

# TRABAJO FIN DE GRADO



**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

## **ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

*Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación*

---

Interfaz gráfica para el análisis de la rentabilidad de una  
instalación fotovoltaica

*Autor:*

*Miguel Ángel Beltrán Parra*

*Directora:*

*Dra. Clara Máximo Gutiérrez*

*Murcia, mayo de 2025*







# TRABAJO FIN DE GRADO



**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

## ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

*Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación*

---

Interfaz gráfica para el análisis de la rentabilidad de una  
instalación fotovoltaica

*Autor:*

*Miguel Ángel Beltrán Parra*

*Directora:*

*Dra. Clara Máximo Gutiérrez*

*Murcia, mayo de 2025*



## Agradecimientos

Finalizar el grado universitario de Ingeniería de Telecomunicaciones a falta de un par de asignaturas en 4 años no ha sido nada sencillo. Por ello, quiero agradecer a mis queridos padres y a mi hermana por todo el apoyo brindado y por haber puesto mis estudios como prioridad durante todo este tiempo.

A mis amigos murcianos y valencianos, deciros que con vosotros todo es más fácil y que si he llegado hasta este punto así de feliz ha sido porque hemos combinado muy bien los estudios con la diversión.

En cuanto a la universidad, se agradece no ser tratado como un número y sí como una persona, que es lo que hace la UCAM. Quiero dar las gracias a Clara Máximo Gutiérrez por estar siempre dispuesta a ayudar y por la gran dirección de trabajo que ha hecho y a Miriam Mendoza López por haberse preocupado tanto por mí y aconsejarme en los momentos más difíciles.

Por último, quiero agradecer a mi perro Cley. Simplemente gracias por esa felicidad con la que me recibes al volver de clases y exámenes y por esos paseos nocturnos interminables que nos ayudan a los dos a despejarnos.



## Listado de Abreviatura

**A**, Amperios

**FV**, Fotovoltaica

**KW**, Kilowatios

**KWH**, Kilowatios hora

**HSP**, Hora solar de pico

**IMAX**, Intensidad máxima

**IMP**, Intensidad para máxima potencia

**IPC**, Índice de precios al consumidor

**ISC**, Short-Circuit Corrent

**PIN**, Potencia de Entrada

**POUT**, Potencia de Salida nominal

**PVGIS**, Phtovoltaic Geographical Information System

**V**, Voltios

**VMAX**, Tensión máxima

**VMIN**, Tensión mínima

**VMP**, Voltaje para máxima potencia

**VOC**, Voltaje Open Circuit

**W**, Watios

**WP**, Watios pico



## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>17</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>21</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>25</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>27</b>
3.1. Definición del área de estudio .....	27
3.2. El Sol como recurso energético .....	27
3.3. Energía solar fotovoltaica.....	29
3.3.1. Efecto fotoeléctrico .....	29
3.3.2. Historia de la energía solar FV.....	31
3.3.3. Energía solar FV en España .....	33
3.3.4. Ventajas e inconvenientes de la energía solar FV .....	34
3.4. Células FV .....	35
3.4.1. Definición de célula FV .....	35
3.4.2. Tipos de células FV .....	35
3.4.3. Funcionamiento de las células FV .....	37
3.4.4. Tipologías de las células FV .....	38
3.5. Paneles FV .....	40
3.5.1. Definición de un panel FV .....	40
3.5.2. Estructura de un panel FV .....	40
3.5.3. Condiciones Estándar de Medida .....	41
3.5.4. Caracterización eléctrica de un panel FV .....	42
3.6. Instalaciones FV .....	43
3.6.1. Instalaciones FV aisladas .....	44
3.6.2. Instalaciones FV conectadas a la red .....	44
3.7. Elementos de una instalación FV conectada a la red.....	45
3.7.1. Generador FV .....	45

3.7.2.	Inversor.....	45
3.7.3.	Estructura y cableado .....	47
3.8.	Dimensionamiento de una instalación FV conectada a la red .....	47
3.8.1.	Irradiancia.....	48
3.8.2.	PVGIS.....	49
3.8.3.	Hora solar de pico (HSP) .....	50
3.8.4.	Latitud y longitud.....	50
3.8.5.	Terrenos y tejados .....	51
3.8.6.	Ángulos de orientación e inclinación .....	51
3.8.7.	Potencia necesaria de la instalación FV.....	52
3.8.8.	Potencia instalada.....	53
3.9.	Estudio energético de una instalación FV .....	54
3.9.1.	Energía demandada .....	56
3.9.2.	Energía vertida .....	56
3.10.	Análisis de la rentabilidad .....	56
3.11.	Python.....	58
3.11.1.	Visual Studio Code .....	58
3.12.	Bibliotecas empleadas.....	59
3.12.1.	Math.....	60
3.12.2.	Tkinter .....	60
3.12.3.	Geopy .....	61
3.12.4.	Numpy.....	61
3.12.5.	Requests.....	62
3.12.6.	Sqlite3 .....	62
3.12.7.	Fitz y Matplotlib .....	62
<b>4.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>63</b>
4.1.	Objetivo General .....	63

4.2. Objetivos Específicos.....	63
<b>5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>65</b>
5.1. Introducción a Mis Paneles FV.....	65
5.2. Datos introducidos por el usuario referidos al emplazamiento .....	66
5.3. Datos introducidos por el usuario referidos a la demanda y tarificación energética.....	70
5.4. Análisis de los datos de radiación solar .....	72
5.5. Dimensionamiento del generador FV .....	74
5.6. Base de datos con paneles FV e inversores .....	76
5.7. Determinación del número de paneles, inversor y cadenas .....	78
5.8. Obtención de la energía generada.....	81
5.9. Obtención de la energía necesaria .....	82
5.10. Obtención de la energía demandada y vertida .....	84
5.11. Selección de tarifas .....	85
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>90</b>
6.1. Cálculo de las facturas.....	90
6.2. Gráfica obtenida.....	93
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>8. REFLEXIÓN Y VALORACIÓN PERSONAL.....</b>	<b>99</b>
<b>9. REFERENCIAS .....</b>	<b>101</b>
<b>10. ANEXOS.....</b>	<b>109</b>
10.1. Anexo 1. Fichas técnicas.....	109
10.1.1. Fichas técnicas módulos .....	109
10.1.2. Fichas técnicas inversores .....	113
10.2. Anexo 2. Código.....	¡Error! Marcador no definido.



## ÍNDICE DE ELEMENTOS GRÁFICOS

### **FIGURA**

Fig. 1: Planta termosolar Solaben en Extremadura [5] .....	29
Fig. 2: El efecto fotoeléctrico en paneles solares [10].....	31
Fig. 3: Telstar, el primer satélite de telecomunicaciones [13] .....	32
Fig. 4: Potencia solar fotovoltaica instalada en España en MW [16].....	33
Fig. 5: Tendencia de las tecnologías de silicio en las células FV [24].....	36
Fig. 6: Funcionamiento de una célula bifacial [25].....	37
Fig. 7: Funcionamiento de una célula FV [20] .....	38
Fig. 8: Tipologías de células FV [26] .....	40
Fig. 9: Estructura de un panel solar [29].....	41
Fig. 10: Espectro solar AM 1.5 [31] .....	42
Fig. 11: Instalación FV conectada a la red para una vivienda [35].....	45
Fig. 12: Tipos de radiación solar [41] .....	48
Fig. 13: Distancia de seguridad en un terreno [43] .....	51
Fig. 14: Orientación e inclinación en un panel solar [47] .....	52
Fig. 15: VS Code e interfaz gráfica en Python.....	59
Fig. 16: Ventana de introducción a Mis Paneles FV .....	65
Fig. 17: Botón de ayuda en la ventana de introducción .....	66
Fig. 18: Panel de inicio para instalación en terreno .....	67
Fig. 19: Panel de inicio para instalación en tejado.....	68
Fig. 20: Botón de ayuda en el panel de inicio .....	69
Fig. 21: Ejemplo de datos de usuario .....	70
Fig. 22: Ventana para la carga de facturas mensuales.....	71
Fig. 23: Botón de ayuda en la ventana de facturas mensuales .....	71
Fig. 24: Ejemplo de facturas mensuales cargadas .....	72
Fig. 25: PVGIS .....	73
Fig. 26: HSP para el mes de octubre en el ejemplo .....	74
Fig. 27: Factura para el mes de octubre usada en el ejemplo .....	75
Fig. 28: Potencia necesaria para el ejemplo.....	76
Fig. 29: Base de datos con los inversores disponibles .....	77
Fig. 30: Opciones disponibles para el ejemplo .....	80
Fig. 31: Botón de ayuda en la ventana de Opciones Disponibles .....	81

