155,33
Coste energía exc. (kWh)	0	31,67	9,52	0
Término variable (€)	395,63	201,62	171,52	155,33
Subtotal 1 (€)	584,9497436	390,9397436	360,8397436	344,6497436
Imp. Esp. Eléc.: 5,11% (€)	29,90848039	19,98874909	18,44973609	17,62194139
Alquiler	9,7	9,7	9,7	9,7
Subtotal 2 (€)	624,558224	420,6284927	388,9894797	371,971685
IVA: 21% (€)	131,157227	88,33198346	81,68779073	78,11405385
Total (€)	755,715451	508,9604762	470,6772704	450,0857388

Tabla 4-2. Ejemplo de factura anual para un consumo 2.0DHA. Elaboración propia

2.0DHA	Sin instalación	Con FV5 sin Bat	Con FV5 y Bat2	Con FV y Bat5
Potencia contratada (kWh)	4,6	4,6	4,6	4,6
Término fijo (€)	189,3197436	189,3197436	189,3197436	189,3197436
Energía consumida (kWh)	3 757,71	2 661,08	2 132,14	1 534,7
Energía excedente (kWh)	0	1 180,27	640	53,89
Coste energía cons. (kWh)	299,62	199,07	132,44	88,69
Coste energía exc. (kWh)	0	52,06	27,76	2,28
Término variable (€)	299,62	147,01	104,68	86,41
Subtotal 1 (€)	488,9397436	336,3297436	293,9997436	275,7297436
Imp. Esp. Eléc.: 5,11% (€)	24,99948909	17,19653979	15,03220689	14,09806179
Alquiler	9,7	9,7	9,7	9,7
Subtotal 2 (€)	523,6392327	363,2262834	318,7319505	299,5278054
IVA: 21% (€)	109,9642389	76,27751951	66,9337096	62,90083913
Total (€)	633,6034716	439,5038029	385,6656601	362,4286445

El primer dato que nos puede llamar la atención es la energía consumida total en el año que, aunque imponemos 3 790 kWh, al usar los perfiles finales de REE nos da un valor menor en los dos casos, ya que si se suman no llegan a dar 1, dando un error menor al 1%.

Salvando esta diferencia podemos apreciar en líneas generales que la instalación fotovoltaica hará reducir el coste energético del consumo de la red, al igual que las baterías. No obstante, estas últimas harán que se reduzca la compensación por excedentes.

Además, hay un fenómeno que, aunque no se aprecia ni en la Tabla 4-1 ni en la Tabla 4-2, hay que mencionar; podría darse que el importe por coste de la energía se anulara, en cuyo caso recordemos no afectaría al coste por peaje de acceso por energía consumida, que no se compensa.

Si hacemos la comparación entre ambos consumos, nos damos cuenta de que, a pesar de que con el 2.0DHA se consume más energía directamente de la red, la correcta coordinación horaria del consumo con los precios, hacen que su facturación al final del año sea menor que en el caso del 2.0A. Sin embargo, si observamos los ahorros que se producen en la factura, Tabla 4-3, se puede apreciar que, en números absolutos, se ahorra menos con un consumo 2.0DHA; esto tiene sentido al ser menor la facturación de éste.

Tabla 4-3. Ejemplo de ahorro con distintas instalaciones para consumo 2.0A y 2.0DHA. Elaboración propia

Ahorro (€)	Con FV5 sin Bat	Con FV5 y Bat2	Con FV y Bat5
2.0A	246,7549749	285,0381806	305,6297122
2.0DHA	194,0996687	247,9378115	271,174827

Si se hace un análisis general del ahorro en función de la potencia instalada y almacenamiento se obtienen las Figura 4-14 y Figura 4-16 (o sus respectivas simplificaciones en 2 dimensiones Figura 4-15 y Figura 4-17), en las que se puede observar que se llega un valor para sendas magnitudes en el que el ahorro llega a un máximo y se satura por mucho que aumentemos cualquiera de las dos. Además, podemos ver que ese valor de saturación es mayor en el consumo 2.0A que en el 2.0DHA en términos económicos absolutos. Evidentemente, el valor de saturación de ahorro en función de la potencia para un almacenamiento dado corresponderá al importe por coste de la energía de la factura que tendríamos sin instalación (que es lo que compensamos con el Mecanismo de compensación simplificada), con sus correspondientes impuestos.

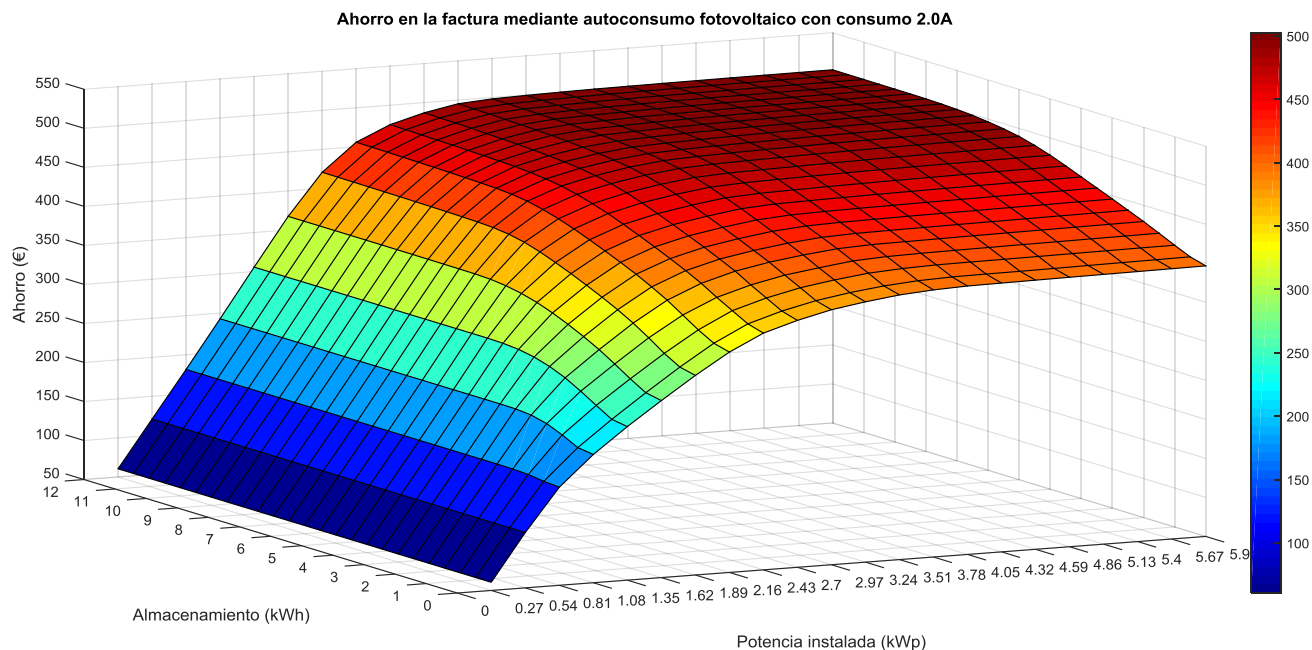


Figura 4-14. Ahorro en la factura mediante autoconsumo fotovoltaico con consumo 2.0A en 3 dimensiones. Elaboración propia

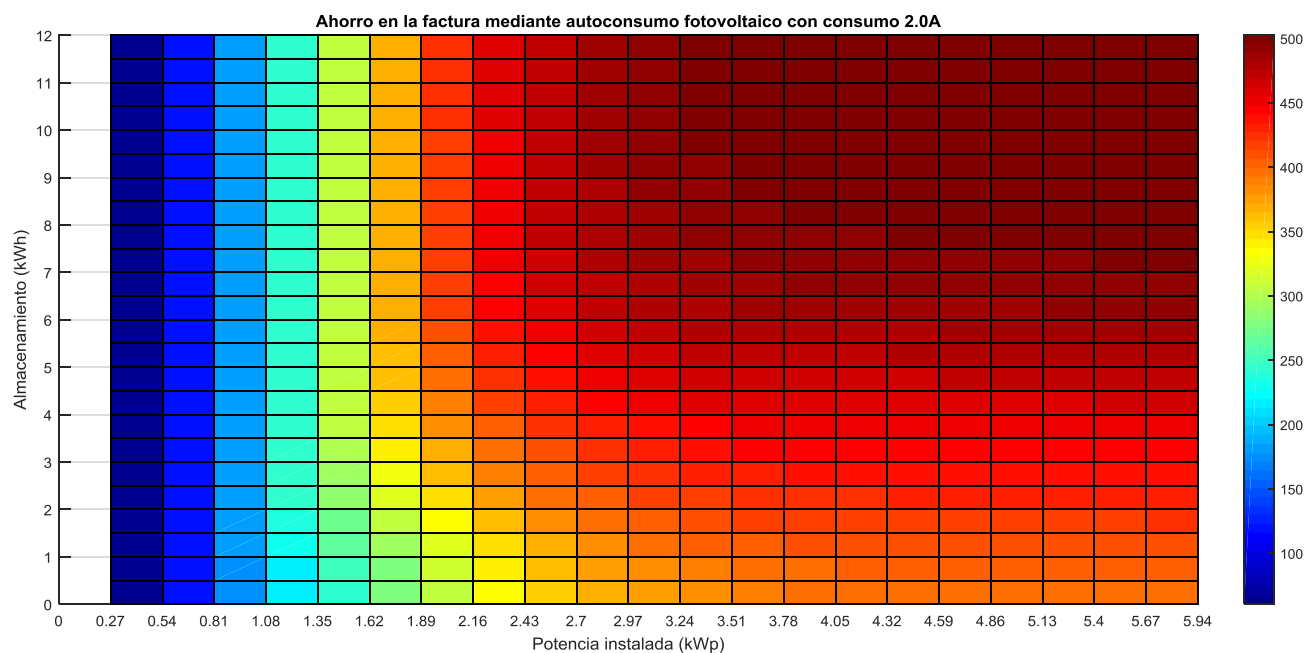


Figura 4-15. Ahorro en la factura mediante autoconsumo fotovoltaico con consumo 2.0A. Elaboración propia

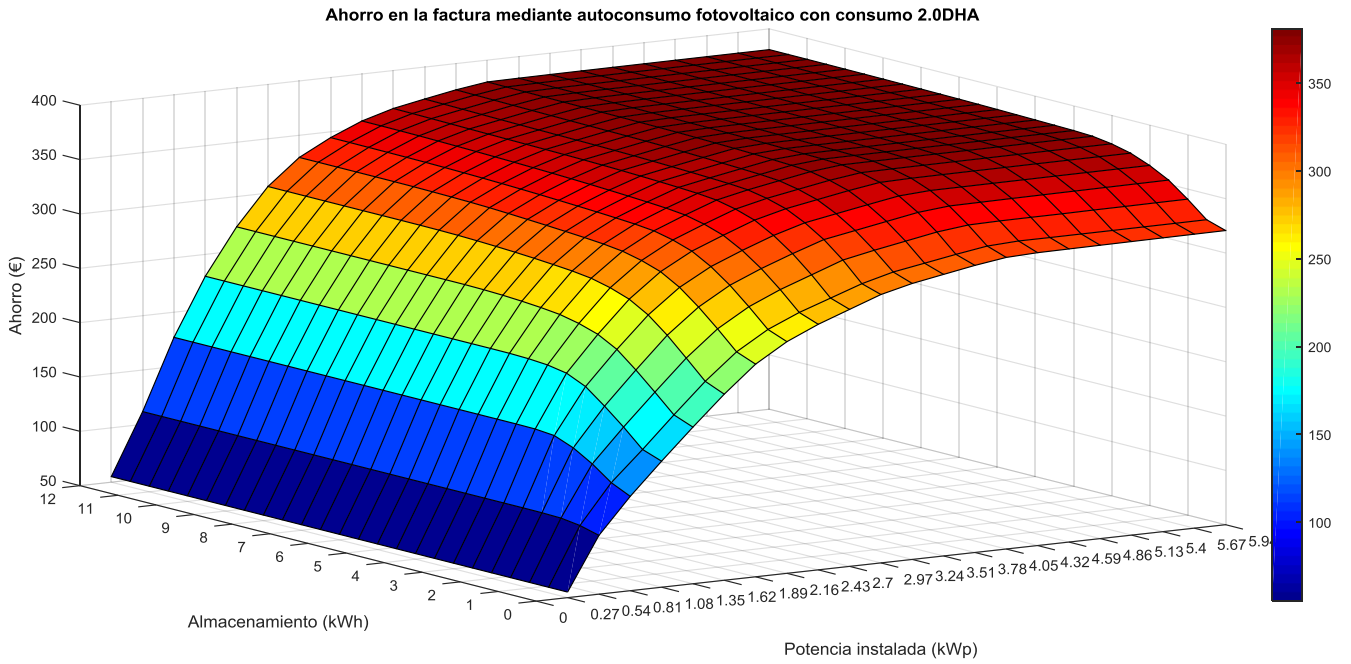


Figura 4-16. Ahorro en la factura mediante autoconsumo fotovoltaico con consumo 2.0DHA en 3 dimensiones. Elaboración propia

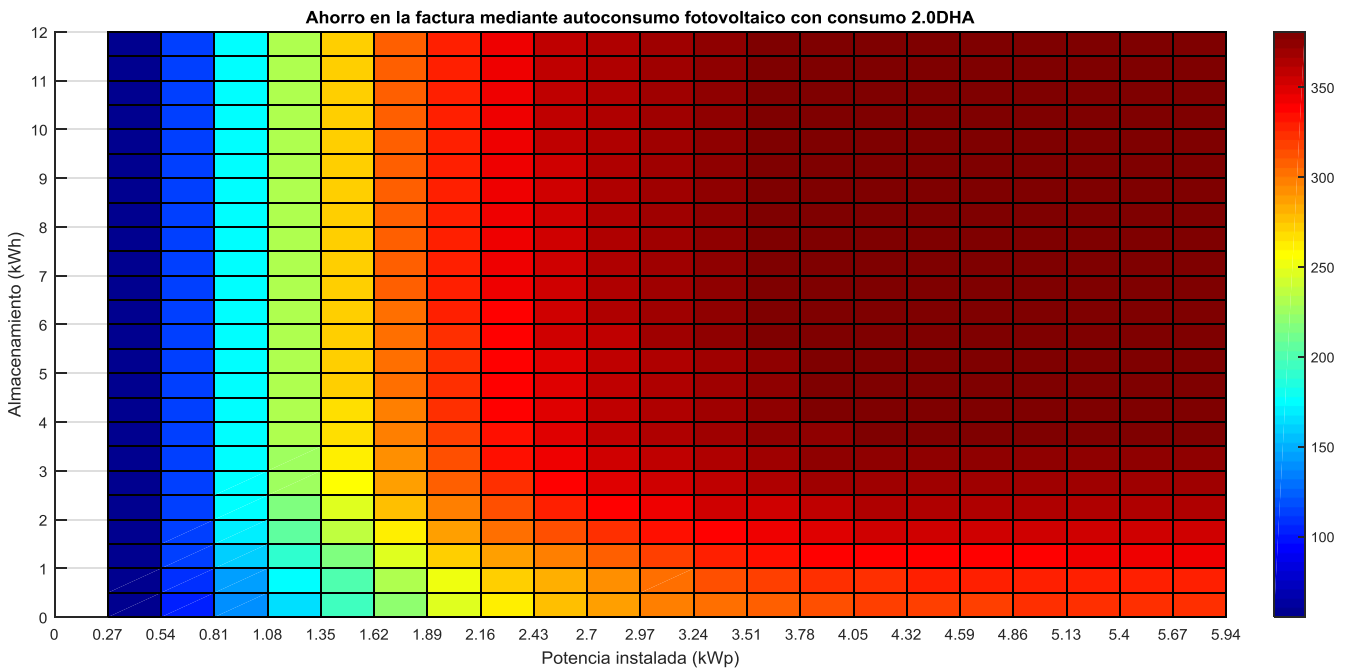


Figura 4-17. Ahorro en la factura mediante autoconsumo fotovoltaico con consumo 2.0DHA. Elaboración propia

# 5 VIABILIDAD

---

*Sea moderado tu sueño, que el que no madruga con el sol, no goza del día.*

*- “Segunda parte del ingenioso caballero don Quijote de la Mancha”, Miguel de Cervantes Saavedra -*

Para saber si una inversión es posible se llevan a cabo estudios de viabilidad. Estos estudios se hacen antes que la propia inversión para analizar distintas opciones disponibles y si son realizables en función de algún criterio. Dependiendo del parámetro que queramos estudiar de la inversión, el estudio tendrá distinto carácter, como económico o técnico.

## 5.1 Viabilidad económica

En un estudio económico de la inversión aparecen distintas variables que nos permitirán estudiarla. A continuación, se describen algunas ellas enfocadas al proyecto de la instalación fotovoltaica.