Fig. 32: Matriz de energía generada por hora para el ejemplo .....	81
Fig. 33: Consumo horario para los días del mes de enero .....	82
Fig. 34: Consumo diario mensual para el ejemplo.....	83
Fig. 35: Matriz de energía generada por hora para el ejemplo .....	83
Fig. 36: Matriz de energía demandada para el ejemplo.....	84
Fig. 37: Matriz de energía vertida para el ejemplo.....	84
Fig. 38: Selección de la opción tarifa Octopus Energy .....	86
Fig. 39: Selección de la opción tarifa Repsol.....	87
Fig. 40: Selección de la opción tarifa manual .....	88
Fig. 41: Botón de ayuda en la ventana Elección de Tarifas .....	89
Fig. 42: Precio sin instalación final para el ejemplo mostrado en la terminal ...	90
Fig. 43: Precios de las facturas por mes en el ejemplo .....	90
Fig. 44: Factura enero con instalación FV para el ejemplo .....	93
Fig. 45: Coste electricidad para los primeros 5 años de instalación FV para el ejemplo .....	93
Fig. 46: Coste total de la instalación durante 25 años para ejemplo.....	93
Fig. 47: Análisis de la rentabilidad de la instalación FV tomada como ejemplo	95

## **TABLA**

Tabla 1. Parámetros empleados por el API Web de PVGIS .....	50
---	----

## **RESUMEN**

Como bien sabe todo el mundo, las energías renovables están cada día más presentes en nuestro día a día. Muchas personas a la hora de plantearse la idea de realizar una instalación fotovoltaica en sus tejados o terrenos no saben si estos son óptimos para el aprovechamiento de la energía solar. Por ello, con el objetivo de que cualquier persona pueda analizar la rentabilidad de una instalación FV en sus propiedades, se ha realizado mediante librerías de Python una interfaz gráfica capaz de realizar dicho análisis a través de datos sencillos que debe proporcionar el usuario (ubicación, dimensiones del tejado o terreno y facturas eléctricas mensuales). Dicha interfaz ofrece resultados de forma gráfica y precisa, que muestran una comparativa de los costes eléctricos con y sin instalación e indica, en caso de existir, el año de amortización de la instalación. En la mayoría de los casos que se han realizado, el resultado ha sido que sí es rentable llevar a cabo una instalación de este tipo, con años de amortización entre 5 y 10 años.

### **Palabras claves:**

Instalación fotovoltaica, renovable, paneles fotovoltaicos, hora solar de pico, energía demandada, energía vertida, rentabilidad, interfaz gráfica.



## **ABSTRACT**

As everyone knows, renewable energy is more common nowadays than before. Loads of people, when it comes to the day of consideration establishing a photovoltaic installation, find the difficulty of not knowing if their terrains or roofs are optimal for solar use. That is why, with the goal of allowing everybody to analyse the profitability of putting a photovoltaic installation on their properties, it has been realized taking use of Python libraries, a graphic interface capable of making that analysis via simple data that user must provide (ubication, terrain's dimensions or roof's dimensions, electricity bill). That interface offers graphic and precise results which show a comparison between costs before and after the realization of the installation. It also shows, in case of existence, the year of amortization of the system. In most of the cases studied, the results have been positive and indicate that it is profitable to make a photovoltaic installation, with years of amortization between 5 and 10 years.

### **Keywords:**

Photovoltaic installation, renewable, photovoltaic panels, peak sun hour, demanded energy, flowed energy, profitability, graphic interface.



## 1. INTRODUCCIÓN

La transición energética hacia las energías renovables de carácter limpio, sostenible e ilimitado es una realidad. Más concretamente, es cada vez más común la presencia de paneles solares fotovoltaicos en los tejados y terrenos de particulares. Pero ¿es realmente sencillo saber si un tejado o terreno cumple con las condiciones adecuadas para llevar a cabo una instalación de tipo fotovoltaico en él?

Tras una exhaustiva búsqueda por las páginas web de las compañías de montaje de placas más conocidas, se identifica el mismo problema en todas: ninguna muestra claridad a la hora de hablar de precios definitivos y todas piden al usuario que contacte con ellas.

Es por ese motivo que la realización de una aplicación software que analice la rentabilidad de una instalación fotovoltaica puede ser bastante interesante. Realmente, dicha rentabilidad puede ser obtenida con unos conocimientos no muy avanzados de la materia, pero las empresas prefieren calcularlo ellas para obtener más beneficio. A partir de ciertos datos que debe proporcionar el usuario como ubicación, facturas eléctricas o dimensiones del tejado, dicha rentabilidad puede ser hallada de manera relativamente sencilla. Se sabe ya que las instalaciones FV en España son rentables en la mayoría de los casos, pero con esta interfaz gráfica pretende informar a los usuarios datos y precios de forma muy clara sin necesidad de contactar con ninguna empresa para que les realicen un presupuesto en búsqueda del beneficio de la empresa. De esta forma, se consigue un gran ahorro temporal y sobre todo, el usuario es independiente y puede hacer el análisis por sí mismo.







## 2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, la energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial debido a la creciente preocupación por la sostenibilidad y la necesidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles, ante el agotamiento de estos en un futuro no tan lejano. Gracias a la disminución de los costes de los paneles solares actuales con respecto a los modelos que se comenzaron a instalar a principios de los años de los 2000, con el Plan de Fomento de las Energías renovables [1] y a la mejora en la eficiencia de los sistemas, cada vez más empresas y particulares optan por la instalación de sistemas FV en sus terrenos o viviendas. Además, el impulso de políticas gubernamentales relacionadas con la sostenibilidad y los incentivos económicos han favorecido la expansión de este tipo de energía renovable.

A pesar de que cada vez son más frecuentes estos sistemas, muchos usuarios enfrentan dificultades a la hora de evaluar la rentabilidad de sus instalaciones FV. Entre los principales problemas se encuentran la falta de herramientas accesibles y comprensibles para analizar el rendimiento económico y energético, la falta de conocimiento acerca del tema y la ausencia de interfaces intuitivas que faciliten la toma de decisiones sobre la inversión y el mantenimiento del sistema. Estos problemas dificultan que los usuarios puedan optimizar el uso de sus instalaciones y maximizar los beneficios obtenidos e incluso hacer que descarten la posibilidad de instalar dichas instalaciones.

Para la resolución de dichos problemas, en este proyecto se desarrollará una interfaz gráfica intuitiva y accesible que permita a los usuarios que no tengan un dominio avanzado sobre las características de dichas instalaciones evaluar de manera sencilla si les sale rentable llevar a cabo una instalación FV en su terreno o vivienda. Para ello, se planteará el diseño y desarrollo de una aplicación que integrará información sobre consumo energético, generación solar en una ubicación conocida, costes de instalación y retorno de inversión, presentándolos de forma clara y visual.

El desarrollo del proyecto se llevará a cabo en varias fases, partiendo desde una investigación y recopilación de datos relevantes, el diseño de la interfaz enfocada en la usabilidad y finalmente la implementación de la aplicación y su prueba en

la práctica con usuarios potenciales. Se utilizarán recursos como bibliotecas de programación para el trabajo con interfaces, visualización de datos, resolución de operaciones matemáticas, y herramientas de desarrollo de software que garanticen la sencillez y usabilidad de la interfaz.

El proyecto está dirigido a propietarios futuros o ya existentes de instalaciones FV, asesores energéticos e incluso hacia cualquier persona interesada en evaluar la viabilidad de este tipo de inversión. Se estima un tiempo de desarrollo aproximado de varios meses, abarcando desde la fase inicial de investigación hasta la validación del prototipo final. Con este trabajo se espera contribuir a la adopción de energías renovables, facilitando herramientas que ayuden a los usuarios a optimizar el aprovechamiento de la energía solar y mejorar la gestión de sus recursos energéticos y financieros. En el contexto académico puede ser de gran ayuda para varias materias, pero principalmente para aquellas enfocadas en las energías, siendo la interfaz de gran ayuda para ver de manera gráfica y práctica cómo funcionan este tipo de instalaciones y en qué zonas merece la pena o no su instalación.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Definición del área de estudio**

Este trabajo está enfocado en el área de la Ingeniería de Telecomunicaciones, y dentro de ella en las materias relacionadas con los sistemas electrónicos, la electrotecnia y la energía. Para la integración de las tecnologías de visualización de datos y la interfaz gráfica se emplean conocimientos de la rama de las tecnologías de la información y la comunicación que nos permitan evaluar de manera inteligente mediante fórmulas matemáticas implementadas dentro de ella si la superficie del usuario es adecuada para una instalación FV.

El principal problema que se tiene es que un usuario promedio no puede analizar la rentabilidad de instalar una instalación FV en sus territorios al no existir ningún software destinado a ello. Tras numerosas búsquedas bibliográficas por Internet, no se ha encontrado ninguna web ni software que proporcione de manera clara y entendible el precio total que tiene llevar a cabo una instalación FV y mantenerla durante los 25 años de vida útil que esta tiene y, difícilmente puede encontrar el precio de los elementos que conforman dicha instalación. Al final, a las principales empresas de este sector no les interesa proporcionar estos precios de primeras, sino que buscan que el cliente contacte con ellas para obtener un mayor beneficio, dentro del cual introducen el análisis de la rentabilidad.

#### **3.2. El Sol como recurso energético**

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra, y una fuente virtualmente inagotable de energía responsable de prácticamente toda la energía que el ser humano puede generar o utilizar de manera directa o indirecta.

La energía solar es una energía renovable que consiste en el aprovechamiento de la inmensa cantidad de radiación solar que emite el sol en forma de luz visible, infrarroja y ultravioleta, para generar calor. De esta forma, el calor generado se puede emplear para calentar agua o aire y producir electricidad. [2]

Frente a otros tipos de energía, la energía solar presenta como ventajas la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, bajos costes de mantenimiento y la posibilidad de producir energía en áreas remotas.

También tiene una serie de inconvenientes, como la necesidad de grandes extensiones de terreno para instalar una gran cantidad de paneles o colectores, la dependencia de la radiación solar con las condiciones climáticas y el impacto ambiental y visual que pueden producir los materiales que se emplean en las instalaciones [3].

Existen 2 tipos de forma de aprovechar la energía solar: calentando un fluido o haciendo uso del efecto fotoeléctrico, haciendo así uso de la luz y el calor emitidos por el Sol.

La energía solar que utiliza la radiación solar con el fin de calentar un fluido que posteriormente es utilizado con otros objetivos es la energía solar térmica, de la cual existen a su vez 2 tipos en función de la temperatura de trabajo. La primera de ellas es de baja temperatura (temperaturas inferiores a 90°C), donde se emplean colectores solares planos y tubos de vacío para obtener agua caliente sanitaria, correspondiente al agua potable que se calienta para el uso humano: duchas, lavadoras, lavavajillas, etc. Por otro lado, para temperaturas a partir de 100°C, se encuentra la energía solar termoeléctrica, conocida como CSP, donde se calientan fluidos para producir electricidad. Recibe también el nombre de energía solar térmica de concentración, y las instalaciones de este tipo de energía emplean captadores cilindro-parabólicos y heliostatos, capaces de trabajar a más de 400°C éstos últimos [4]. España es el líder mundial en potencia instalada de energía solar térmica de concentración, y cuenta con una de las mayores plantas termosolares de toda Europa, en Extremadura [5] (Fig.1)



Fig. 1: Planta termosolar Solaben en Extremadura [5]

El otro tipo de energía que aprovecha la luz solar para generar electricidad a partir del efecto fotoeléctrico es la energía solar fotovoltaica. Este proyecto se centrará en este tipo de energía solar, al permitir hacer uso de ella en más aplicaciones ya que la energía solar térmica se centra mucho en calentar agua. Además, las instalaciones FV tienen un tiempo de vida útil de 25 años frente a los 10 años que tienen las instalaciones térmicas [6].

### 3.3. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es un tipo de energía renovable, limpia e inagotable que convierte la radiación solar en electricidad.

Está basada en el efecto fotoeléctrico producido en una célula fotovoltaica que puede ser de diferentes materiales.

#### 3.3.1. Efecto fotoeléctrico

En 1839, el físico francés Edmond Becquerel observó que algunos metales cuando eran expuestos al sol producían un flujo de corriente, el cual se denominó efecto fotovoltaico. El descubrimiento del efecto fotoeléctrico se le atribuye al físico alemán Heinrich Hertz en 1887, y es el que permite comprender lo que sucedía en el experimento de Becquerel. Este descubrimiento se podría

decir que fue de casualidad ya que él lo que quería demostrar realmente era la teoría del matemático británico James Maxwell acerca de la esencia ondulatoria de la radiación electromagnética [7]. Su experimento consistía en generar una chispa en el cátodo de sus instrumentos con otra chispa emisora que situaba en una bobina de inducción para demostrar la presencia de la radiación electromagnética. Sin embargo, cuando realizó su experimento se dio cuenta de que, dependiendo del tipo de naturaleza de la chispa emisora empleada, la chispa producida en el cátodo cambiaba de longitud, por lo que concluyó en que la luz de la chispa emisora era la que provocaba este efecto. Posteriormente, descompuso la luz emisora en un prisma y observó que la luz ultravioleta era la que causaba una mayor intensidad en la chispa del emisor [7].

Más de una década después, en 1899, el científico británico J.J. Thomson probó que, en los experimentos realizados con luz ultravioleta en el efecto fotoeléctrico, las mismas partículas encontradas en los rayos catódicos eran expulsadas a los electrones, descubiertos dos años atrás por el mismo. Los electrones producidos en este experimento recibieron el nombre de fotoelectrones.

El mismo año en que se descubrieron los fotoelectrones, el físico alemán Philipp Lenard, quien era discípulo de Hertz, comenzó una serie de experimentos con metales que ayudaron a comprender mucho más claramente el concepto de los fotoelectrones. Sobre una superficie de metal cargada negativamente, Lenard iluminó diversos metales con luces de diferente longitud de onda y observó que la fotoemisión de electrones dependía solamente de la frecuencia de la luz incidente, que debía ser ultravioleta, y no de su intensidad. Es por ello por lo que, en 1905 se le otorgó el premio Nobel en Física.

También en 1905, conocido como el “año milagroso de Einstein” donde escribió 5 estudios científicos que revolucionaron la física tal y como se conocía hasta entonces [8], el físico alemán Albert Einstein citó a Lenard en uno de sus estudios donde explicaba el efecto fotoeléctrico. En dicho artículo, Einstein introduce el concepto “cuantos de luz” para explicar el efecto fotoeléctrico. Einstein lo que propone es que la luz son un chorro de partículas, cada una de una magnitud correspondiente a la constante de Planck por la frecuencia de la luz empleada, y que estas partículas penetran en la superficie del metal [9]. El cuanto de luz

## Marco teórico

cuando incide sobre un metal, transfiere parte de su energía a un único electrón y usa el resto de la energía para arrancar el electrón del metal.