### 5.1.1 Valor Actual Neto

El concepto del Valor Actual Neto (VAN) aparece por el hecho de que el dinero no vale lo mismo en el momento en el que está leyendo esto que dentro de un año. Es por eso por lo que para saber si una inversión se ha amortizado en un año concreto habrá que “traducir” las cantidades que se prevén que se ganarán en los futuros años al momento de la inversión (el actual), es decir, actualizar esa cantidad de dinero. En el caso del proyecto de una instalación fotovoltaica como la que se estudia en este texto no se gana dinero, sino que se deja de gastar, se ahorra. El VAN se calcula de la siguiente manera:

$$VAN = -C_0 + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{\prod_{n=1}^N (1 + k_n)^n}$$

Ecuación 5-1.

Definición del VAN[102]

Vemos entonces que el VAN dependerá de la inversión inicial,  $C_0$ , que lo disminuirá; también depende de un sumatorio que su numerador lo compone el ahorro en el año  $n$  que conseguimos con la inversión,  $Q_n$ . El denominador dependerá también de  $n$ , pero también de la tasa de descuento de cada año,  $k_n$ , que, si se considera constante durante todos los años siguientes, así como  $Q_n$ , simplificará la Ecuación 5-1 a la siguiente expresión:

$$VAN = -C_0 + Q \cdot \frac{(1 + k)^N - 1}{k \cdot (1 + k)^N}$$

Ecuación 5-2.

Expresión del VAN simplificada[102]

Hay que notar que el coste de la energía irá aumentando a lo largo de los años, efecto que habría que incorporar en nuestra fórmula del VAN. No obstante, en este texto no se incluye porque nuestro Q anual será también derivado del precio de la energía, tanto consumida como excedente, que se supone que irán evolucionando igual.

De todas formas, sigue estando presente el problema de encontrar un valor correcto para k. Para ello, normalmente se estudia la rentabilidad de un proyecto más seguro, pero en nuestro no queremos generar beneficios, sólo cubrir los gastos iniciales. Por esto, para tomar un valor de k tomaremos uno aproximado al IPC; en los momentos en los que se escribe este texto se viven momentos convulsos en la economía que hacen que el IPC ahora sea un valor inestable, pero en este trabajo se considerará apropiado el valor de 1,1%.

Para poder tomar una decisión en torno a un proyecto tomando el VAN como criterio habrá que tener en cuenta su valor por supuesto, pero lo que marca la diferencia es el signo:

- VAN < 0: inversión no rentable.
- VAN = 0: inversión críticamente rentable.
- VAN > 0: inversión rentable.

### 5.1.2 Tasa Interna de Retorno

La Tasa Interna de Retorno (TIR) o *Internal Rate of Return* (IRR) es otra variable para estudiar la viabilidad de un proyecto con criterio económico; conceptualmente es la tasa de retorno que hará el VAN nulo en N años; para la instalación fotovoltaica se considera 25 años de vida útil, la de los paneles fotovoltaicos. El corte de la curva de la Figura 5-1 con la ordenada 0, dará el valor de la abscisa, tasa de descuento, que será la TIR.

$$VAN(k_{TIR}) = -C_0 + Q \cdot \frac{(1 + k_{TIR})^N - 1}{k_{TIR} \cdot (1 + k_{TIR})^N} = 0$$

Ecuación 5-3.

Expresión la TIR[102]

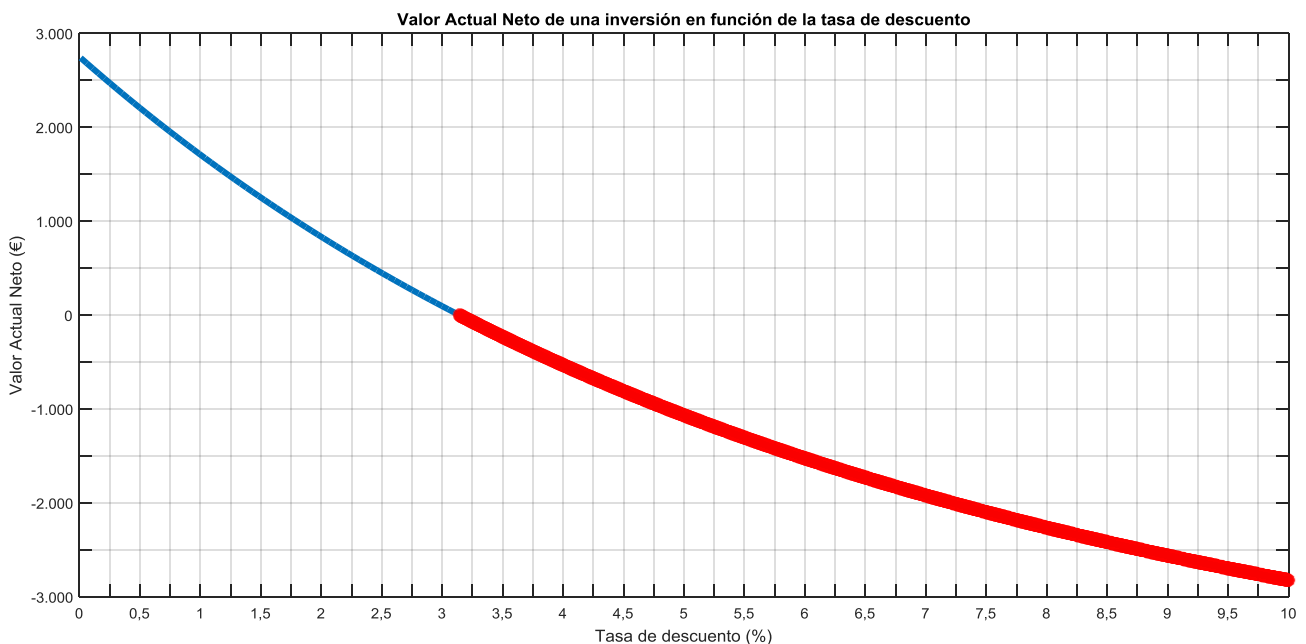


Figura 5-1. Valor Actual Neto en función de la tasa de descuento. Elaboración propia

Si separamos en esta expresión los términos de  $k_{TIR}$  y tomamos límite, suponiendo un número de años lo suficientemente alto, se obtiene una expresión simplificada para la TIR.

$$\frac{C_0}{Q} = \frac{(1 + k_{TIR})^N - 1}{k_{TIR} \cdot (1 + k_{TIR})^N}$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \left[ \frac{(1 + k_{TIR})^N - 1}{k_{TIR} \cdot (1 + k_{TIR})^N} \right] = \lim_{N \rightarrow \infty} \left[ \frac{(1 + k_{TIR})^N}{k_{TIR} \cdot (1 + k_{TIR})^N} - \frac{1}{k_{TIR} \cdot (1 + k_{TIR})^N} \right] = \frac{1}{k_{TIR}} = \frac{C_0}{Q}$$

$$k_{TIR} = \frac{Q}{C_0}$$

Ecuación 5-4  
Expresión de la TIR simplificada[102]

Al igual que con el VAN, se puede hacer un análisis de la rentabilidad de la inversión en función de la  $k_{TIR}$ :

- $k < k_{TIR}$ : inversión rentable.
- $k = k_{TIR}$ : inversión críticamente rentable.
- $k > k_{TIR}$ : inversión no rentable.

### 5.1.3 Tiempo de retorno

El tiempo de retorno, o *payback period*, es el tiempo en el que, en vista de los ingresos (o en nuestro caso, ahorros) previstos para los años de una actividad, se recupera la inversión inicial. Se podrá hablar de tiempo de retorno actualizado o simple, dependiendo de si hacemos la actualización de los flujos de cajas o no, respectivamente.

Si no se actualiza el dinero futuro al momento de la inversión, tendremos el tiempo de retorno simple, que se define como el mínimo tiempo cuyos ingresos acumulados igualan o superan la inversión inicial.

$$t_{RS} = \text{mín}(n) / C_0 \leq \sum_{n=1}^{t_{RS}} Q_n$$

Ecuación 5-5  
Expresión del tiempo de retorno simple[102]

Si suponemos constante  $Q_n$ , la expresión del tiempo de retorno simple se reduce a la Ecuación 5-6, que a su vez nos deja ver, junto a la Ecuación 5-4, que está relacionado con la TIR.

$$t_{RS} = \frac{C_0}{Q}$$

Ecuación 5-6  
Expresión del tiempo de retorno simple simplificada[102]

$$t_{RS} = \frac{1}{k_{TIR}}$$

Ecuación 5-7  
Relación entre  $t_{RS}$  y  $k_{TIR}$ [102]

Por otra parte, si actualizamos  $Q$ , tendremos el tiempo de retorno actualizado. Para su cálculo, utilizaremos la expresión del VAN que, con la  $k$  dada, será nulo en el tiempo en el que se amortice la inversión:

$$VAN(t_{RA}) = C_0 + Q \cdot \frac{(1 + k)^{t_{RA}} - 1}{k \cdot (1 + k)^{t_{RA}}} = 0$$

Para obtener la expresión de  $t_{RA}$  solamente habrá que despejarla:

$$t_{RA} = \frac{\ln\left(\frac{Q}{Q - C \cdot k}\right)}{\ln(1 + k)}$$

Ecuación 5-8

Expresión del tiempo de retorno actualizado[102]

Aunque ambos tiempos nos darán una idea del riesgo de la inversión, ya que nos dicen cuándo quedará amortizada, el actualizado será más fiable y conservador al tener en cuenta la variación del valor del dinero.

A continuación, se adjuntan mapas de calor, Figura 5-2 y Figura 5-3 para mostrar el tiempo de retorno actualizado de una instalación fotovoltaica en función de su dimensionamiento, potencia y almacenamiento instalados; los tiempos son para una inversión sin y con una subvención respectivamente y para un consumo 2.0A. Para su representación se han usado colores de tonos más fríos, azul, a más cálidos, rojo, usando estos últimos para cuando el tiempo de retorno se acerca a los 25 años que se consideran vida útil de una instalación fotovoltaica; cuando tenemos el mapa en blanco significa que el tiempo de retorno tiende a infinito, como el caso de 0 kWp instalados, en el que simplemente no hay instalación que provoque ahorro para compensar nada.

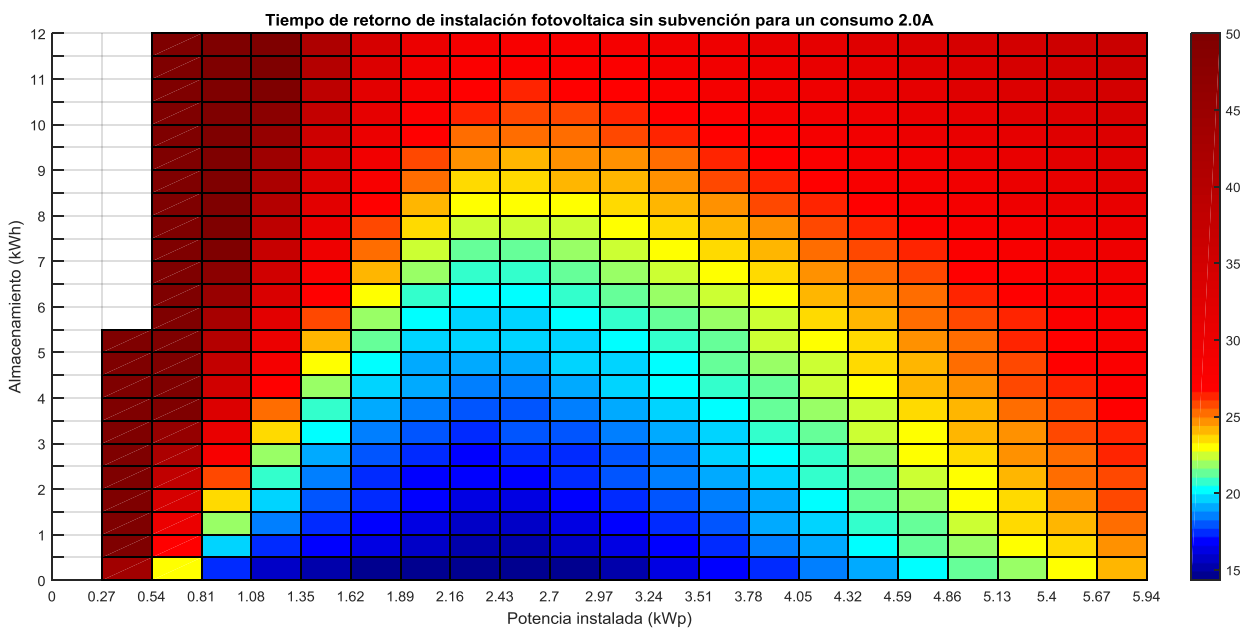


Figura 5-2. Tiempo de retorno de instalación fotovoltaica sin subvención (consumo 2.0A). Elaboración propia

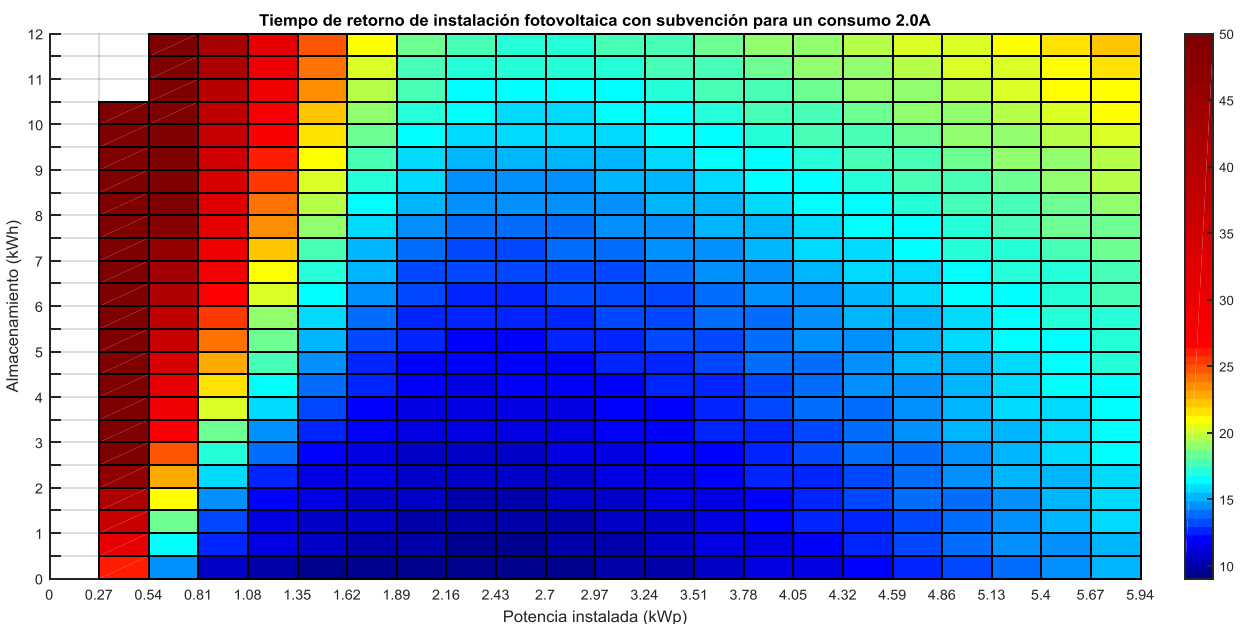


Figura 5-3. Tiempo de retorno de instalación fotovoltaica con subvención (consumo 2.0A). Elaboración propia



De los resultados obtenidos podemos extraer varias conclusiones sobre el dimensionamiento de la instalación. En primer lugar, un subdimensionamiento de la instalación hace inviable la inversión, ya que haría que se ahorraría tan poco en la facturación eléctrica que no podrá, o tardará mucho, amortizar la inversión, aunque hayamos hecho una inversión inicial pequeña.

Asimismo, un sobredimensionamiento de la instalación hará que se tarde más en amortizarse. Si nos fijamos en la variación del *payback period* en función de la potencia (directamente relacionada con el número de placas instaladas), podemos observar no sólo que una potencia demasiado grande aumenta el tiempo de retorno, sino que lo hace innecesariamente, ya que habría tiempos iguales en potencias menores y, por tanto, de menor coste.

Las líneas generales que se observarán para el caso 2.0DHA, Figura 5-4 y Figura 5-5, serán similares pero con diferencias notables en los valores de tiempos de retorno, que serán mucho mayores que para el caso 2.0A. Esto se debe que a igual dimensionamiento para este último se obtiene un mayor ahorro (véase Tabla 4-3).

Además, es obvio que el hecho de que la instalación esté parcialmente subvencionada reducirá la inversión inicial a desembolsar por el usuario, lo que reducirá el tiempo que habrá que espera para que la instalación esté amortizada; por ello, en la Figura 5-3 y Figura 5-5 habrá menos “rojo”.