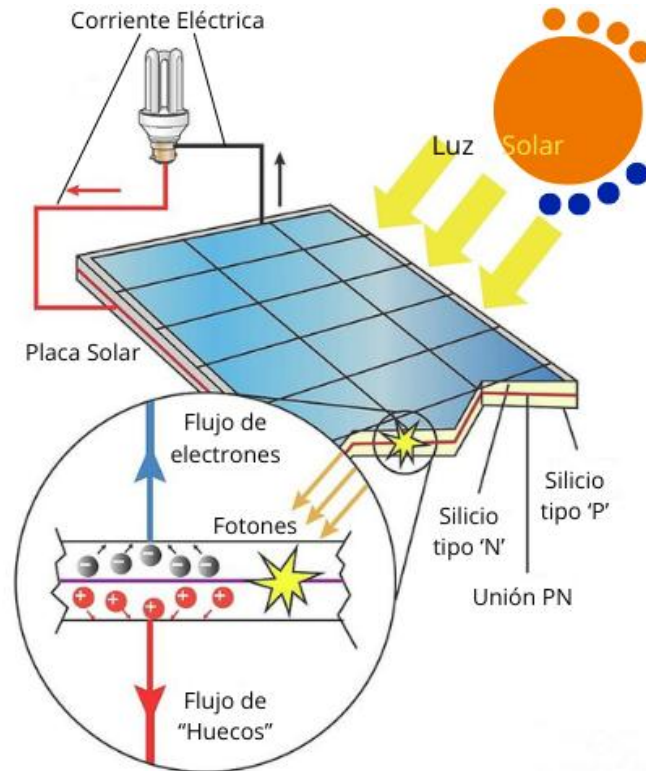


Fig. 2: El efecto fotoeléctrico en paneles solares [10]

Después de haber sido demostrada la teoría ondulatoria de la luz, la comunidad científica no vio con buenos ojos esta teoría en la que Einstein insistía en que la luz estaba compuesta por un chorro de partículas. Fue en 1916 cuando el físico estadounidense Robert Millikan, queriendo demostrar que la teoría de Einstein era errónea, demostró su validez, además de determinar la constante de Planck  $h$  con una gran precisión [9].

Hoy en día, se considera la luz según el concepto dualidad onda-partícula. La luz puede comportarse como una onda o como una partícula dependiendo de las condiciones bajo las que se realicen los experimentos [11].

### 3.3.2. Historia de la energía solar FV

El nacimiento de la energía solar fotovoltaica se remonta a 1839, cuando Becquerel descubre el efecto fotovoltaico, basado en el efecto fotoeléctrico

descubierto por Lenard en el 1899 que posteriormente fue demostrado por Einstein en 1905, como se mencionó anteriormente [7].

Sin embargo, no fue hasta 1954 cuando tras la fabricación de la primera célula de silicio por parte de los Laboratorios Bell, se valoró la posibilidad de usar el efecto fotoeléctrico como fuente de energía. La eficiencia de dicha célula era de tan sólo un 6% y tenía un coste superior a los 3000 dólares por watio. [12]

La segunda fase de su historia se basó en el desarrollo de los sistemas FV en el sector aeroespacial. Comienza en 1955, cuando Estados Unidos demanda a su industria la fabricación de células fotovoltaicas para posteriormente, lanzar en 1962 el primer satélite de telecomunicaciones comercial, el Telstar (Fig. 3). Dicho satélite contaba con una potencia instalada de 14 W. Tras diez años de lanzamientos de satélites, se lanza al espacio el satélite Skylab con una potencia instalada total de 20 kilowatios en paneles [12].



Fig. 3: Telstar, el primer satélite de telecomunicaciones [13]

La tercera fase comienza cuando las aplicaciones de la energía fotovoltaica terrestres superan a las aéreas. Abarca desde los años 80 hasta la actualidad. En 1985 se logran crear células de un 20% de rendimiento y en 1998 ya había un total 1000MWp en sistemas fotovoltaicos instalados alrededor de todo el mundo [12]. Actualmente, China se ha convertido en el líder absoluto mundial en la producción y uso de la energía solar fotovoltaica, y se trata de la energía renovable que mayor crecimiento anual sufre. En 2024 se alcanzó una capacidad mundial de 2TWp, habiendo duplicado la capacidad que se tenía en 2022. Teniendo en cuenta que se tardó casi 68 años en alcanzar el primer TWp, haber

## Marco teórico

conseguido otro en tan solo dos años no sólo demuestra que la energía solar FV es la que más se está expandiendo actualmente, sino que lo seguirá siendo en el futuro [14].

Para 2030, se espera que la capacidad total mundial siga aumentando 1TW al año, por lo que se pretende llegar a los 6TW. A partir de 2030, China espera contribuir con 400GW por año, Europa unos 100GW por año y Estados Unidos unos 115GW por año. Estos datos no hacen más que aumentar el dominio total por parte de China [15].

### 3.3.3. *Energía solar FV en España*

Debido a su situación geográfica, España es el país de Europa en el cual se produce una mayor irradiancia solar diaria. Con una potencia instalada de más de 30GW en el año 2024, España es el segundo país con mayor potencia FV instalada de Europa, solo por detrás de Alemania que tiene 82GW instalados [16].

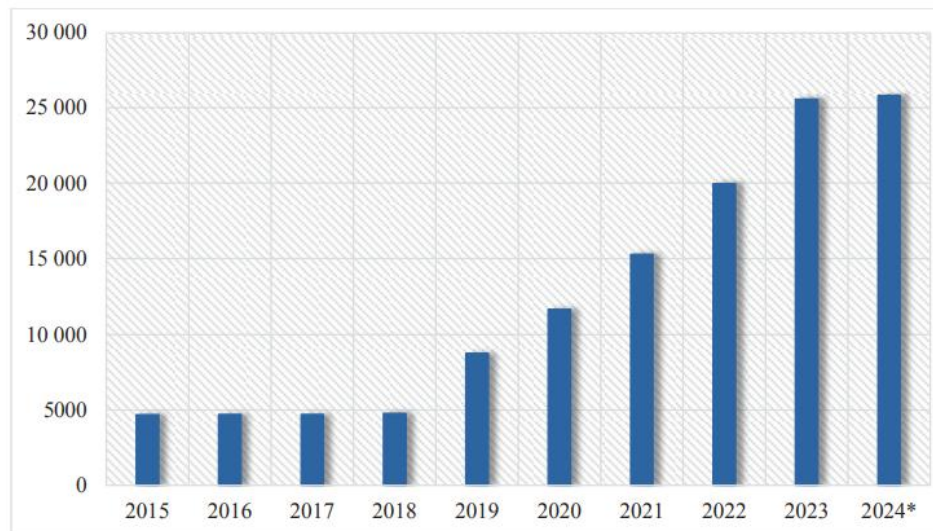


Fig. 4: Potencia solar fotovoltaica instalada en España en MW [16]

Como se puede apreciar en la Fig. 4, en el año 2019 existe un gran aumento en el valor de la potencia instalada en España. Esto es debido al Real-Decreto Ley 15/2018, emitido en octubre de 2018 con el fin de adoptar medidas urgentes para

llevar a cabo una transición hacia las energías renovables [17]. Además, como se puede apreciar, la energía solar FV sigue en continuo crecimiento por lo que el desarrollo de una interfaz para todos los públicos puede ayudar también a personas sin muchos conocimientos energéticos a decidirse por esta energía limpia y renovable.

#### 3.3.4. *Ventajas e inconvenientes de la energía solar FV*

Frente a otros tipos de energías, ya sean renovables o no renovables, la energía solar FV presenta una serie de ventajas: es infinita al ser el Sol una fuente inagotable de energía presenta un bajo impacto ambiental y no requiere mucho mantenimiento. Además, su disposición en módulos permite ajustar el número de módulos a gusto del consumidor y parte de la energía sobrante se puede verter a la red para no desperdiciarla y ser retribuida económicamente [18]. También se debe de mencionar que su proceso de instalación es bastante rápido y sencillo y que existen bonificaciones y subvenciones para su instalación, como manera de fomentar el uso de energías limpias y renovables.

En cuanto a sus desventajas, también presenta una serie de ellas, la más importante es la intermitencia de la radiación solar en función de la época del año y las condiciones climáticas que provoca que haya días en los que la generación de energía por parte de una instalación FV sea mucho menor de la esperada. La otra gran desventaja que presenta es su baja eficiencia de conversión de alrededor de un 20%. Pese a ello, la eficiencia ha aumentado considerablemente en los últimos años y los precios de las instalaciones FV han disminuido en un X% en la última década [19].

. Además, requieren de un espacio óptimo, no excesivamente pequeño y sin sombras para que el sistema sea eficiente.

Sin embargo, se consideran tan insignificantes estos inconvenientes en relación con las ventajas, a las que hay que añadir que en un futuro existirán instalaciones mucho más eficientes, por lo que la rentabilidad de estas instalaciones en el uso cotidiano suele estar garantizada.

### 3.4. Células FV

En este capítulo se verán las características, el funcionamiento y los diferentes tipos y tecnologías que presenta el elemento básico de cualquier tipo de instalación FV, las células FV.

#### 3.4.1. *Definición de célula FV*

Una célula FV consiste en una unión PN de semiconductores de tipo p y tipo n que tiene un tamaño lo suficientemente grande para capturar los fotones irradiados por el Sol y de transformarlos en energía eléctrica en forma de electrones, aprovechando el efecto fotoeléctrico. La unión PN se comporta como un diodo, generando más o menos energía en función de la intensidad luminosa solar recibida [20].

#### 3.4.2. *Tipos de células FV*

Existen 2 tipos de células FV en el mercado, las de tipo p y las de tipo n, ambas formadas por una base de silicio [21]. El silicio es el semiconductor más usado para la fabricación de células FV de cara a aplicaciones comerciales, y es a su vez el segundo material que más abunda en la corteza terrestre, componiendo un 28% de su totalidad, solamente superado por el oxígeno que compone el 47% [22].

Las células FV de tipo p son las que más se utilizan actualmente y consisten en obleas de silicio como materia prima que se dopan con átomos de boro. El boro, al tener un electrón menos que el silicio, actúa como receptor y la célula tiene carga positiva. Son las células que tienen menor coste, mayor cuota de mercado y mayor inmunidad a la radiación. Sin embargo, tienen un gran problema y es que sufren los negativos efectos de la degradación inducida de la luz.

Por otro lado, las células FV de tipo n consisten también en obleas que emplean el silicio como materia prima, pero esta vez dopadas con átomos de fósforo, que tienen un electrón más que el silicio, actuando como donadores y haciendo que la carga reciba una carga negativa. El fósforo es un material que sufre menos los efectos de la luz y el oxígeno, haciendo estas células más eficientes y duraderas.

Actualmente, la mayoría de los compradores que adquieren un panel solar, formado por células fotovoltaicas, no suelen prestar atención al tipo de célula que conforman el modelo de panel están comprando. Como se mencionó anteriormente, las células de tipo p, concretamente las que usan tecnología PERC (passivated emitter and rear cell), son las que predominan en el mercado desde 2017 [23]. Esta tecnología implementa una lámina dieléctrica entre la capa intermedia y la capa inferior de la célula. La nueva capa tiene características reflectantes que hacen que los electrones de la luz infrarroja no sean absorbidos por la capa inferior metalizada. De esta forma, se genera más electricidad y la célula aumenta en eficiencia, llegando a alcanzar cifras de hasta un 22%. Sin embargo, su eficiencia de un poco más del 20% y su vida útil de aproximadamente 25 años son valores muy difíciles de superar de cara al futuro [23]. Para concluir con el apartado de las células FV, se introducirán 2 tecnologías que mejoran el rendimiento de las células.

El hecho de que sea difícil superar la eficiencia en las células tipo p hace que se espere que en un futuro se produzca una transición a las células de tipo n, concretamente de tecnología TOPCon, que pueden alcanzar eficiencias de más de un 27% y que actualmente su presencia en el mercado es de tan solo un 17%. Se espera que para 2033 supongan un 60% de la cuota de mercado [24] como se ve en la Fig. 5:

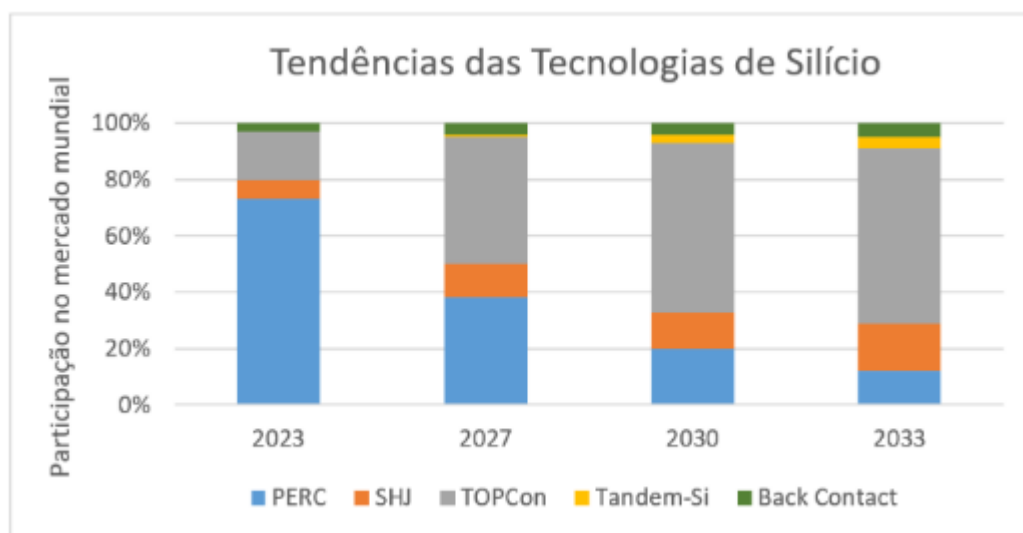


Fig. 5: Tendencia de las tecnologías de silicio en las células FV [24]

## Marco teórico

Por otro lado, los módulos bifaciales (Fig. 6) presentan como novedad que pueden captar radiación por ambas caras de la célula. Juega un papel muy importante en este tipo de células la radiación difusa, que es la que proviene de la refracción de la luz solar en el cielo y de la reflexión de ésta en el suelo. Por tanto, interesa instalarlas en suelos blancos y son muy interesantes para zonas frías, además de tener una vida útil de 30 años, es decir, mayor que cualquiera de las anteriores [25].

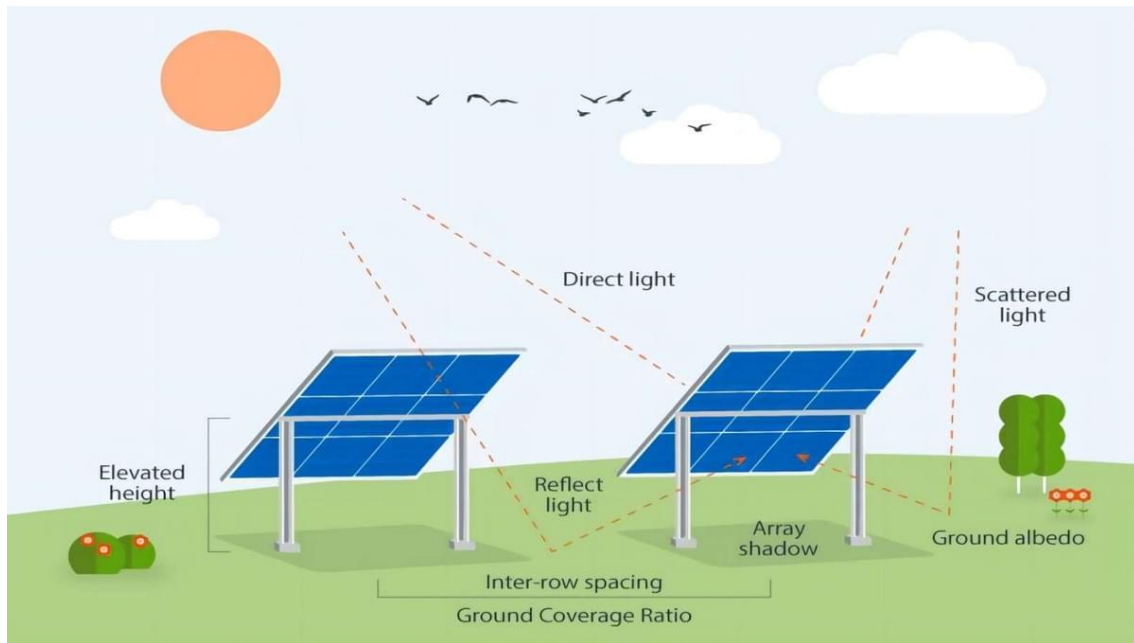


Fig. 6: Funcionamiento de una célula bifacial [25]

Al ser las células PERC las más eficientes y usadas hoy en día, las células FV disponibles en la interfaz gráfica a desarrollar serán de este tipo.