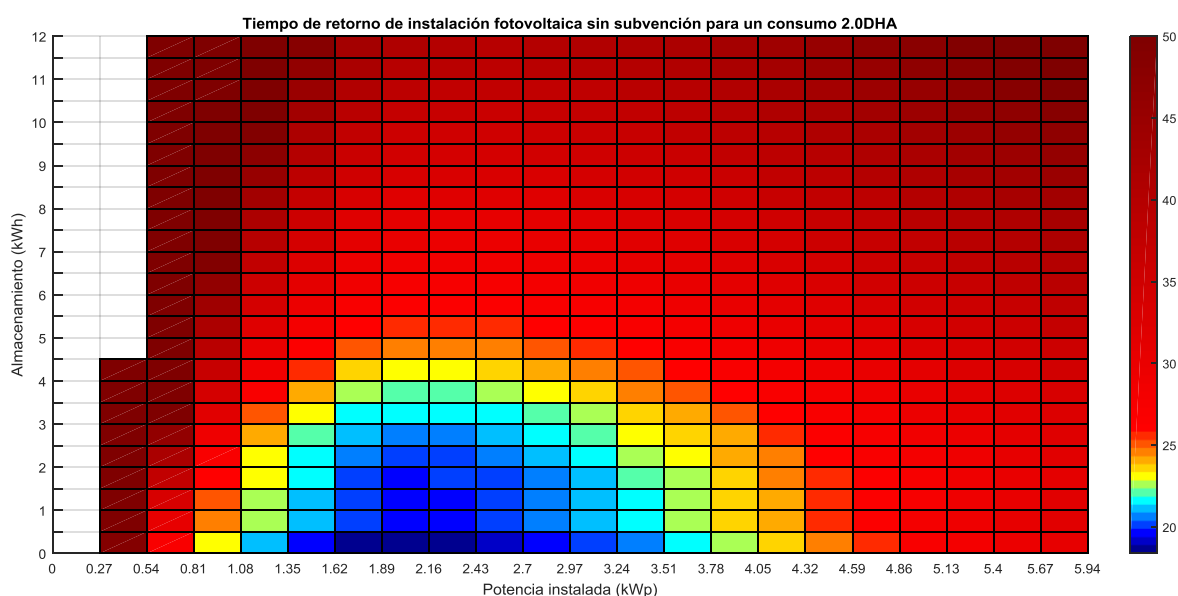


Figura 5-4. Tiempo de retorno de instalación fotovoltaica sin subvención para un consumo 2.0DHA.  
Elaboración propia

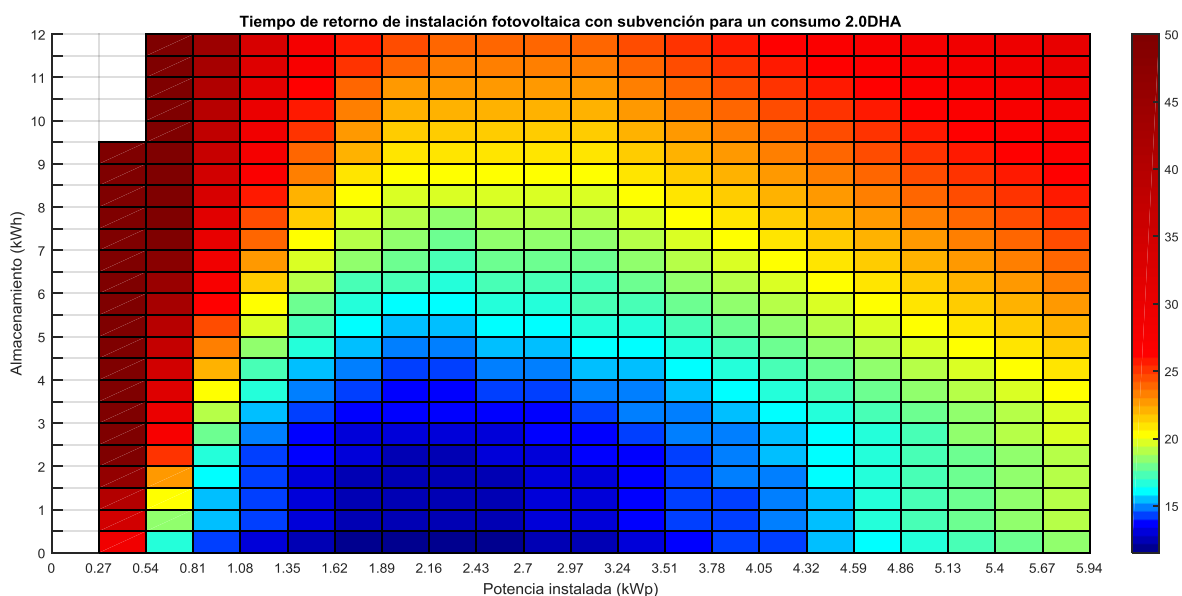


Figura 5-5. Tiempo de retorno de instalación fotovoltaica con subvención para un consumo 2.0DHA.  
Elaboración propia

Con estas figuras queda clara la importancia de una correcta elección de las características de una instalación doméstica de autoconsumo, ya que podríamos estar pagando un precio mucho mayor de lo que deberíamos. Además, para algunos casos, una ligera desviación de los parámetros podría hacer que el tiempo de retorno de la inversión aumentara en años.

Para observar de mejor manera las tendencias en función de la potencia instalada para un almacenamiento dado (y viceversa) sin discriminación horaria y con ella, se representan en la Figura 5-6, Figura 5-7, Figura 5-8 y Figura 5-9 los tiempos para pares de potencias y almacenamientos. En la Figura 5-6 y Figura 5-8 se puede observar que para pequeñas potencias el tiempo de retorno se hace enorme y se reduce a más potencia hasta llegar al mínimo, para volver a crecer; el pico mínimo se acrecenta en el 2.0DHA. Sin embargo, con el aumento de la capacidad de las baterías el tiempo crece de manera más lineal, como vemos en la Figura 5-7 y Figura 5-9, aunque para pequeñas potencias habrá más incertidumbre.

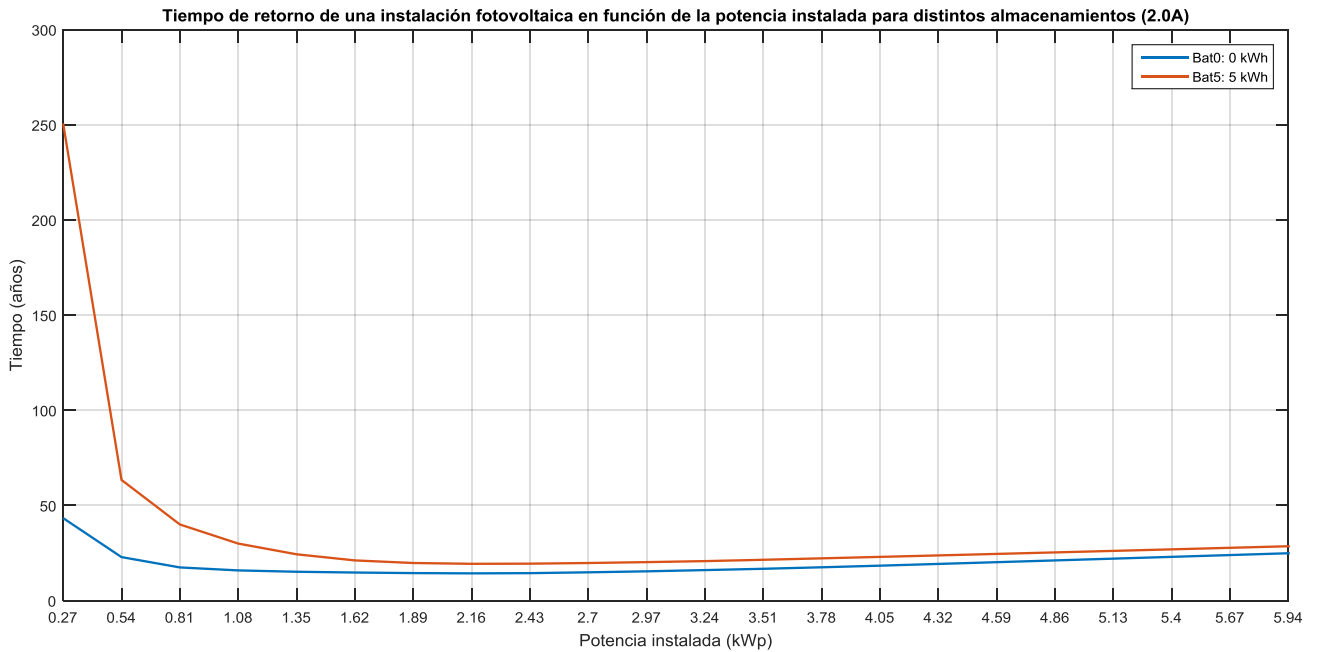


Figura 5-6. Tiempo de retorno de una instalación fotovoltaica en función de la potencia instalada para distintos almacenamientos con un consumo 2.0A. Elaboración propia

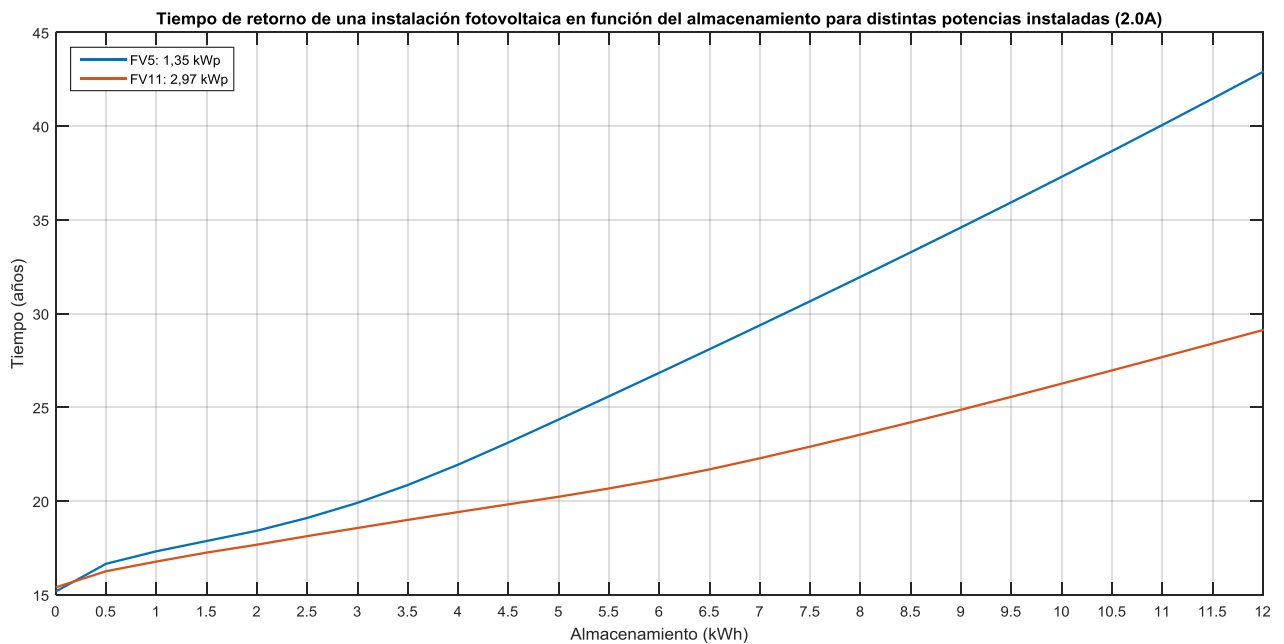


Figura 5-7. Tiempo de retorno de una instalación fotovoltaica en función del almacenamiento para distintas potencias instaladas con un consumo 2.0A. Elaboración propia

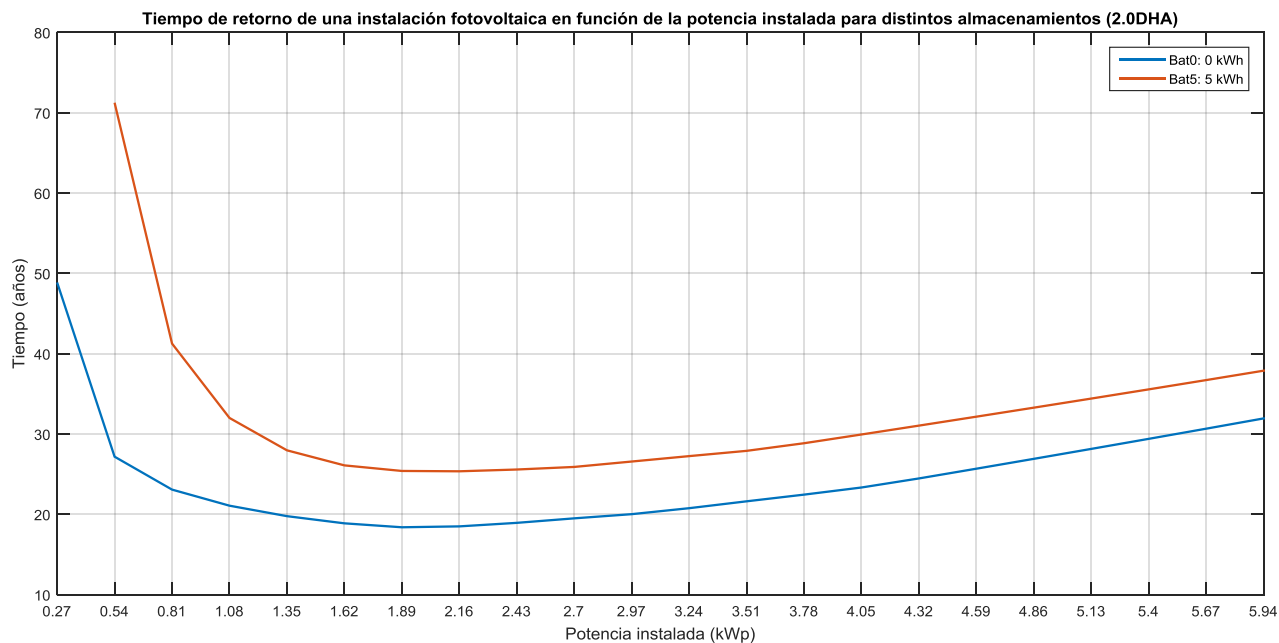


Figura 5-8. Tiempo de retorno de una instalación fotovoltaica en función de la potencia instalada para distintos almacenamientos con un consumo 2.0DHA. Elaboración propia

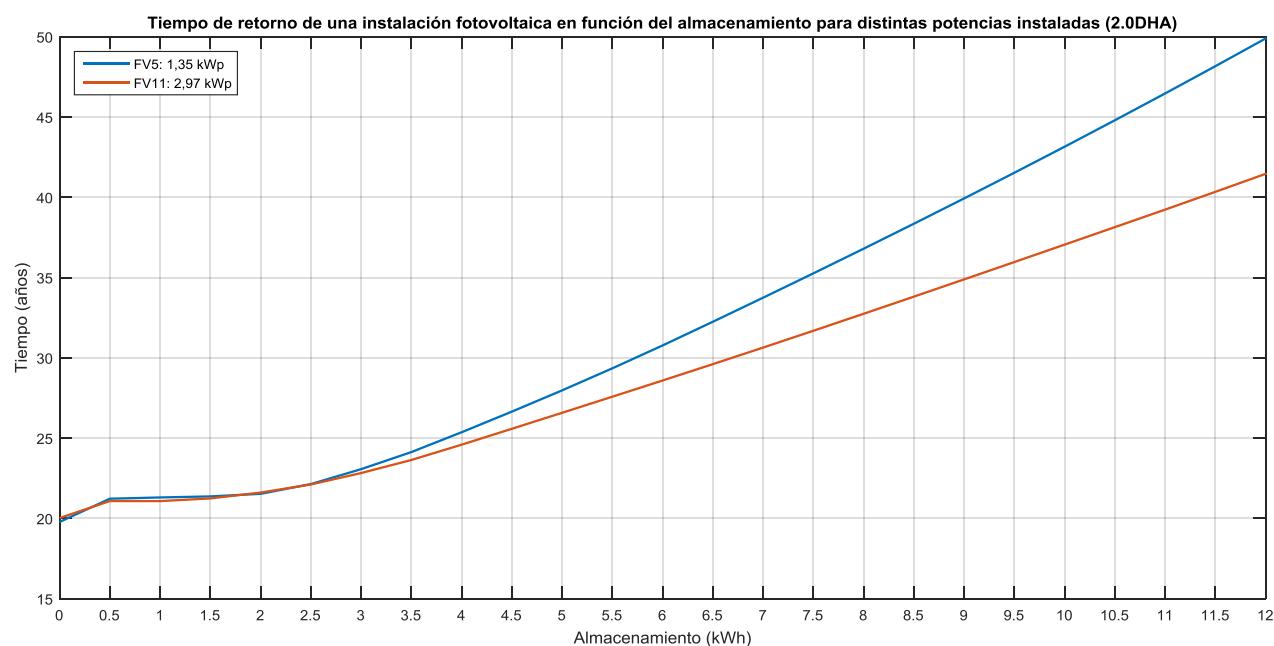


Figura 5-9. Tiempo de retorno de una instalación fotovoltaica en función del almacenamiento para distintas potencias instaladas con un consumo 2.0DHA. Elaboración propia

## 5.2 Viabilidad técnica

Aunque el criterio económico es el más importante en este trabajo, para saber si se debe hacer una inversión, habrá que tener en cuenta otros factores. Como es una tecnología bastante estudiada y el procedimiento de instalación se conoce bastante bien, sólo se mencionará que para instalar placas fotovoltaicas para el autoconsumo de un hogar éste deberá tener espacio suficiente para albergarlas, es decir, la superficie de las placas (que viene dada en catálogo), pero teniendo en cuenta la inclinación cercana a 30° que será la óptima en España, tanto peninsular como archipiélagos y ciudades autónomas.