### 3.4.3. Funcionamiento de las células FV

El funcionamiento de una célula FV es igual al de cualquier semiconductor basado en una unión PN. Para las células de tipo p, en la parte superior, se encuentra la capa N de carga negativa, que es generada dopando una estructura cristalina de silicio para conseguir un exceso de electrones. En la parte inferior se tiene lo contrario, la capa metalizada P, de carga positiva al carecer sus átomos de silicio de un electrón. Las células de tipo n tienen la capa N por debajo y la capa P en la parte de arriba. La zona central, correspondiente a la zona de depleción donde tiene lugar la unión PN recibe el nombre de junta para las células FV. En la junta tiene lugar la neutralización de las cargas. Al estar situada

la zona N en la zona superior de la célula, ésta se encuentra expuesta a la radiación solar y libera electrones que hace que aumente la diferencia de potencial entre las zonas N y P. Si aplicamos esta diferencia a un circuito cerrado, se genera la corriente eléctrica capaz de producir la corriente eléctrica de la que se servirá el usuario final [20], como se puede ver en Fig. 7:

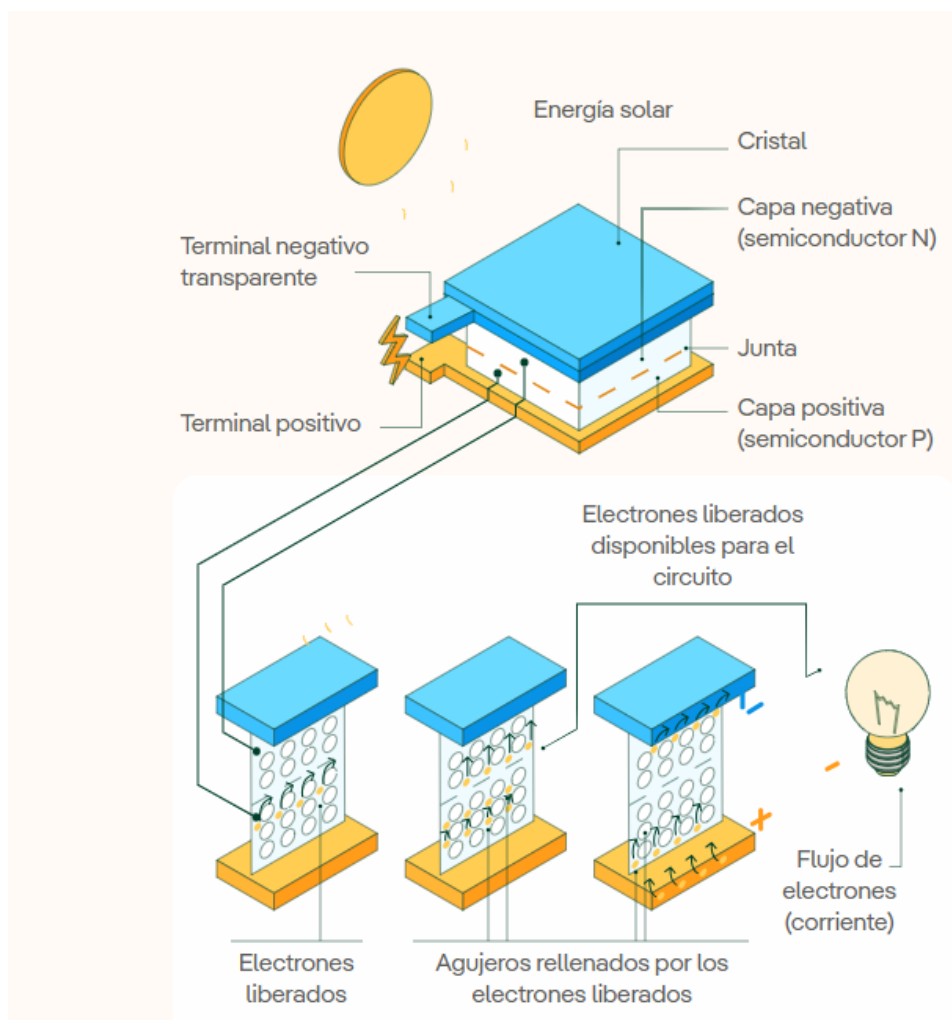


Fig. 7: Funcionamiento de una célula FV [20]

#### 3.4.4. Tipologías de las células FV

Como se mencionó en el apartado anterior, las células FV están formadas por 3 capas, en las cuales el 90% de veces el silicio es depurado y cristalizado para posteriormente, formar las finas capas que conforman las células. Según la variación del silicio que se emplee, existen 3 tipologías (Fig. 8): silicio monocristalino, silicio policristalino y de capa fina.

## Marco teórico

Las células FV formadas por silicio monocristalino son fácilmente reconocibles por su color negro y por la forma redonda que tienen sus esquinas. Están formadas por un único tipo de cristal de silicio y son las células que mayor rendimiento ofrecen, llegando a alcanzar el 22% de eficiencia en los modelos más avanzados. Tienen un coste superior y requieren un tiempo para su fabricación mayor al resto de tipologías, al estar formadas por un silicio muy puro. Su vida útil puede superar los 25 años y son ideales para trabajar a altas temperaturas [26].

Las células de silicio policristalino son en cambio de un color más azul y suelen tener forma rectangular. Se forman cortando un bloque de silicio lo que hace que su composición sean un gran número de pequeños cristales de dicho material. Son mucho más baratas de fabricar, pero, como consecuencia, presentan una eficiencia máxima de tan sólo un 16%. Tienen una vida útil menor que las monocristalinas y funcionan peor en condiciones de alta temperatura, por lo que pueden ser una buena opción para zonas geográficas en las que las condiciones climáticas sean muy variables [26].

Las células de capa fina pueden ser de muchos materiales: silicio amorfo, cobre, galio, indio y selenio. Surgieron por miedo a que el silicio comenzara a escasear en la corteza terrestre, pero con el tiempo se observó que era un material muy abundante. Su eficiencia media es tan sólo de un 10% y sus precios son mucho más baratos que los de las anteriores. Sin embargo, la bajada de precio de las células cristalinas ha hecho que pierdan mucha cuota de mercado, siendo ésta de un 9% solamente. Sus grandes ventajas son sus bajos costes, buen rendimiento a altas temperaturas y tienen una buena valoración de los arquitectos, al ser bastante estéticas [26].



Fig. 8: Tipologías de células FV [26]

### 3.5. Paneles FV

Pese a que puedan parecer lo mismo, existe una diferencia clave entre un panel FV y una célula FV.

#### 3.5.1. Definición de un panel FV

Se define un panel fotovoltaico como una estructura rectangular formada por la interconexión serie-paralelo de varias células FV. Normalmente, un panel FV está constituido por 54 (9x6), 60 (10x6) o 72 células (12x6), pero puede tener más o menos en función de su tamaño y de la potencia a instalar deseada [27].