## 6 METODOLOGÍA

---

*Y todos [el burgués y el jornalero] están igualmente interesados en poder contemplar siquiera sea un minuto más la luz de este sol.*

- "Las desventuras del joven Werther", J. W. von Goethe -

A lo largo de este texto se ha visto cómo el dimensionamiento de la potencia de la instalación y el almacenamiento es importante para ahorrar consumo de la red y para inyectar más o menos excedentes en ella. Asimismo, se ha comprobado que aquellas variables también afectan al valor de la inversión que tendría que realizar el usuario que se decantara por la generación fotovoltaica de autoconsumo; estos hechos serán la causa de un efecto obvio: el dimensionamiento de la instalación afecta al tiempo de retorno de la misma. De hecho, el factor económico es una de las preocupaciones de los usuarios, que se muestran interesados en saber el tiempo que les llevará amortizar la inversión y en que ésta esté subvencionada al menos en parte. Por ello, se ve necesario buscar el dimensionamiento óptimo que conlleve el mínimo *payback period*. Para lograr este objetivo, en este trabajo se plantea la implementación en una aplicación informática que facilite y automatice el cálculo de la potencia y almacenamiento que minimiza el tiempo de retorno de la inversión inicial. *Fotovoltaín* está creado en un entorno de lenguaje M y que guiará al usuario a lo largo de su uso.

Para ello se crea una base de datos de la potencia fotovoltaica generada (con pérdidas del 14%)[43] de una lista de 54 ciudades de España compuesta por capitales de provincias, ciudades autónomas y las capitales de comunidades autónomas distintas a las de sus provincias (casos de Mérida en Extremadura y Santiago de Compostela en Galicia). Para cubrir el vacío en los datos y paliar el perjuicio que pudiera ser para el resto de municipios del país, se crea un sistema para que el usuario pueda localizar el suyo en función de las capitales, suponiendo una evolución lineal de las potencias entre cada par de puntos.

Por otra parte, además de la energía fotovoltaica generada, el programa deberá conocer la energía que el usuario consume. Para ello, se dará a elegir entre usar un consumo predefinido (los perfiles finales publicados por REE) o su consumo real; si se elige la primera forma se deberá introducir además un dato de energía anual consumida.

Otro cálculo importante será el del coste de la instalación; para su realización, se tendrán en cuenta todos los componentes detallados en el subcapítulo 3.1. Sin embargo, se tomarán distintos modelos de costes para el inversor y las baterías ya que en el mencionado apartado se hicieron unas aproximaciones de dichos costes[53] que, aunque son muy útiles para conocer cómo varía el precio de los elementos en función de su tamaño, puede generar errores de cientos de euros, demasiado grandes para ser aceptables en el estudio de una inversión mediana como es el de la instalación fotovoltaica. Por ende, se opta por un método escalonado para el escalado de costes con los precios obtenidos en catálogos, de manera que sea más ajustado a la realidad; para la elección del inversor se elegirá el de menor tamaño que soporte la potencia instalada en placas fotovoltaicas, añadiendo un margen de seguridad. También se tendrán en cuenta las subvenciones autonómicas si las hubiera, por lo que se pide la Comunidad Autónoma en la que reside el usuario.

Para el cálculo del consumo económico, se tendrán en cuenta los precios de la modalidad que tenga el usuario, sin o con discriminación horaria. Estos precios se tomarán desde abril de 2019, ya que es a partir de esa fecha cuando los excedentes tienen compensación económica, hasta marzo de 2020 para completar el año. Esto provocará una pequeña pérdida de exactitud, ya que los perfiles finales se extraen de 2019. Como se quiere ayudar al usuario para que sepa el ahorro que supone el uso de autoconsumo en su factura, se usará el dato de su potencia instalada, para no llevar a engaño mostrando sólo el importe energético. Además, habrá que usar una tasa de descuento con la cual se actualiza el valor del dinero, de la que se adopta un valor de 1,1%.

Una vez que se tienen estos datos, *Fotovoltaín* buscará el número de placas fotovoltaicas de 270 W (en definitiva, la potencia instalada) y la capacidad del sistema de baterías que compondrán el sistema óptimo que supondrá la inversión con menor tiempo de retorno. No obstante, hay que tener en cuenta la posibilidad de que esa opción suponga un esfuerzo económico demasiado grande para el usuario, por lo que se le preguntará si quiere imponer algún presupuesto máximo; aquí no se tendrán en cuenta la subvención, por ser conservadores y no incurrir en riesgo de sobrecostes. Asimismo, existe la posibilidad de poner una restricción de superficie disponible. El camino recorrido por el programa queda sintetizado en el diagrama de flujo de la Figura 6-1 y explicado brevemente en la Figura 6-2.

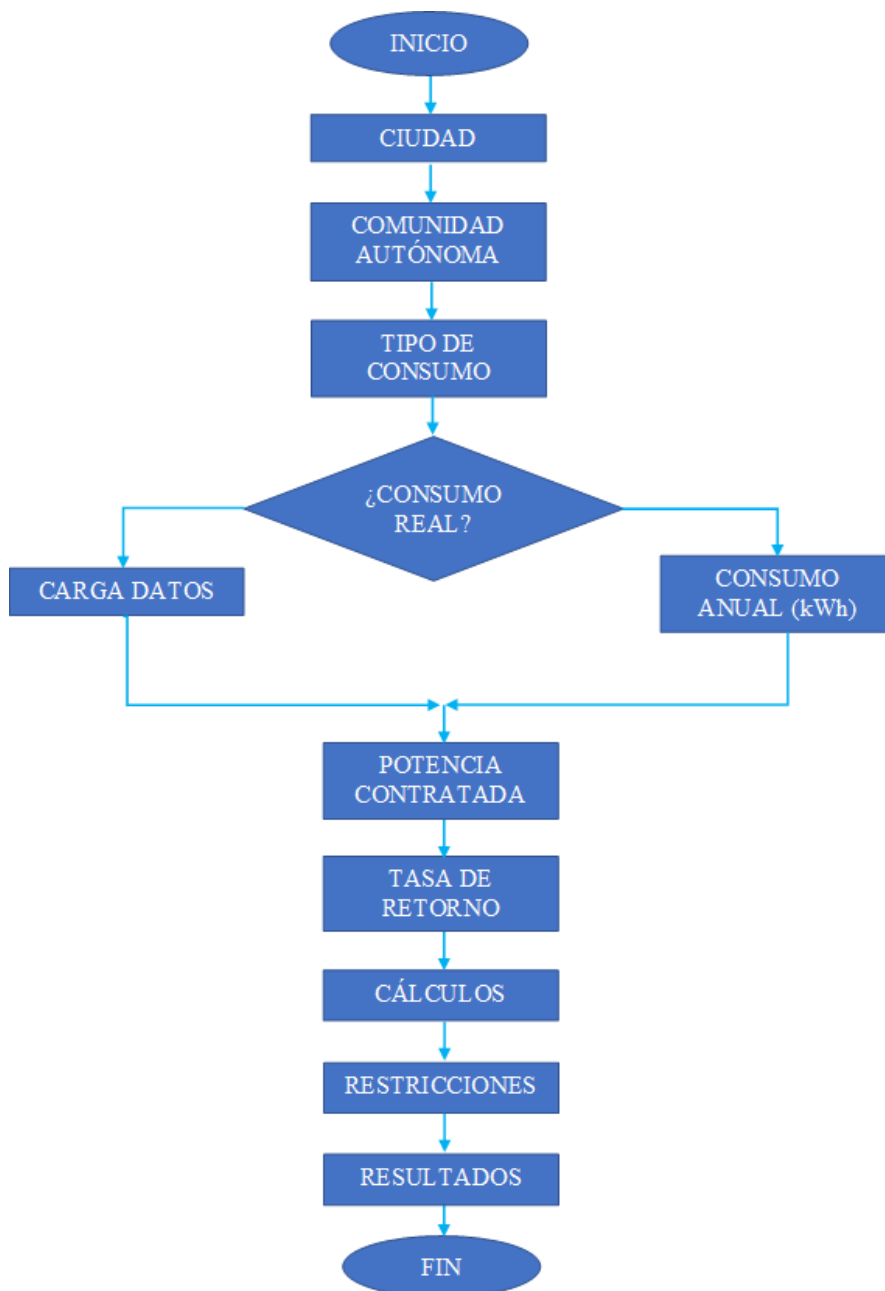


Figura 6-1. Diagrama de flujo del programa. Elaboración propia



Figura 6-2. Descripción del proceso seguido por el programa. Elaboración propia

Es fácil darse cuenta de que el grueso del trabajo llevado a cabo por el programa se lleva a cabo en el bucle, por eso se considera hablar del trabajo realizado en él, pero sin entrar en muchos detalles que puedan distraer de los posteriores simulaciones, resultados y conclusiones. Se hacen un número considerable de iteraciones de número de placas y baterías instaladas, con paso de 1 placa (0,27 kWp) y 0,25 kWh de capacidad de baterías. Para cada una de las iteraciones se realizarán los cálculos necesarios para mostrar los resultados más interesantes para el usuario como son la comparativa tanto de la componente energética como de la facturación total sin autoconsumo y con la instalación óptima, el propio dimensionamiento óptimo, el coste de la instalación (sin y con subvención) y, por supuesto, el tiempo de retorno, de nuevo contando con subvención y sin ella, para una visión más amplia.

Para un mejor visionado de los resultados, se mostrarán en forma de tabla los tiempos de retorno de las múltiples posibilidades para facilitar la elección mediante el factor humano ya que a lo mejor se dan casos para los que en efecto la solución es la óptima, pero otras con tiempos de retorno parecidos nos pueden interesar más.





# 7 SIMULACIONES

---

*El sol entró en el mundo con potencia suave y gigantesca. Nada interrumpió ni oscureció su llegada.*  
- “La colina de Watership”, Richard Adams -

No se debe desaprovechar la ocasión de poner a prueba el *software* creado y se hará en la presente sección, en la que se calculará, entre otros datos, el dimensionamiento óptimo de instalaciones en distintos lugares de España, intentando seleccionar ciudades con climas distintos. Además, las pruebas se harán tanto para el consumo 2.0A como para el 2.0DHA.

En primer lugar, para probar el correcto funcionamiento del programa se ha hecho el cálculo de la instalación para un hogar de una usuaria anónima que ha compartido sus datos de consumo. De esta manera, se podrá comprobar los datos que nos proporciona la aplicación, así como la presentación de los tiempos de retorno, para poder compararlos.

Para finalizar, se hacen simulaciones para distintos valores de consumo eléctrico en Bilbao y en Santa Cruz de Tenerife, las ciudades que como se ha comentado en el apartado 2.3.1 reciben menor y mayor irradiación en España respectivamente.

## 7.1 Ejemplo de simulación

Se ha hecho la prueba con un consumo real, de un consumo de un hogar de Sevilla, con los siguientes datos, que dan los resultados que veremos al final.

- Datos:
  - Localización: Un lugar de Sevilla
  - Modalidad de consumo: 2.0DHA
  - Consumo anual: 7588,963 kWh
  - Potencia contratada: 6,9 kW
  - Tasa de retorno: 1,1%
  - Restricción de área: -
  - Restricción de inversión inicial: -

- Resultados:
  - Término energético sin instalación: 567,12 €
  - Término energético con instalación: 365,11 €
  - Factura total sin instalación: 1041,90 €
  - Factura total con instalación: 784,97 €
  - Ahorro con instalación: 256,93 €
  - Potencia instalada óptima: 2,16 kWp (8 placas)
  - Capacidad de baterías óptima: 0,00 kWh
  - Inversión sin subvención: 4 750,24 €
  - Subvención 1 662,58 €
  - Inversión con subvención: 3 087,66 €
  - Tiempo de retorno actualizado sin subvención: 20 años 9 mes
  - Tiempo de retorno actualizado con subvención: 12 años 11 meses

Tabla 7-1. Resumen de resultados para el caso real anónimo. Elaboración propia

	Pot0_27kWp	Pot0_54kWp	Pot0_81kWp	Pot1_08kWp	Pot1_35kWp	Pot1_62kWp	Pot1_89kWp	
Bat0_00	98.573	46.568	33.658	27.564	23.973	21.73	21.504	
Bat0_25	131.13	56.261	37.8	30.03	26.127	23.532	22.878	
Bat0_50	163.9	58.999	40.149	32.171	27.785	24.771	24.012	
Bat0_75	239.08	66.19	43.867	34.884	30.262	26.824	25.98	
Bat1_0	224.28	62.619	41.469	33.496	28.951	25.657	24.973	
Bat1_25	213.26	60.674	39.382	31.772	27.484	24.667	24.109	
Bat1_50	246.01	62.033	39.531	32.165	27.825	24.986	24.38	
Bat1_75	265.62	64.12	40.013	32.534	27.912	25.295	24.621	
Bat2_0	253.35	62.908	39.693	31.718	27.306	24.598	24.078	
Bat2_25	243.66	61.975	38.815	31.094	26.685	24.223	23.622	
Bat2_50	281.69	63.909	39.464	31.445	26.841	24.547	23.859	
	Pot2_16kWp	Pot2_43kWp	Pot2_7kWp	Pot2_97kWp	Pot3_24kWp	Pot3_51kWp	Pot3_78kWp	
20.784	20.874	21.123	20.968	20.853	21.01	21.137		
22.008	21.866	22.112	22.05	21.83	21.919	21.984		
23.165	23.07	23.215	22.975	22.784	22.846	22.861		
24.829	24.547	24.573	24.322	23.983	24.089	24.141		
23.903	23.774	23.866	23.676	23.491	23.528	23.548		
23.117	23.072	23.306	23.156	22.914	22.97	23.013		
23.609	23.422	23.606	23.403	23.169	23.219	23.232		
23.75	23.645	23.862	23.602	23.3	23.37	23.371		
23.181	23.093	23.314	23.087	22.842	22.877	22.902		
22.777	22.727	22.922	22.765	22.51	22.579	22.618		
23.07	22.985	23.175	22.916	22.639	22.695	22.781		
	Pot4_05kWp	Pot4_32kWp	Pot4_59kWp	Pot4_86kWp	Pot5_13kWp	Pot5_4kWp	Pot5_67kWp	Pot5_94kWp
21.074	21.147	22.584	22.627	24.104	24.262	24.417	24.57	
21.881	21.948	23.452	23.49	24.919	25.036	25.162	25.35	
22.754	22.819	24.253	24.226	25.639	25.824	25.921	26.049	
23.988	23.959	25.313	25.318	26.683	26.784	26.871	27.012	
23.345	23.357	24.712	24.755	26.126	26.224	26.353	26.48	
22.845	22.856	24.257	24.305	25.657	25.802	25.913	26.037	
23.083	23.09	24.444	24.438	25.779	25.891	26.01	26.161	
23.21	23.209	24.557	24.556	25.898	26.032	26.141	26.268	
22.792	22.82	24.137	24.164	25.53	25.681	25.779	25.935	
22.561	22.605	23.939	23.976	25.375	25.493	25.569	25.679	
22.71	22.71	24.026	24.112	25.442	25.549	25.637	25.779	

## 7.2 Simulaciones y análisis de resultados

Una vez visto lo que nos proporciona el programa se considera interesante realizar simulaciones para Bilbao y Santa Cruz de Tenerife, usando los perfiles de consumo publicados por REE y para 9 consumos energéticos anuales intentando abarcar una gran variedad de casos<sup>1</sup>. Estos valores son 1 380, 1 932, 2 280, 2 346, 3 000, 3 790, 4 140, 5 300, 7 500 y 10 000 kWh.

Si calculamos las potencias instaladas en paneles fotovoltaicos y el almacenamiento en baterías óptimos, así como su correspondiente tiempo de retorno, que será el mínimo, se obtienen las Figura 7-1, Figura 7-2 y Figura 7-3, de las que se puede extraer varias deducciones.

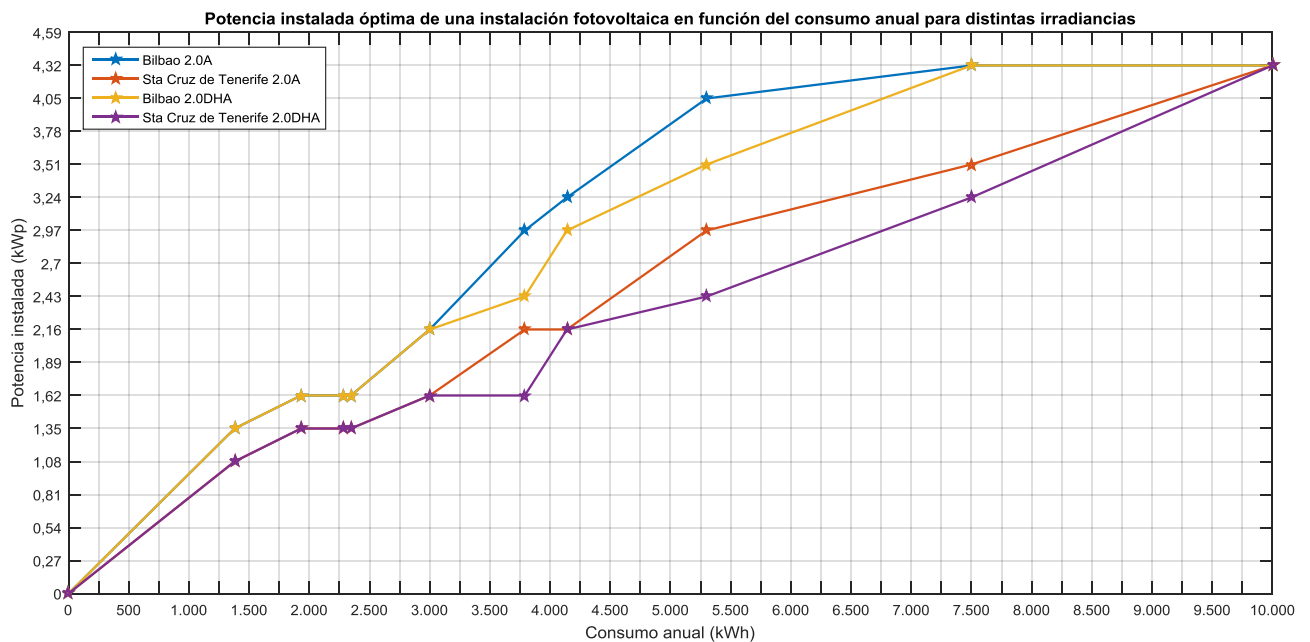


Figura 7-1. Potencia instalada óptima para distintas irradiancias y consumos. Elaboración propia

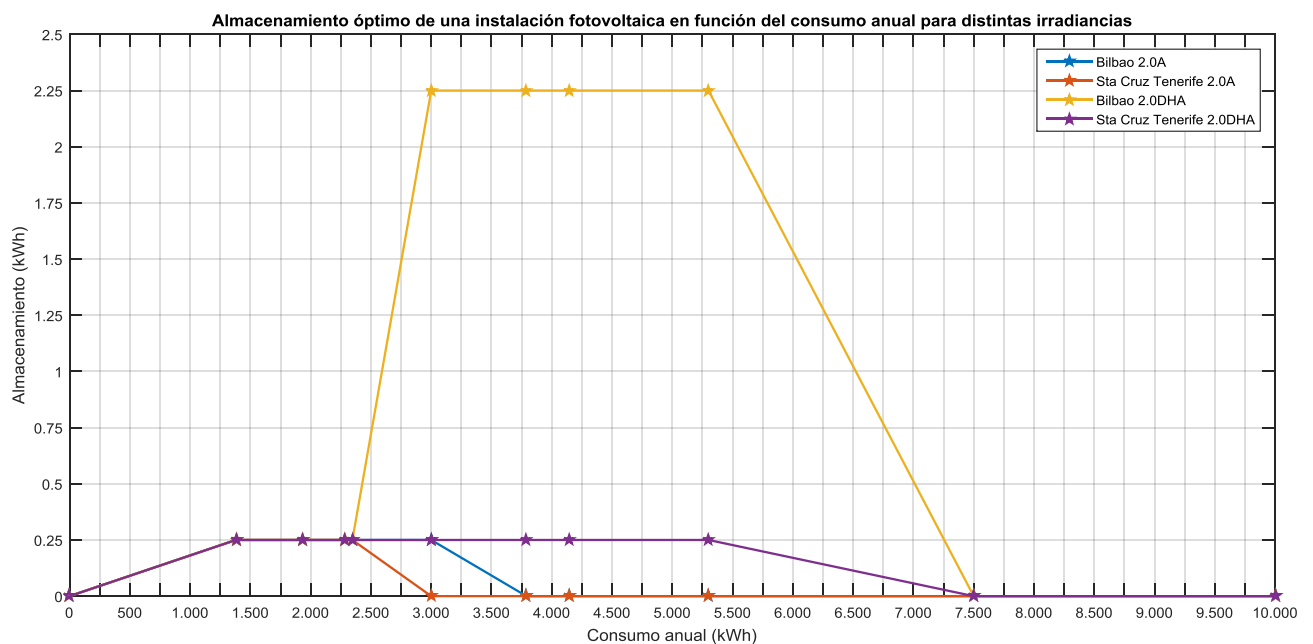


Figura 7-2. Almacenamiento en baterías óptimo para distintas irradiancias y consumos. Elaboración propia

<sup>1</sup> Los datos de 1 380, 1 932, 2 380 y 4 140 kWh son valores límites para los que se aplica descuento para distintas situaciones recogidos en la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024 [12]

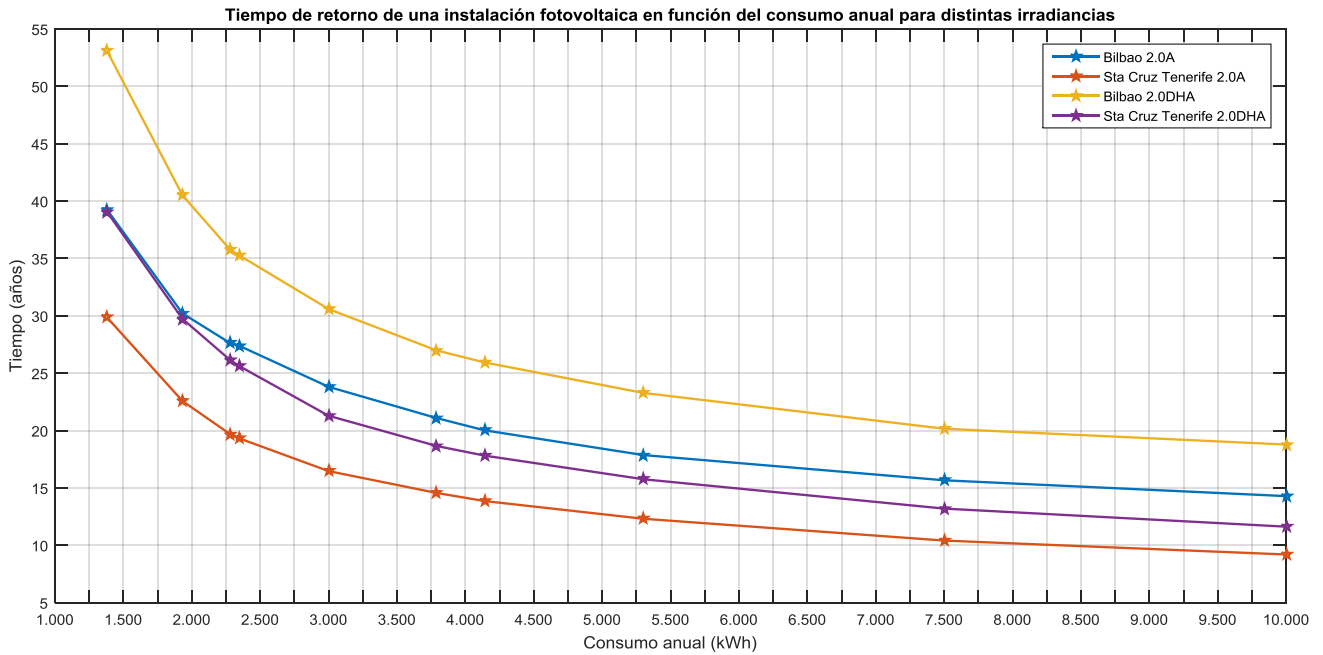


Figura 7-3. Tiempos de retorno de las instalaciones óptimas para distintos consumos sin y con subvención.  
Elaboración propia

En primer lugar, si observamos la Figura 7-1 podemos concluir que para ubicaciones con menos recurso solar habrá que instalar un número mayor de placas fotovoltaicas, mientras para aquellas con más irradiancia será posible aprovechar la energía solar con menos placas. Además, se llegará a un valor a partir del cual no será rentable instalar más potencia pico. Si la comparación la hacemos en función de la discriminación horaria se concluye que con ella la potencia más rentable será menor.

Por otra parte, si lo que se quiere conocer es el dimensionamiento óptimo de las baterías, se puede consultar la Figura 7-2, en la que se observa un hecho alarmante. Se comprueba que las baterías no son muy rentables, ya que los valores más rentables son muy bajos, o incluso nulos; sólo para el caso con poca irradiancia y con la modalidad con discriminación horaria parece alcanzar un valor más alto para consumos medios. De nuevo, esto podría ser consecuencia de los altos precios de las baterías de litio. También hay que destacar que es cuando se tiene un consumo bajo cuando compensa incluir almacenamiento en la instalación, pero no cuando el consumo es más alto.

Finalmente, la Figura 7-3 muestra los tiempos de retorno de las instalaciones con las dimensiones calculadas como óptimas. Se puede apreciar cómo en las ciudades con menos irradiancia se tardará más en amortizar este tipo de instalaciones. También habrá diferencia con respecto a la tarifa con discriminación horaria, ya que con ella se tarda más en recuperar la inversión.

Hay otro hecho que cabe señalar, como es que el tiempo de retorno de las instalaciones disminuye con el consumo energético. Esto quiere decir que precisamente los usuarios que tienen consumos menores, y por tanto podrían ser más vulnerables en cuanto a suministro energético, verán más complicado amortizar las instalaciones de autoconsumo fotovoltaico y se pueden sentir apartados de la posibilidad real de reducir su consumo y factura eléctricos.

## 8 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

---

*Toda la tierra es un ¡Viva!*

*el mundo todo, una selva:*

*¡Viva el sol!*

*- “¡Viva el sol de la mañana!”, Rafael Alberti -*

A lo largo de este texto se han observado muchos hechos, sobre todo experimentales, sobre el autoconsumo fotovoltaico doméstico y las instalaciones, que arrojan algunas conclusiones que quedarán plasmadas en esta sección. Además, el autor quiere sugerir líneas a seguir en investigaciones similares a la hecha aquí conforme a los resultados obtenidos y a su alcance.

Podemos decir que España ha dado un paso para fomentar el autoconsumo con una nueva legislación (el RD 244/2019) y que, aunque este trabajo se centra en las instalaciones con modalidad con excedentes acogida a compensación individual, dicho Real Decreto introduce el autoconsumo colectivo, de manera que puede haber varios consumidores que se beneficien de la misma instalación. El procedimiento de cálculo de las energías y potencias a efectos de facturación y liquidación para el autoconsumo colectivo quedan descritos en la normativa. Sería muy interesante hacer un análisis como el realizado en este texto pero con el autoconsumo colectivo, que ya hemos visto que tiene importancia en la lucha contra la pobreza energética y en el cumplimiento de los ODS.

Además, con el cambio de normativa se espera hacer un registro de instalaciones más exhaustivo, ya que como se ha visto hay discrepancias entre las que se estima que se han instalado y las que realmente están registradas. Para ver si afecta al número de instalaciones habrá que esperar un tiempo y así poder evaluar la efectividad que ha tenido el RD 244/2019 a la hora de fomentar realmente las instalaciones fotovoltaicas.

El lanzamiento de la encuesta, que respondieron 415 personas, permite dilucidar si el autoconsumo fotovoltaico ha penetrado en la sociedad y cuánto sabe ésta de él y de otros asuntos relacionados con el abastecimiento de energía eléctrica, resultados que se resumen a continuación.

En primer lugar, se puede afirmar que la energía fotovoltaica es muy conocida pero, aunque muchas personas dicen conocer a alguien que la use en sus hogares para autoconsumo, parece que pocos la tienen. Además, se puede identificar uno de los lastres para su expansión: la incertumbre de ahorro económico mediante su uso. Si se supiera lo que se ahorra con ella y el tiempo que se tarda en amortizar la inversión, podría aumentar el uso de placas fotovoltaicas en los hogares. Asimismo, se confirma la importancia de las subvenciones a este tipo de instalaciones, que fomentarían a los consumidores a utilizarlas.

En lo relacionado con la factura eléctrica, en general hay falta de información; la población, aunque le suenan algunos conceptos, no sabe a qué mercado de precios se acoge, la potencia que tiene contratada o qué es la discriminación horaria. Por último, cabe destacar que el problema de la pobreza energética no es indiferente a la sociedad, no obstante, se desconocen los métodos que desde instituciones se defienden para paliarla, como el bono social o el autoconsumo colectivo.

A propósito de la próxima tarifa única 2.0TD, este trabajo no se ha basado en ella porque no existen aún valores de los precios, pero es verdad que en un futuro se podrá (y debería) realizar el mismo análisis con datos del consumo 2.0TDA, ya que las modalidades 2.0A y 2.0DHA quedan obsoletas. Además, así se da menos elegibilidad al usuario, que si no está seguro de su modalidad de consumo puede elegir una opción incorrecta que le lleve a un dimensionamiento erróneo.

También cabe recordar que el emplazamiento de nuestra instalación condicionará doblemente el dimensionamiento de ésta. Por una parte, el recurso solar del que disponemos dependerá de la ubicación geográfica ya que no se recibe la misma irradiancia en todos los lugares de España. Además, cada comunidad autónoma tiene su sistema de subvención distinto a los demás que puede reducir el coste y conseguir un dimensionamiento que a lo mejor en otra no sería viable.

No podemos pasar por alto que las subvenciones son un tema importante para el usuario, sin embargo, hay comunidades en las que no existe este tipo de ayudas. En relación con las subvenciones, las cuantías y requisitos normalmente son variables, lo que crea incertidumbre y el programa podría dar datos incorrectos, por lo que para mantener la certeza de los resultados se le da mucha importancia a los que se obtienen sin tener en cuenta la ayuda económica. Otra manera de añadir conservadurismo a los cálculos es el uso del tiempo de retorno actualizado frente al simple.

El tiempo de retorno es una variable importante para estudiar la viabilidad de un proyecto como el de la instalación fotovoltaica, ya que nos puede decir en cuánto tiempo se amortiza el desembolso inicial y si este tiempo supera la vida útil de la instalación. Sin embargo, en vista de los resultados, que indican tiempos de retorno parecidos alrededor del punto óptimo, puede ser interesante quizás hacer el estudio en combinación con otros factores como la inversión inicial o el ahorro, que presenta una saturación evidente.

El precio de la instalación es un factor a tener en cuenta y se ve muy aumentado con el uso de baterías, que como ya se ha comentado suponen todavía una gran parte del total de la inversión. De hecho, los dimensionamientos óptimos calculados dan una capacidad de baterías total baja o incluso nula probablemente por este motivo, el elevado coste que tienen en la actualidad las baterías de ión-litio.

Por todo esto, tiene justificación un programa informático que busque las dimensiones óptimas de la instalación. El dilema surge de la disyuntiva entre inyectar excedentes en la red (y obtener compensación por éstos) o almacenarlos en baterías (y reducir el consumo de la red por la noche, cuando no hay generación fotovoltaica).

Sea como fuere, independientemente de las variables que se utilicen para llevar a cabo la optimización, también se debe hacer mención al tiempo de ejecución del programa, ya que para el uso que se le da quizás podría haberse planteado sacrificar precisión en favor de una mayor rapidez de ejecución del código, es decir, buscar una solución de compromiso.

Otro aspecto a señalar del programa es su implementación, que como se ha visto es en lenguaje M. Aunque nos permite hacer análisis muy interesantes, el objetivo último del *software* no es otro que el ayudar a usuarios a dimensionar su instalación, por lo que habría que buscar que éstos pudieran usarlo fácilmente (por eso se adjunta a este trabajo una breve guía de usuario en el Anexo B: Manual de usuario de Fotovoltín). Por este motivo, podría ser interesante implementarla en otro lenguaje que permitiera obtener de manera sencilla un ejecutable, como Python, por ejemplo.

Como comentario final, se han hecho a lo largo del texto muchas comparaciones entre un consumo 2.0A y otro 2.0DHA, como las diferencias entre ahorros por la instalación o el tiempo de retorno de la inversión para éstas. Estas comparaciones podrían parecer insustanciales sabiendo que pronto serán sustituidas por una única modalidad, pero nada más lejos de la realidad. Estos cálculos y simulaciones están realizados asumiendo que el perfil de consumo de una persona se va a adecuar a los precios que corresponden a su modalidad para reducir el consumo económico de la energía, por lo que las mostradas serían sus facturas mínimas.

Por lo tanto, que sirva al menos para señalar el correcto solapamiento de nuestros hábitos y modo de vida a los precios de la electricidad pueden reducir nuestra factura, algo que para muchos puede ser motivo de alegría e incluso de alivio. Además, se ha comprobado en este trabajo que precisamente son a las personas con un consumo eléctrico anual más bajo a las que les llevará más tiempo amortizar las instalaciones fotovoltaicas. Sería interesante estudiar subvenciones con componentes en función, además de la potencia y almacenamiento, de la renta del usuario, para facilitar la oportunidad real de usar las energías renovables y beneficiarse de sus ventajas a todo el conjunto de la sociedad.