#### 3.5.2. Estructura de un panel FV

Además de las células, los paneles FV están formados por más elementos, como se puede ver en la Fig. 9:

- 1) Marco: pieza que recubre el perímetro de la estructura rectangular para proporcionar protección y rigidez. Generalmente suele ser de aluminio, al ser un material resistente a la oxidación y a la corrosión.

## Marco teórico

- 2) Cubierta: vidrio cuya función es proteger a las células de las condiciones climáticas que podrían ser peligrosas, como la lluvia o el granizo. Pueden ser vidrio templado o laminado.
- 3) Encapsulantes: 2 capas de plástico que envuelven las células. Suelen ser de Etileno Vinil Acetato (EVA), que es un polímero termoplástico diseñado para soportar temperaturas y humedades extremas [28].
- 4) Cables y conectores: los cables se encuentran en la parte posterior del panel y en la terminal del cable se sitúan los conectores que permiten que el cableado llegue al resto de la instalación.
- 5) Cajetín: caja que se encuentra bajo el panel que ofrece protección a los cables y al resto de elementos electrónicos de la instalación.

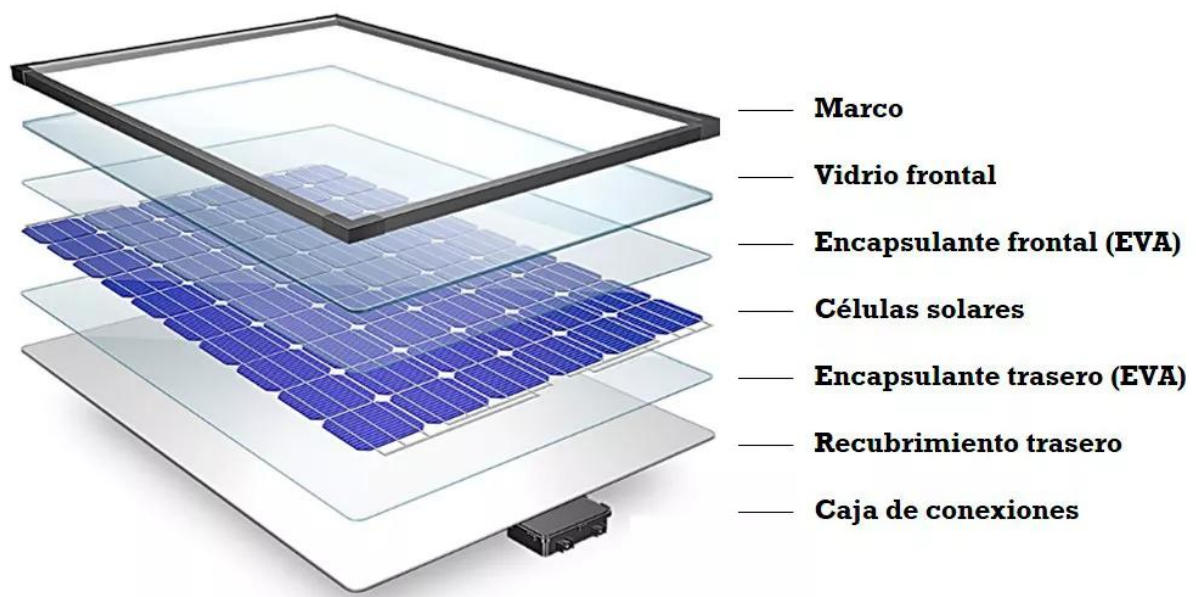


Fig. 9: Estructura de un panel solar [29]

### 3.5.3. Condiciones Estándar de Medida

Las Condiciones Estándar de Medida (CEM), en inglés *Standard Test Conditions (STC)* con las que se realizan pruebas en aspectos de diseño y fabricación de paneles FV tienen en cuenta los 3 siguientes parámetros [30]:

- 1) Irradiancia: es la potencia por unidad de superficie que se asocia a una radiación electromagnética. Más adelante se explicará más a fondo y se

diferenciarán los tipos que hay. En STC se toma una irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

- 2) Espectro solar: se toma como referencia el espectro solar AM 1.5 (Fig. 10), que mide el porcentaje de irradiancia total que se emite para un intervalo de longitudes. Las letras AM significan *air mass* (masa de aire) y el valor 1.5 supone un ángulo cenital solar de  $48.2^\circ$ . El ángulo cenital solar corresponde al ángulo que forman la radiación solar y la vertical de un lugar determinado. Para un valor de  $48.2^\circ$ , se representan las latitudes medias, que son de entre 30 y 60 grados.
- 3) Temperatura de la célula: es un parámetro que afecta mucho a la eficacia del panel. En STC se trabaja con una temperatura de la célula de  $25^\circ\text{C}$ , con un margen de 2 grados centígrados por encima y por debajo de dicho valor.

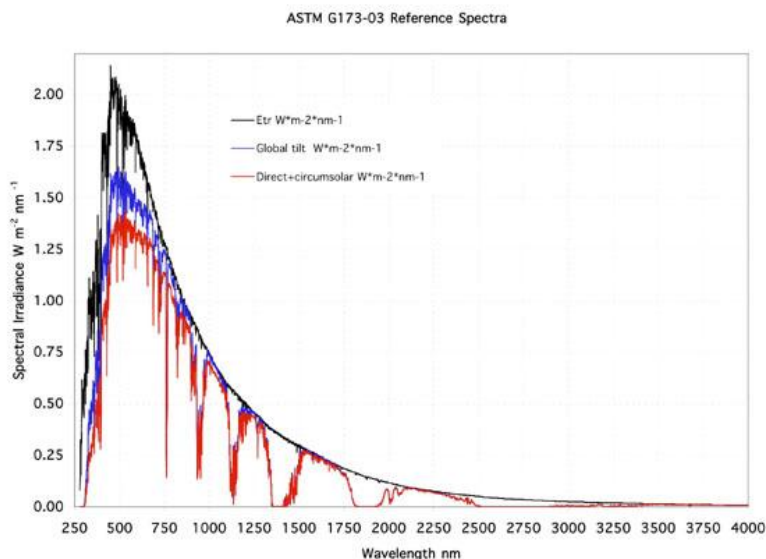


Fig. 10: Espectro solar AM 1.5 [31]

#### 3.5.4. Caracterización eléctrica de un panel FV

Una vez los fabricantes han especificado las condiciones STC de cualquier panel, se puede realizar la caracterización eléctrica de cada panel,

## Marco teórico

definiendo una serie de parámetros que serán claves a la hora de realizar el dimensionamiento de una instalación FV. Los parámetros son los siguientes [32]:

**Potencia máxima:** es la máxima potencia que puede llegar a proporcionar un panel solar que trabaja bajo las condiciones STC con la máxima tensión e intensidad. Se mide en vatios pico (Wp) y de aquí en adelante se mencionará bajo esas siglas.

**Tensión del circuito abierto:** se trata de la tensión máxima que puede entregar el panel bajo STC. Se conoce también como *Voltage Open Circuit (VOC)*.

**Intensidad del cortocircuito:** corresponde a la corriente máxima que puede entregar el panel bajo STC y con tensión nula. También es conocida como *Intensity Short Current (ISC)*.

**Tensión para máxima potencia, *Voltage Maximum Power (VMP)*:** se refiere al voltaje asociado al punto de trabajo óptimo, cuando el panel funciona en su máximo rendimiento posible.

**Intensidad para máxima potencia, *Intensity Maximum Power (IMP)*:** es la corriente eléctrica asociada al punto de trabajo óptimo, cuando el panel funciona en su máximo rendimiento posible.

Las tensiones tendrán como unidad de medida el voltio (V) y las intensidades el amperio (A).

### 3.6. Instalaciones FV

Una instalación fotovoltaica consiste en hacer uso de paneles solares FV, compuestos a su vez de células FV, y de otra serie de componentes para producir electricidad a partir la luz del sol.