# ANEXO A: ENCUESTA

---

Se ha realizado una encuesta para conocer el arraigo del autoconsumo fotovoltaico en la sociedad española, así como saber de qué maneras podría fomentarse su uso en los hogares. Además, se pretendía conocer el grado de conocimiento sobre otras energías renovables.

Por otra parte, también se analiza la alfabetización en cuestiones relacionadas con la energía eléctrica, su consumo, su facturación y el acceso a ella.

415 personas respondieron la encuesta, que consta de las siguientes preguntas y se dan a elegir sus correspondientes respuestas:

1. ¿Conoce alguna de estas energías renovables? Indique cuáles
  - a. Aerotermia: 13,7%
  - b. Biomasa: 72,5%
  - c. Fotovoltaica: 92,5%
  - d. Geotérmica: 68,2%
  - e. Hidráulica: 93,3%
  - f. Eólica: 97,8%
  - g. Mareomotriz: 74%
  - h. Termosolar: 74,7%
  - i. Undimotriz: 6,7%
  - j. Ninguna: 0,7%
2. ¿Tiene autoconsumo mediante placas fotovoltaicas?
  - a. Sí: 12,5%
  - b. No: 87,5%
3. ¿Conoce a alguien que tenga autoconsumo mediante placas fotovoltaicas?
  - a. Sí: 65,8%

- b. No: 34,2%
4. ¿Sabe qué es el autoconsumo colectivo?
- a. Sí: 33,7%
- b. No: 66,3%
5. ¿Le ayudaría a decidir si instalar placas fotovoltaicas si supiera cuánto ahorra en la factura y cuánto tiempo tarda en recuperar inversión?
- a. Sí: 97,1%
- b. No: 2,9%
6. ¿Le ayudaría a decidirse por instalar placas fotovoltaicas si percibiera subvención para costearlas, al menos en parte?
- a. Sí: 96,6%
- b. No: 3,4%
7. Con respecto a la factura eléctrica, ¿sabe con quién tiene contratado el suministro?
- a. Sí: 81,7%
- b. No: 18,3%
8. ¿Sabe qué es el Precio Voluntario de Pequeño Consumidor (PVPC)?
- a. Sí: 9,6%
- b. No: 90,4%
9. ¿Tiene contratado PVPC?
- a. Sí: 5,3%
- b. No: 11,3%
- c. No lo sé: 83,4%
10. ¿Sabe qué es la potencia contratada?
- a. Sí: 86%
- b. No: 14%
11. ¿Sabe cuál es su potencia contratada?
- a. Sí: 51,6%
- b. No: 48,4%
12. ¿Sabe qué es la tarifa de discriminación horaria?
- a. Sí: 78,1%
- b. No: 21,9%
13. ¿Tiene contratada tarifa con o sin discriminación horaria?
- a. Con discriminación horaria: 20,5%
- b. Sin discriminación horaria: 33%
- c. No lo sé: 46,5%
14. ¿Conoce la nueva tarifa eléctrica 2.0TD?
- a. Sí: 4,1%
- b. No: 95,9%



15. ¿Sabe qué es el bono social eléctrico?

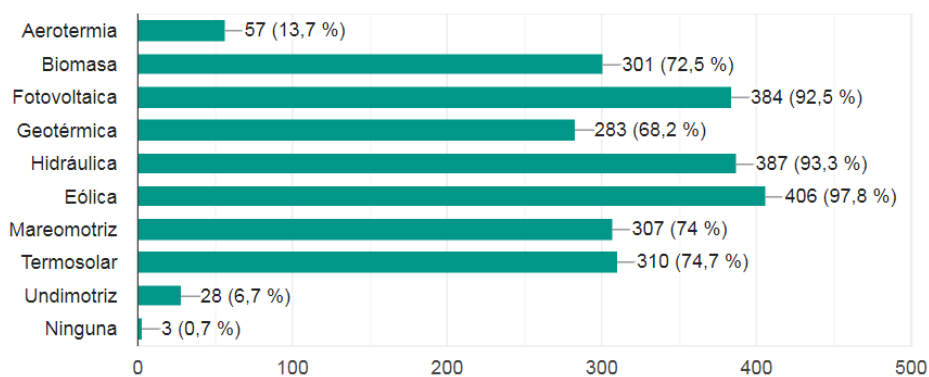
- a. Sí: 37,3%
- b. No: 62,7%

16. ¿Sabe qué es la pobreza energética?

- a. Sí: 65,8%
- b. No: 34,2%

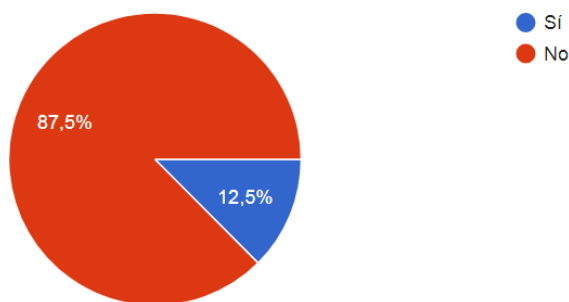
¿Conoce alguna de estas energías renovables? Indique cuáles

415 respuestas



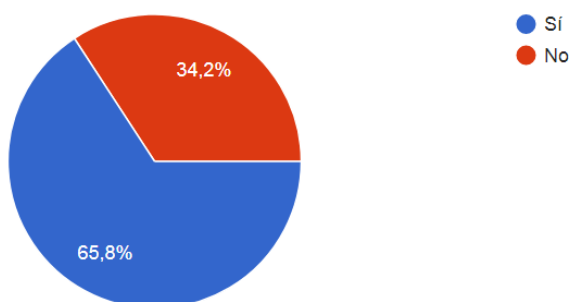
¿Tiene autoconsumo mediante placas fotovoltaicas?

415 respuestas



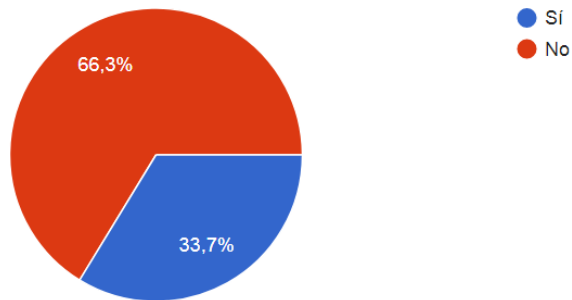
¿Conoce a alguien que tenga autoconsumo mediante placas fotovoltaicas?

415 respuestas



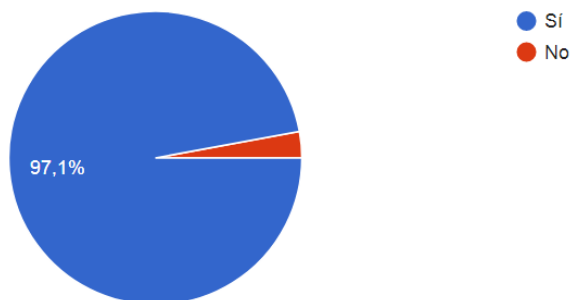
¿Sabe qué es el autoconsumo colectivo?

415 respuestas



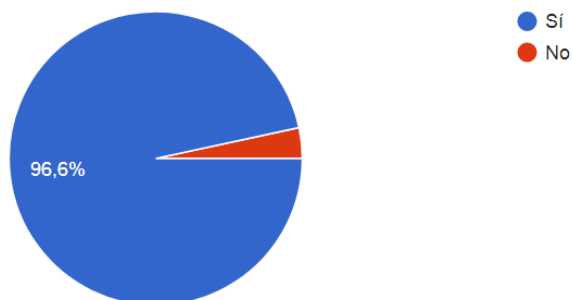
¿Le ayudaría a decidir si instalar placas fotovoltaicas si supiera cuánto ahorra en la factura y cuánto tiempo tarda en recuperar la inversión?

415 respuestas



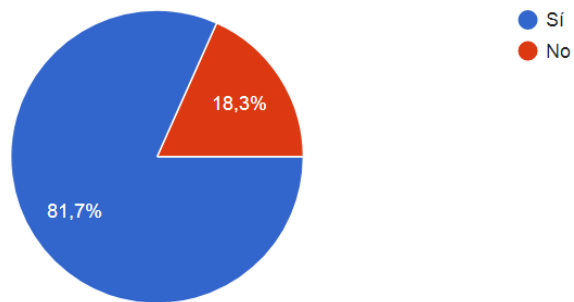
¿Le ayudaría a decidirse por instalar placas fotovoltaicas si percibiera subvención para costearlas, al menos en parte?

415 respuestas



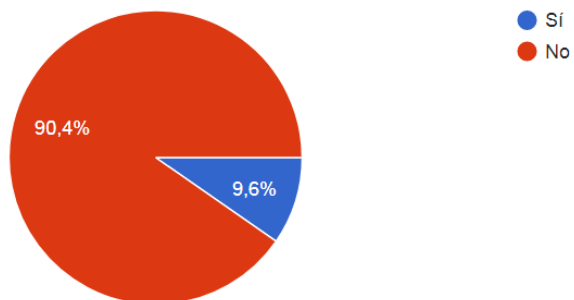
Con respecto a la factura eléctrica, ¿sabe con quién tiene contratado el suministro?

415 respuestas



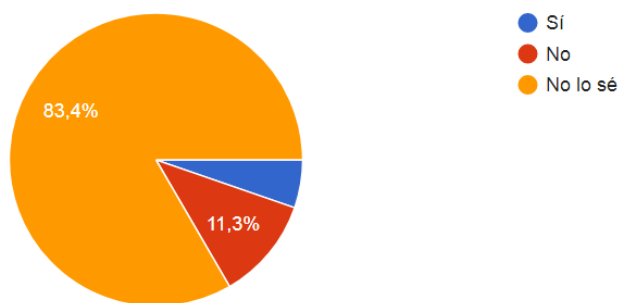
¿Sabe qué es el Precio Voluntario de Pequeño Consumidor (PVPC)?

415 respuestas



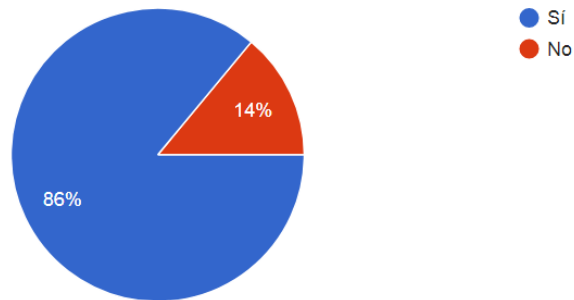
¿Tiene contratado PVPC?

415 respuestas



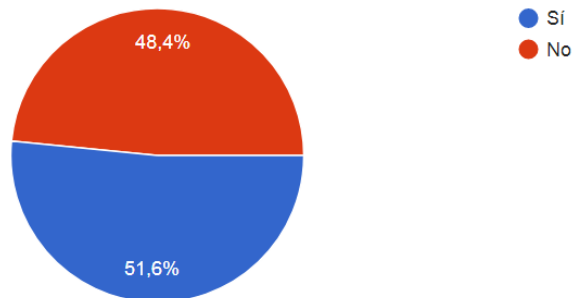
¿Sabe qué es la potencia contratada?

415 respuestas



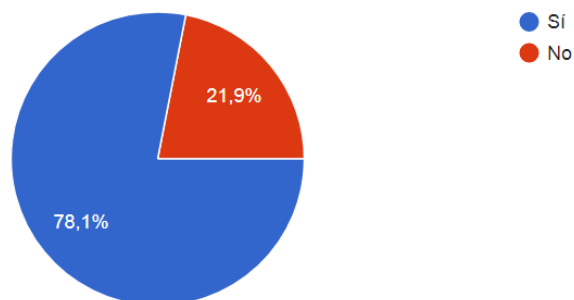
¿Sabe cuál es su potencia contratada?

415 respuestas



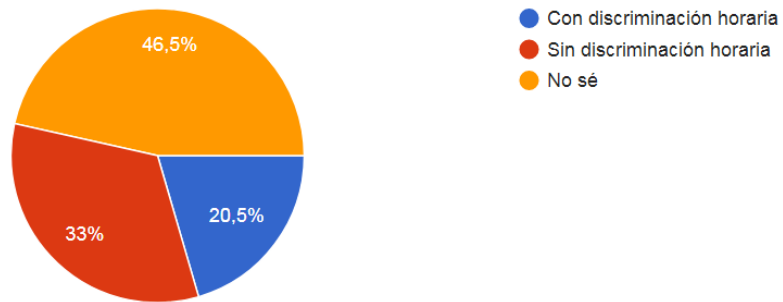
¿Sabe qué es la tarifa de discriminación horaria?

415 respuestas



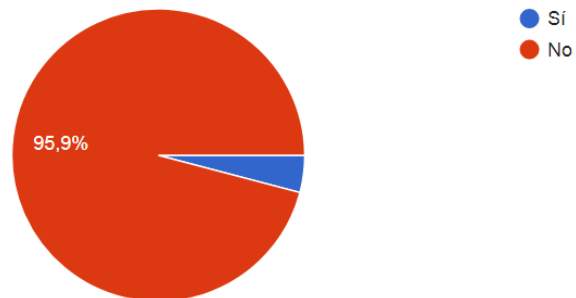
¿Tiene contratada tarifa con o sin discriminación horaria?

415 respuestas



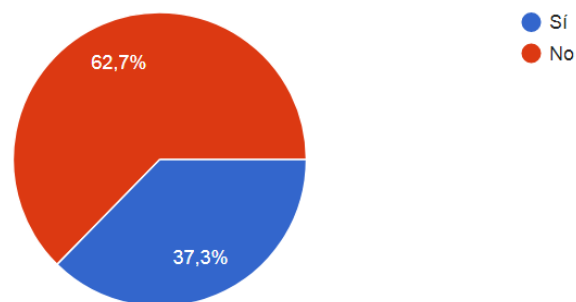
¿Conoce la nueva tarifa eléctrica 2.0 TD?

415 respuestas



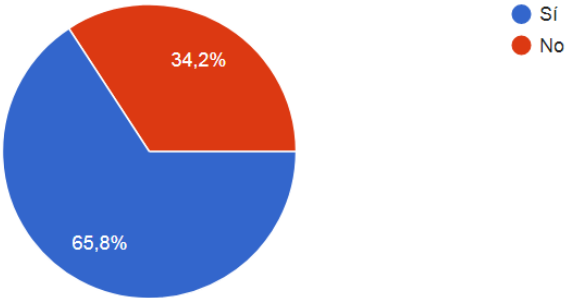
¿Sabe qué es el bono social eléctrico?

415 respuestas



¿Sabe qué es la pobreza energética?

415 respuestas



# ANEXO B: MANUAL DE USUARIO DE FOTOVOLTÍN

Se crea esta guía de usuario para facilitar el uso del programa Fotovoltín, que calculará el dimensionamiento óptimo de su instalación fotovoltaica, que hará que recupere la inversión en el menor tiempo posible. Aunque es fácil de usar y va siendo guiado por su recorrido puede ser algo lioso para alguien que no esté acostumbrado a tratar con términos eléctricos. En primer lugar, al iniciar el programa se muestra un mensaje de bienvenida y tendrá que pulsar una tecla cualquiera para empezar a introducir los datos que le irá pidiendo.

```
Command Window
Bienvenido al programa de optimización de su próxima instalación fotovoltaica de autoconsumo.
Soy Fotovoltín y seré su asistente. Siga mis instrucciones y todo saldrá bien.
Pulse cualquier tecla para continuar...
```

Para comenzar, el programa necesitará su ubicación. Fotovoltín tiene disponibles datos de 54 ciudades españolas bien elegir una de ellas, o elegir varias para aproximar la posición de su municipio con ellas. A continuación, deberá concretar la comunidad autónoma en la que se encuentra, para poder tener un cálculo preciso de la subvención que le corresponde.

```
Command Window
En primer lugar, necesito saber la localización de su instalación.
Para ello elija cuántas ciudades de la anterior lista hacen falta para su localización.
NOTA: Puede elegir más y ponderar alguna eligiendo varias veces la misma.
Número de puntos: 5

Introduzca el número ( ) de la ciudad 1 [1-54]: 45
Introduzca el número ( ) de la ciudad 2 [1-54]: 45
Introduzca el número ( ) de la ciudad 3 [1-54]: 45
Introduzca el número ( ) de la ciudad 4 [1-54]: 14
Introduzca el número ( ) de la ciudad 5 [1-54]: 29

Ha elegido las siguientes ciudades:
(14)Córdoba x1
(29)Málaga x1
(45)Sevilla x3
Los datos de generación fotovoltaica en su localización han sido cargados con éxito.
Pulse cualquier tecla para continuar...
```

```

Command Window
Lista de Comunidades y Ciudades Autónomas
( 1) Andalucía
( 2) Aragón
( 3) Canarias
( 4) Cantabria
( 5) Castilla y León
( 6) Castilla-La Mancha
( 7) Cataluña
( 8) Ceuta
( 9) Comunidad de Madrid
(10) Comunidad Valenciana
(11) Extremadura
(12) Galicia
(13) Islas Baleares
(14) La Rioja
(15) Melilla
(16) Navarra
(17) País Vasco
(18) Principado de Asturias
(19) Región de Murcia

Introduzca el número ( ) de su Comunidad o Ciudad Autónoma [1-19]: 1
Ha elegido como su Comunidad o Ciudad Autónoma: Andalucía

```

Una vez que ha definido su ubicación completamente, a Fotovoltín le harán falta datos sobre su consumo eléctrico. Lo primero que le preguntará será el tipo de tarifa que tiene contratada: sin discriminación horaria o con ella (localizable en la factura si no lo recuerda). Una vez elegida, lo siguiente será elegir entre unos datos de consumo predeterminados o los propios. Si opta por el predeterminado, además necesitará introducir el consumo energético total de un año completo (si no lo sabe se le da uno de referencia). Si por el contrario elige su propio consumo, previamente deberá haberlo introducido en la carpeta en la que haya instalado el programa, en formato .txt y con el nombre “*consumousuario.txt*”. Este fichero deberá contener el consumo horario de todo el año en forma de una columna y los decimales separados con punto (.).

```

Command Window
Necesito saber qué tarifa tiene:
( 1) Sin discriminación horaria
( 2) Con discriminación horaria
NOTA: Tiene que elegir una aunque no lo sepa con seguridad.
Elija su tarifa [1-2]: 1

Ha elegido usar ( 1) Tarifa sin discriminación horaria.
A continuación, necesito datos de consumo energético horario. Puede elegir entre:
( 1) Datos por defecto
( 2) Datos propios
Elija una opción [1-2]: 1

Ha elegido usar ( 1) Datos por defecto.
Ahora necesito su consumo energético anual (kWh).
NOTA: Si no lo sabe puede usar el dato de referencia de 3790.
Consumo energético anual: 3790

Ha elegido usar un consumo anual de 3790 kWh.
Los datos de consumo energético de su vivienda han sido cargados con éxito.
Pulse cualquier tecla para continuar...

```



Para terminar con los datos de su consumo y factura, el programa le pedirá el dato de su potencia contratada. Lo siguiente será elegir un valor de la llamada tasa de retorno (en %). Esto será un indicativo de la rentabilidad que le quiere sacar a la inversión, Fotovoltín le recomienda usar el valor del IPC para ser precavido, pero no ambicioso.

```
Command Window
Indique su potencia contratada en kW: 4.6

Introduzca un valor (%) para la tasa de retorno de la inversión.
NOTA: Tome de referencia el valor del IPC 1.1
Tasa de retorno: 1.1
```

En ese momento, Fotovoltín empezará a realizar unos cálculos para llegar a la potencia y capacidad de baterías que debe instalar para que su instalación sea óptima conforme a su consumo. Mientras hace estos cálculos verá en la pantalla una barra que indica el progreso, para darse cuenta si avanza o no.

```
Command Window
¡Gracias por su ayuda!
A partir de aquí Fotovoltín se encargará de calcular el mejor dimensionamiento para su instalación fotovoltaica.
Pulse cualquier tecla para continuar...
Esta operación llevará un tiempo. Gracias por su paciencia ^^

|-----| 0%
||-----| 10%
||||-----| 25%
|||||-----| 40%
||||||-----| 50%
||||||||-----| 75%
|||||||||-----| 80%
|||||||||-----| 90%
|||||||||-----| 100%

¡Misión cumplida! Pulse cualquier tecla para continuar...
```

Una vez que están los cálculos hechos, el programa le preguntará si tiene un máximo de área para colocar los paneles o si hay un máximo de dinero que puede pagar. Si pone alguna condición demasiado restrictiva el programa se lo hará saber y le dará la opción de poner otra menos exigente o eliminarla.

```
Command Window
¿Desea imponer un área máxima de extensión para la instalación? [s/n]: n
¿Desea imponer una inversión inicial máxima para la instalación? [s/n]: n

Gracias por la espera. A continuación, Fotovoltín le mostrará sus resultados personalizados.
Pulse cualquier tecla para continuar...
```

En estas condiciones, Fotovoltín será capaz de darle mucha información que le puede ser útil a la hora de decidir si instalar paneles fotovoltaicos, como el término energético o la factura total con y sin instalación (así como el ahorro que supone), la potencia y almacenamiento óptimos de la instalación que minimizará el tiempo de amortización, la inversión que necesitará para llevarla a cabo, la posible subvención, la inversión teniendo en cuenta la subvención y el tiempo de retorno de la inversión sin y con subvención.

```
Command Window
Sus costes económicos al año por energía consumida sin y con instalación fotovoltaica son:
Sin usar energía fotovoltaica es 395.63 €
Usando energía fotovoltaica es 58.37 €
Pulse cualquier tecla para continuar...
```

Su factura anual sin instalación fotovoltaica es de 535.02 €  
 Su factura anual con instalación fotovoltaica es de 106.06 €  
 Mediante la instalación fotovoltaica ahorra 428.96 € por año.  
 Pulse cualquier tecla para continuar...

Su instalación óptima consta de:  
 12 placas fotovoltaicas de 270 W (3.24 kWp).  
 0.00 kWh de capacidad de almacenamiento en baterías.  
 Pulse cualquier tecla para continuar...

Su inversión sin subvención es 5877.65 €  
 Pulse cualquier tecla para continuar...

Su subvención es 2057.18 €  
 Su inversión con subvención es 3820.47 €  
 Pulse cualquier tecla para continuar...

El tiempo de retorno actualizado sin subvención es de 14 años 11 meses  
 El tiempo de retorno actualizado con subvención es de 9 años 5 meses  
 Pulse cualquier tecla para continuar...

Al terminar de presentar los datos, se le dará la opción de mostrar los datos por pantalla además de guardarlos en un fichero, que se llamará "resultados.txt", para poder observar los resultados de tiempos de retorno con mayor detenimiento y realizar tranquilo la decisión del dimensionamiento de su instalación fotovoltaica.

```

Command Window
¿Le gustaría ver un resumen de los resultados obtenidos? [s/n]: s

Resumen_Resultados =

           Pot0_27kWp   Pot0_54kWp   Pot0_81kWp   Pot1_08kWp   Pot1_35kWp   Pot1_62kWp
-----
Bat0_00   69.727      31.144      22.021      18.952      17.383      16.355
Bat0_25   69.727      31.144      22.008      19.066      17.604      16.559
Bat0_50   82.183      35.043      24.065      20.502      18.688      17.525
Bat0_75   102.17      40.565      27.084      22.451      20.374      18.991
Bat1_0    102.17      40.565      26.946      22.03      19.873      18.557
Bat1_25   102.17      40.565      26.875      21.589      19.388      18.146
Bat1_50   110.79      42.688      28.04      22.136      19.777      18.427
Bat1_75   116.16      43.933      28.719      22.339      19.745      18.388
Bat2_0    116.16      43.933      28.707      22.127      19.385      18.036
Bat2_25   116.16      43.933      28.702      21.995      19.071      17.684
Bat2_50   124.16      45.688      29.69      22.602      19.343      17.862

¿Le gustaría guardar el resumen de los resultados obtenidos en un fichero? [s/n]: n
¡Muchas gracias por su colaboración! Fotovoltin espera haberle sido de ayuda ^^
    
```

	0.27	0.54	0.81	1.08	1.35	1.62	1.89	2.16	2.43	2.7	2.97	3.24	3.51	3.78	4.05	4.32	4.59
0	69.727	31.144	22.021	18.952	17.383	16.355	16.288	15.658	15.409	15.316	15.05	14.933	15.251	15.609	15.853	16.106	16.359
0.25	69.727	31.144	22.008	19.066	17.604	16.559	16.474	15.805	15.513	15.415	15.141	15.005	15.313	15.676	15.917	16.17	16.421
0.5	82.183	35.043	24.065	20.502	18.688	17.525	17.347	16.627	16.304	16.166	15.867	15.727	16.042	16.376	16.607	16.848	17.089
0.75	102.17	40.565	27.084	22.451	20.374	18.991	18.644	17.84	17.432	17.252	16.931	16.804	17.101	17.462	17.675	17.887	18.1
1	102.17	40.565	26.946	22.03	19.873	18.557	18.262	17.449	17.051	16.907	16.61	16.572	16.885	17.247	17.46	17.739	17.952
1.25	102.17	40.565	26.875	21.589	19.388	18.146	17.875	17.131	16.794	16.697	16.456	16.464	16.788	17.15	17.356	17.651	17.946
1.5	110.79	42.688	28.04	22.136	19.777	18.427	18.108	17.343	16.983	16.867	16.619	16.72	17.072	17.423	17.629	18.022	18.228
1.75	116.16	43.933	28.719	22.339	19.745	18.388	18.078	17.314	16.985	16.886	16.691	16.807	17.166	17.512	17.742	18.162	18.368
2	116.16	43.933	28.707	22.127	19.385	18.036	17.737	17.003	16.738	16.676	16.536	16.649	17.031	17.377	17.666	18.087	18.293
2.25	116.16	43.933	28.702	21.995	19.071	17.684	17.394	16.689	16.458	16.426	16.379	16.515	16.891	17.238	17.604	18.026	18.232
2.5	124.16	45.688	29.69	22.602	19.343	17.862	17.531	16.815	16.598	16.574	16.583	16.732	17.101	17.466	17.866	18.283	18.489

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Diccionario del Español Jurídico*. Real Academia Española. [En línea] [fecha de consulta: 15 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://dej.rae.es/lema/medioambiente>
- [2] <http://www.canalsur.es/noticias/andaluc%C3%ADa/miles-de-estudiantes-piden-en-la-calle-a-los-politicos-que-rescaten-el-planeta/1407192.html>
- [3] [https://elpais.com/elpais/2016/05/20/ciencia/1463761683\\_817306.html](https://elpais.com/elpais/2016/05/20/ciencia/1463761683_817306.html)
- [4] <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2018/04/04/5ac4ed41e5fdeaab0d8b45a9.html>
- [5] España. Real Decreto 355/2018, de 6 de junio, por el que se reestructuran los departamentos ministeriales. Boletín Oficial del Estado, 7 de junio de 2018, núm. 138, pp. 58722 a 58727.
- [6] España. Real Decreto 2/20, de 12 de enero, por el que se reestructuran los departamentos ministeriales. Boletín Oficial del Estado, 13 de enero de 2020, núm. 11, pp. 2870 a 2878.
- [7] España. Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de consumidores. Boletín Oficial del Estado, 6 de octubre, núm. 242, pp. 97430 a 97467.
- [8] España. Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. Boletín Oficial del Estado, 10 de octubre de 2015, núm. 243, pp. 94874 a 94917.
- [9] Azancot, V. *RD 900/2015, sobre autoconsumo y Propuesta de UNEF*. Unión Española Fotovoltaica.
- [10] Winkler, J., Ragawitz, M., Fraunhofer, I. 2016. *Solar energy policy in the EU and the Member States, from the perspective of the petitions received*. Bruselas, Bélgica : Policy Department for Citizens' Rights and Constitutional Affairs, 2016.
- [11] España. Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Boletín Oficial del Estado, 6 de abril de 2019, núm. 83, pp. 35674 a 35719.
- [12] *Estrategia Nacional contra la pobreza energética 2019-2024*. Ministerio para la Transición Ecológica. [En línea] [fecha de consulta: 16 de febrero de 2020]. Disponible en: [https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica2019-2024\\_tcm30-496282.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica2019-2024_tcm30-496282.pdf)
- [13] *Metas de los objetivos de desarrollo sostenible*. Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030. [En línea][fecha de consulta: 16 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://www.agenda2030.gob.es/sites/default/files/recursos/METAS%20DE%20LOS%20ODS.pdf>
- [14] *Borrador actualizado del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030*. Ministerio para la Transición Ecológica. [En línea] [fecha de consulta: 16 de febrero de 2020]. Disponible en: [https://www.miteco.gob.es/images/es/pniec\\_2021-2030\\_borradoractualizado\\_tcm30-506491.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/pniec_2021-2030_borradoractualizado_tcm30-506491.pdf)
- [15] <https://transparencia.cadiz.es/electrica-de-cadiz-lanza-la-linea-de-negocio-de-autoconsumo-fotovoltaico/>
- [16] <https://unef.es/2020/02/la-nueva-regulacion-permite-el-despliegue-del-autoconsumo-en-espana/>
- [17] *Informe anual 2019. El sector fotovoltaico impulsor de la transición energética*. [En línea] [fecha de consulta: 16 de febrero de 2020]. Unión Española Fotovoltaica. Disponible en: [https://unef.es/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/2019/09/memoria\\_unef\\_2019-web.pdf](https://unef.es/wp-content/uploads/dlm_uploads/2019/09/memoria_unef_2019-web.pdf)
- [18] <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/aeroterminia-e-hidrotermia>

- [19] Álvarez Pelegry, E., Larrea Basterra, M., Suárez Diez, C. O. *Energías renovables en calefacción y refrigeración en los sectores residencial y terciario*. Orkestra. Instituto Vasco de Competitividad. Fundación Deusto. 2017.
- [20] Unión Europea. Directiva (UE) 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE Y 2003/30/CE.
- [21] Delgado Sánchez, J.M. *Ciclos Termodinámicos*. Departamento de Ingeniería Energética. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. 2019.
- [22] <https://www.mutriku.eus/es/turismo/mutriku/planta-olas>
- [23] <https://eve.eus/Actuaciones/Marina>
- [24] España. Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo, por el que se establece la metodología de cálculo de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica y su régimen jurídico de contratación. Boletín Oficial del Estado, 29 de marzo de 2014, núm. 77, pp. 27397-27428.
- [25] <https://www.facua.org/es/noticia.php?Id=14945>
- [26] España. Real Decreto 1164/2001, de 26 de octubre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica. Boletín Oficial del Estado, 8 de noviembre de 2001, núm. 268, pp. 40618 a 40629.
- [27] España. Circular 3/2020, de 15 de enero, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología para el cálculo de los peajes de transporte y distribución de electricidad. Boletín Oficial del Estado, 24 de enero de 2020, núm. 21, pp. 6953 a 6980.
- [28] España. Real Decreto 897/2017, de 6 de octubre, por el que se regula la figura del consumidor vulnerable, el bono social y otras medidas de protección para los consumidores domésticos de energía eléctrica. Boletín Oficial del Estado, 7 de octubre de 2017, núm. 242, pp. 97743 a 97775.
- [29] *Electricity prices for household consumers*. Febrero de 2020. [En línea] [fecha de consulta: 10 de abril de 2020]. Eurostat. Disponible en: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics#Electricity\\_prices\\_for\\_household\\_consumers](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics#Electricity_prices_for_household_consumers)
- [30] *Apuntes de Centrales Eléctricas: Tema 1. Introducción a la generación convencional*. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.
- [31] <https://spaceplace.nasa.gov/sun-age/en/>
- [32] <https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/in-depth/>
- [33] Çengel, Y.A., Ghajar, A.J. *Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones*. 4ª Ed. McGraw Hill, 2011. ISBN: 978-607-15-0540-8.
- [34] Sancho Ávila, J.M., Riesco Martín, J., Jiménez Alonso, C., Sánchez de Cos Escuin, M.C., Montero Cadalso, J., López Bartolomé, M. *Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Agencia Estatal de Meteorología. [En línea] [fecha de consulta: 26 de febrero de 2020]. Disponible en: [http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas\\_radiacion\\_solar/atlas\\_de\\_radiacion\\_24042012.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf)
- [35] *Espektro elektromagnetikoa*. [En línea] [fecha de consulta: 27 de febrero de 2020]. Wikipedia. Disponible en: [https://eu.wikipedia.org/wiki/Espektro\\_elektromagnetiko](https://eu.wikipedia.org/wiki/Espektro_elektromagnetiko)
- [36] *Solar irradiance spectrum above atmosphere and at surface*. [En línea] [fecha de consulta: 27 de febrero de 2020]. Wikipedia. Disponible en: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sunlight>
- [37] *Photoelectric effect*. [En línea] [fecha de consulta: 28 de febrero de 2020]. Wikipedia. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Photoelectric\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Photoelectric_effect)
- [38] *Tema 3. Sistema de generación eléctrico basado en energía fotovoltaica*. Grupo de Tecnología Electrónica. Departamento de Ingeniería Electrónica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería.

Universidad de Sevilla. Octubre de 2019.

- [39] Fernández León, M. M. *El sol de invierno y la energía solar*. [En línea] [fecha de consulta: 1 de marzo de 2020]. Departamento de Gestión de Energía. Área de Meteorología. Abengoa Solar España. Diciembre de 2014. Disponible en: <http://www.laenergadelcambio.com/sol-de-invierno-y-la-energia-solar/>
- [40] *Unión PN*. [En línea] [fecha de consulta: 28 de febrero de 2020]. Wikipedia. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Uni%C3%B3n\\_PN](https://es.wikipedia.org/wiki/Uni%C3%B3n_PN)
- [41] García Ortega, J., Pérez Ridaio, F., Barrero García, F., Toral Marín, S. *Apuntes de la asignatura Electrónica General*. Departamento de Ingeniería Electrónica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. 2014.
- [42] *El Sol puede ser suyo. Respuestas a todas las preguntas clave sobre energía solar fotovoltaica*. Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Noviembre de 2008. [En línea] [fecha de consulta: 28 de febrero de 2020]. Disponible en: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_EL\\_SOL\\_PUEDE\\_SER\\_SUYO\\_-\\_FV\\_nov08\\_FINAL\\_12-01-2009\\_\(2\)\\_b6ef3ccd.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_EL_SOL_PUEDE_SER_SUYO_-_FV_nov08_FINAL_12-01-2009_(2)_b6ef3ccd.pdf)
- [43] *Photovoltaic Geographical Information System*. European Commission. EU Science Hub. [En línea] [fecha de consulta: 1 de marzo de 2020]. Disponible en: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html)
- [44] *PVGIS users manual*. European Commission. EU Science Hub. [En línea] [fecha de consulta: 1 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/usermanual>
- [45] <https://www.renewables.ninja/>
- [46] <https://autosolar.es/>
- [47] *Instalar placas solares: Precios, pasos y permisos*. Selectra. [En línea] [fecha de consulta: 13 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://selectra.es/autoconsumo/info/instalacion>
- [48] <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/test/comparar-paneles-fotovoltaicos/results>
- [49] [https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/test/comparar-paneles-fotovoltaicos/jinko-jkm270pp-60/54330\\_54332](https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/test/comparar-paneles-fotovoltaicos/jinko-jkm270pp-60/54330_54332)
- [50] <https://www.quantumenergia.es/es/category/proyectos-autoconsumo-hogar/>
- [51] *Ley de Swanson*. [En línea] [fecha de consulta: 22 de marzo de 2020]. Wikipedia. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Swanson](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Swanson)
- [52] *Panel solar*. [En línea] [fecha de consulta: 22 de marzo de 2020]. Wikipedia. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Panel\\_solar](https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_solar)
- [53] Garrett, D. E. *Chemical engineering economics*. 1ª Ed. Nueva York: Van Nostrand Reinhold, 1989. ISBN-13: 978-94-011-6546-4.
- [54] <https://www.cambioenergetico.com/blog/faq-baterias-solares/>
- [55] <https://selectra.es/autoconsumo/info/componentes/baterias-solares>
- [56] *Triángulo del Litio*. [En línea] [fecha de consulta: 28 de abril de 2020]. Wikipedia. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Tri%C3%A1ngulo\\_del\\_Litio](https://es.wikipedia.org/wiki/Tri%C3%A1ngulo_del_Litio)
- [57] *Conceptos sobre baterías solares*. Sunfields Europe. [En línea] [fecha de consulta: 13 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/equipos-fotovoltaicos-baterias-solares-parte-iii/>
- [58] <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/>
- [59] *Battery life (and death)*. Electropaedia. [En línea] [fecha de consulta: 13 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.mpoweruk.com/life.htm>
- [60] *Casos de fallo en baterías solares*. Autosolar. [En línea] [fecha de consulta: 13 de marzo de 2020].



- Disponible en: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/causas-de-fallo-en-baterias-solares>
- [61] *Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo*. Departamento Solar del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Grupo de Trabajo de Autoconsumo de ENERAGEN. [En línea] [fecha de consulta: 14 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.idae.es/nueva-version-guia-autoconsumo-noviembre-2019>
- [62] Andalucía, Orden de 23 de diciembre 2016, por la que se aprueban las bases reguladoras para la concesión de incentivos para el desarrollo energético sostenible de Andalucía en el período 2017-20. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, 30 de diciembre de 2016, núm. 249, pp. 249 a 336.
- [63] Andalucía, Orden de 5 de octubre de 2015, por la que se aprueban las bases reguladoras tipo y los formularios tipo de la Administración de la Junta de Andalucía para la concesión de subvenciones en régimen de concurrencia no competitiva. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, 5 de noviembre de 2015, núm. 215, pp. 11 a 45.
- [64] Aragón, Orden EI/263/2019, de 14 de marzo, por la que se convocan para el año 2019, ayudas en materia de ahorro y diversificación energética, uso racional de la energía y aprovechamiento de los recursos autóctonos y renovables, cofinanciadas por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Boletín Oficial de Aragón, 22 de marzo de 2019, núm. 57, pp. 7731 a 7760.
- [65] Canarias, Extracto de la Orden de 18 de julio de 2018, por la que se incrementa el crédito destinado a la convocatoria durante el año 2018, para la concesión de subvenciones para la mejora de la eficiencia energética y el uso de energías renovables en empresas y edificios residenciales, efectuada mediante Orden de 4 de mayo de 2018. Boletín Oficial de Canarias, 27 de julio de 2018, núm. 145, pp. 24732 a 24733.
- [66] Cantabria, Orden INN/4/2019, de 15 de febrero, por la que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones a actuaciones en energías renovables y ahorro y eficiencia energética en Cantabria. Boletín Oficial de Cantabria, 1 de marzo de 2019, núm. 43, pp. 5640 a 5655.
- [67] Castilla-La Mancha, Resolución de 29 de marzo de 2019, de la Dirección General de Industria, Energía y Minería, por la que se convocan ayudas, para el aprovechamiento de las energías renovables en Castilla-La Mancha para 2019, cofinanciadas por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional. Diario Oficial de Castilla-La Mancha, 8 de abril de 2019, núm. 69, pp. 10799 a 10829.
- [68] Castilla y León, Orden FYM/611/2018, de 6 de junio, por la que se aprueban las bases reguladoras para la concesión de subvenciones destinadas al alquiler de vivienda y a la Rehabilitación de Edificios y Viviendas, para el período 2018-2021. Boletín Oficial de Castilla y León, 13 de junio de 2018, núm. 113, pp. 23594 a 23635.
- [69] Cataluña, Resolución TES/1300/2019, de 13 de mayo, por la que se aprueban las bases reguladoras para la concesión de subvenciones para el fomento de la rehabilitación de edificios de tipología residencial. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 16 de mayo de 2019, núm. 7876, pp. 1 a 18.
- [70] Cataluña, Resolución EMC/1865/2017, de 24 de julio, por la que se aprueban las bases reguladoras para la concesión de subvenciones para sistemas de almacenamiento de energía eléctrica con baterías asociados a instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 1 de agosto de 2017, núm. 7424, pp. 1 a 16.
- [71] Comunidad de Madrid, Orden de 20 de mayo de 2019, de la Conserjería de Economía, Empleo y Hacienda, por la que se aprueban las bases reguladoras para la concesión de ayudas por la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid para el desarrollo del II Plan de Impulso de Instalaciones de Autoconsumo Fotovoltaico en el Sector Residencial de la Comunidad de Madrid. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, 4 de junio de 2019, núm. 131, pp. 50 a 131.
- [72] Comunidad Valenciana, Resolución de 28 de enero de 2019, de la presidencia del Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE), por la que se convocan ayudas destinadas al fomento de instalaciones de autoconsumo de energía eléctrica, con cargo al Fondo de Promoción previsto en el marco del Plan eólico de la Comunitat Valenciana, para el ejercicio 2019. Diari Oficial de la Generalitat Valenciana, 1 de febrero de 2019, núm. 8477, pp. 7736 a 7750.

- [73]Extremadura, Decreto 110/2018, de 17 de julio, por el que se establecen las bases reguladoras para el régimen de concesión de subvenciones para actuaciones en energías renovables en Extremadura. Diario Oficial de Extremadura, 23 de julio de 2018, núm 142, pp. 29118 a 29191.
- [74]Galicia, Resolución de 21 de febrero de 2019 por la que se aprueban las bases reguladoras de las subvenciones para proyectos de energía solar fotovoltaica dirigidas a particulares, para el año 2019. Diario Oficial de Galicia, 5 de marzo de 2019, núm. 45, pp. 12533 a 12570.
- [75]Islas Baleares, Resolución del consejero de Territorio, Energía y Movilidad de 21 de diciembre de 2018 por la que se aprueba, mediante el procedimiento de gasto anticipado, la convocatoria pública de subvenciones para el fomento de instalaciones de energía solar fotovoltaica y microeólica dirigida a particulares, entidades sin ánimo de lucro, pequeñas y medianas empresas y asociaciones empresariales. Butlletí Oficial de les Illes Balears, 29 de diciembre de 2018, núm. 163, pp. 44508 a 44523.
- [76]La Rioja, Orden DEI/11/2018, de 1 de marzo, por la que se aprueban las bases reguladoras de la concesión de subvenciones por la Agencia de Desarrollo Económico de La Rioja destinadas a la promoción de las energías renovables, el ahorro y la eficiencia energética y la protección del medio ambiente, en régimen de concesión directa. Boletín Oficial de La Rioja, 7 de marzo de 2018, núm. 28, pp. 3070 a 3100.
- [77]*Programa de ayudas a inversiones en instalaciones de energías renovables para producción eléctrica. Bases.* Ente Vasco de la Energía. Bilbao.
- [78]Región de Murcia, Orden de 22 de febrero de 2019, de la Conserjería de Fomento e Infraestructuras, por la que se modifica la Orden 21 de diciembre de 2018, de la Conserjería de Fomento de Infraestructuras, por la que se aprueban las bases reguladoras de las ayudas destinadas al fomento de autoconsumo de energías renovables, con la instalación de energía solar fotovoltaica en viviendas conectadas y no conectadas a la red de distribución en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- [79]España. Real Decreto Legislativo 2/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales. Boletín Oficial del Estado, 9 de marzo de 2004, núm. 59, pp. 10284 a 10342.
- [80]*Bonificaciones fiscales al autoconsumo en las principales ciudades españolas.* Fundación Energías Renovables, octubre de 2019. [En línea] [fecha de consulta: 18 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://fundacionrenovables.org/documento/bonificaciones-fiscales-al-autoconsumo-en-las-principales-ciudades-espanolas-2019/>
- [81]España. Orden ITC/1723/2009, de 26 de junio por la que se revisan los peajes de acceso a partir de 1 de julio de 2009 y las tarifas y primas de determinadas instalaciones de régimen especial. Boletín Oficial del Estado, 29 de junio de 2009, núm. 156, pp. 53812 a 53821.
- [82]España. Resolución de 21 de diciembre de 2018, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba el perfil de consumo y el método de cálculo a efectos de liquidación de energía, aplicables para aquellos consumidores tipo 4 y tipo 5 que no dispongan de registro horario de consumo según el Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico, para el año 2019. Boletín Oficial del Estado, 4 de enero de 2019, núm. 4, pp. 536 a 713.
- [83]España. Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico. Boletín Oficial del Estado, 18 de septiembre de 2007, núm. 224, pp. 37860 a 37875.
- [84]*Bonificaciones fiscales al autoconsumo en las principales ciudades españolas.* Fundación Energías Renovables, octubre de 2019. [En línea] [fecha de consulta: 18 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://fundacionrenovables.org/documento/bonificaciones-fiscales-al-autoconsumo-en-las-principales-ciudades-espanolas-2019/>
- [85]<https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/medidas-electricas>
- [86]*Consumos del Sector Residencial en España. Resumen de Información Básica.* Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Eurostat. 2011. [En línea] [fecha de consulta: 21 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.idae.es/estudios-informes->

- [y-estadísticas](#)
- [87][https://www.ree.es/sites/default/files/interactivos/como\\_consumimos\\_electricidad/como-varia-mi-consumo.html](https://www.ree.es/sites/default/files/interactivos/como_consumimos_electricidad/como-varia-mi-consumo.html)
- [88]*Informe anual de intensidades energéticas. Año 2017*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Secretaría General. Departamento de Planificación y Estudios. 10ª Edición. Julio de 2019. [En línea] [fecha de consulta: 22 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.idae.es/estudios-informes-y-estadísticas>
- [89]*El papel de la tarifa eléctrica en la transición energética*. Unión Española Fotovoltaica. Julio de 2019. [En línea] [fecha de consulta: 22 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://unef.es/2019/07/unef-solicita-que-la-tarifa-electrica-acompane-el-proceso-de-transicion-ecologica/>
- [90]*Boletín de indicadores eléctricos de abril de 2019*. Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. Abril de 2019. [En línea] [fecha de consulta: 22 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.cnmc.es/expedientes/isde01219>
- [91]*Ley de Swanson*. [En línea] [fecha de consulta: 22 de marzo de 2020]. Wikipedia. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Swanson](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Swanson)
- [92]*Panel solar*. [En línea] [fecha de consulta: 22 de marzo de 2020]. Wikipedia. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Panel\\_solar](https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_solar)
- [93]Denholm, P., O'Connell, M., Brinkman, G., Jorgenson, J. *Overgeneration from Solar Energy in California: A Field Guide to the Duck Chart*. Noviembre de 2015. [En línea] [fecha de consulta: 24 de marzo de 2020]. National Renewable Energy Laboratory. Disponible en: <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65023.pdf>
- [94]Wirfs-Brock, J. *IE Questions: Why Is California Trying To Behead The Duck?*. Octubre de 2014. [En línea] [fecha de consulta: 24 de marzo de 2020]. Inside Energy. Disponible en: <http://insideenergy.org/2014/10/02/ie-questions-why-is-california-trying-to-behead-the-duck/>
- [95]St. John, J. *Hawaii's Solar-Grid Landscape and the 'Nessie Curve'*. Febrero de 2014. [En línea] [fecha de consulta: 24 de marzo de 2020]. Greentech Media. Disponible en: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/hawaiis-solar-grid-landscape-and-the-nessie-curve>
- [96]St. John, J. *Charting Hawaii's Spectacular Solar Energy Growth*. Febrero de 2015. [En línea] [fecha de consulta: 24 de marzo de 2020]. Greentech Media. Disponible en: <https://energycentral.com/c/ec/charting-hawaiis-spectacular-solar-energy-growth>
- [97]*Apuntes de Sistemas Eléctricos de Potencia: Tema 6. Demanda*. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.
- [98]Pears, A. *Slash Australians' power bills by beheading a duck at night*. Junio de 2014. [En línea] [fecha de consulta: 28 de marzo de 2020]. Greentech Media. Disponible en: <http://theconversation.com/slash-australians-power-bills-by-beheading-a-duck-at-night-27234>
- [99][https://www.esios.ree.es/es/analisis/1739?vis=1&start\\_date=30-03-2020T00%3A00&end\\_date=30-03-2020T23%3A00&compare\\_start\\_date=29-03-2020T00%3A00&groupby=hour&compare\\_indicators=1013,1014,1015](https://www.esios.ree.es/es/analisis/1739?vis=1&start_date=30-03-2020T00%3A00&end_date=30-03-2020T23%3A00&compare_start_date=29-03-2020T00%3A00&groupby=hour&compare_indicators=1013,1014,1015)
- [100]*Informe de precios energéticos regulados*. Enero de 2020. [En línea] [fecha de consulta: 3 de abril de 2020]. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio para la Transición Ecológica. Disponible en: <https://www.idae.es/estudios-informes-y-estadísticas>
- [101]España. Ley 28/2014, de 27 de noviembre, por la que se modifican la Ley 37/1992, de 28 de diciembre, del Impuesto sobre el Valor Añadido, la Ley 20/1991, de 7 de junio, de modificación de los aspectos fiscales del Régimen Económico Fiscal de Canarias, la Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales, y la Ley 16/2013, de 29 de octubre por la que se establecen determinadas medidas en materia de fiscalidad medioambiental y se adoptan otras medidas tributarias y financieras. Boletín Oficial del Estado, 28 de noviembre de 2014, núm. 288, pp. 97098 a 97160.
- [102]Burgos Payán, M. *Apuntes de Accionamientos y Movilidad Eléctrica: Tema 2 Ahorro energético en*



*accionamientos eléctricos*. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.



# GLOSARIO

---

2.0A: Tarifa eléctrica sin discriminación horaria  
2.0DHA: Tarifa eléctrica con discriminación horaria  
2.0TD: Nueva tarifa eléctrica de seis periodos  
AGM: *Absorbed Glass Mat*  
CMSAF: *Climate Monitoring Satellite Application Facility*  
CNMC: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia  
COP: *Coefficient Of Performance*  
COR: Comercializadora Oficial de Referencia  
DOD: *Depth of Discharge*  
FACUA: FACUA-Consumidores en Acción  
IBI: Impuesto a Bienes Inmuebles  
ICIO: Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras  
IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía  
IPC: Índice de Precios de Consumo  
IRR: *Internal Return Rate*  
IVA: Impuesto sobre el Valor Añadido  
MITECO: Ministerio para la Transición Ecológica  
MPPT: *Maximum Power Point Tracking*  
ODS: Objetivo de Desarrollo Sostenible  
PNIEC: Plan Nacional Integrado de Energía y Clima  
PVGIS: *Photovoltaic Geographic Information System*  
PVPC: Precio Voluntario de Pequeño Consumidor  
RD: Real Decreto  
REE: Red Eléctrica de España  
SARAH: *Surface Solar Radiation Data Set-Heliosat*  
TIR: Tasa Interna de Retorno  
UNEF: Unión Española Fotovoltaica  
VAN: Valor Actual Neto