En los últimos años, el precio de estas instalaciones ha disminuido en más de un 80%, mientras que el número de instalaciones no para de crecer. Si se le suman las bonificaciones y las subvenciones que en muchos casos proporcionan los gobiernos para que más gente pueda acceder a ellas, el crecimiento que van a seguir teniendo las instalaciones FV va a seguir siendo considerable.

Existen fundamentalmente dos tipos de instalaciones FV: aisladas y conectadas a la red.

### 3.6.1. *Instalaciones FV aisladas*

También conocidas como instalaciones Off Grid, en este tipo de instalaciones no se requiere contratar servicio de suministro eléctrico a la red. Toda la energía eléctrica que necesite la instalación (vivienda, terreno, sistema de riego...) vendrá generada por la irradiancia solar que capte la instalación [33].

Este tipo de instalaciones son adecuadas para lugares remotos y aislados donde no llegan las compañías eléctricas, que suelen ser entornos rurales. Como elemento característico, este tipo de instalaciones incorporan baterías que generan electricidad cuando es de noche o cuando las condiciones climáticas no son favorables [34].

### 3.6.2. *Instalaciones FV conectadas a la red*

Por otro lado, en las instalaciones conectadas a la red, también conocidas como instalaciones On Grid, en caso de que la irradiancia solar sea escasa o nula, se toma la electricidad del suministro eléctrico contratado [34].

La gran diferencia con respecto a las instalaciones aisladas es que no se requieren baterías. Además, en caso de que la instalación genere más energía de la que requiera la vivienda o terreno suministrada, la energía sobrante recibe el nombre de energía vertida y puede ser vendida a la red.

Este proyecto se centrará en las instalaciones FV conectadas a la red (Fig. 11) ya que son las que se instalan en España con mayor frecuencia, permitiendo hacer una comparación entre el precio a pagar a lo largo de los 25 años aproximados de vida útil que tiene una instalación y el mismo precio en ausencia de la instalación.

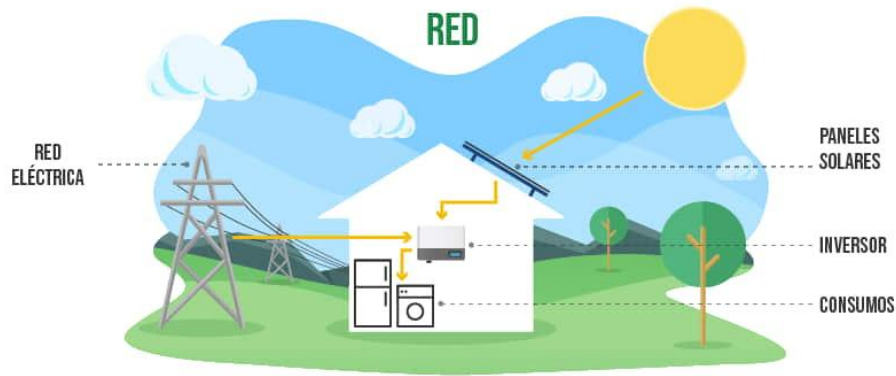


Fig. 11: Instalación FV conectada a la red para una vivienda [35]

### 3.7. Elementos de una instalación FV conectada a la red

Toda instalación FV conectada a la red está formada por los siguientes elementos:

#### 3.7.1. *Generador FV*

Está formada por todo el conjunto de paneles solares que componen la instalación. Su precio dependerá de la tecnología en que se basen las células FV que los conforman (monocristalino, policristalino, amorfo), del número final de paneles que se instalen y de la potencia pico de la que dispongan los paneles.

#### 3.7.2. *Inversor*

Los paneles FV generan electricidad en corriente continua (CC) que puede almacenarse en baterías para su posterior conversión, o convertida directamente a corriente alterna (CA) para poder ser aprovechada por los aparatos domésticos. De esta conversión se encarga el inversor, que como su nombre indica, invierte la corriente continua en alterna para poder ser utilizada. Por estos motivos, el inversor juega uno de los papeles más importantes en una instalación FV, ya se conectada a la red o aislada.

En comparación a la eficiencia de las células FV, la eficiencia que puede llegar a ofrecer un inversor es mucho mayor, llegando hasta el 95% en algunos casos y con expectativas de mejora de cara al futuro.

Al igual que los paneles FV, los inversores también están compuestos por una serie de parámetros que conforman su caracterización eléctrica [36]:

- Potencia de entrada (PIN): consiste en la entrada de corriente continua máxima recomendada.
- Potencia de salida nominal (POUT): se trata de la potencia de salida real que garantiza el inversor, teniendo en cuenta las pérdidas.
- Tensión máxima (VMAX): es el voltaje máximo de entrada que se puede proporcionar al inversor, para que éste trabaje correctamente.
- Tensión mínima (VMIN): consiste en el voltaje mínimo que se debe inyectar en la entrada del inversor para que éste pueda arrancar.
- Intensidad Máxima (IMAX): corresponde a la corriente máxima que se puede entregar a la entrada del inversor, con voltaje nulo.

Al igual que se mencionó en la caracterización eléctrica de los paneles FV, las potencias se miden en W, las tensiones en V y las corrientes en A.

Actualmente se están desarrollando nuevos tipos de inversores:

- Microinversores: son inversores mucho más pequeños que potencian la producción energética de los generadores FV, haciéndolos trabajar en su punto óptimo evitando las sombras generadas en terrenos irregulares. Sus características implican el uso de un microinversor cada uno o dos paneles como mucho [37].
- Inversores con batería integrada: el inversor va cargando la batería aprovechándose de la electricidad generada por los paneles FV. De esta manera, si se producen apagones como el del 28 de abril de 2025 que afectó a toda la península, las baterías integradas aseguran que no existan interrupciones energéticas en el hogar o empresa al que pertenezca la instalación.

No obstante, en este proyecto se trabajará con inversores normales, que son los que más se usan en la actualidad al tener una mayor disponibilidad en el mercado y de los cuales es más sencillo obtener sus características eléctricas y precio.

## Marco teórico

### 3.7.3. Estructura y cableado

Las estructuras que se usan para los paneles solares son un elemento esencial a la hora de sostener los módulos. Sirven como elemento protector de los paneles y para inclinar los paneles de tal forma que se optimice el proceso de captación de energía [38]. Al estar realizadas con materiales de acero inoxidable de alta calidad son resistentes a todo tipo de condiciones climáticas adversas. Existen muchos tipos de estructuras según el lugar donde se realice la instalación: para techos de teja (tejados), estructura elevada (para instalar los módulos a unos 2 o 3 metros de altura), para suelo y para pared.

Por otro lado, el cableado eléctrico es otro elemento indispensable para cualquier tipo de instalación. Al final, todos los elementos que conforman la instalación FV están conectados entre sí por medio de los cables [39]. A estas alturas, es importante la presencia de una persona experta en cableado eléctrico para escoger la mejor opción dentro de un mercado muy amplio. Dentro del tipo de cables eléctricos, se usa el cable solar, que es un cable diseñado para anteponerse a condiciones climáticas extremas, por lo que cuenta con un aislamiento resistente a la luz ultravioleta emitida por el sol. Dentro del cable solar existen muchos tipos distintos: de doble aislamiento, tipo MC4, libre de halógenos, etc. [39].

Para simplificar los datos que debe introducir el cliente, el precio de estos 2 elementos supondrán un 20% del precio de la instalación sin tener en cuenta aún la mano de obra. Para el dimensionamiento del cableado y de los soportes se tendría que preguntar al cliente información más específica que seguramente desconozca, como la distancia desde el tejado al cuadro eléctrico por un camino viable para la instalación del cableado, o incluso el material de su tejado. Al ser temas ya muy específicos, se pueden dejar para un estudio posterior mucho más concreto donde ya el usuario haya decidido añadir la instalación FV en su vivienda.

### 3.8. Dimensionamiento de una instalación FV conectada a la red

En este apartado se definirán los principales parámetros que se tienen en cuenta a la hora de realizar el dimensionamiento de una instalación FV que se

conecte a la red eléctrica, incluyendo los elementos que requerirá dicha instalación y los datos que la persona o empresa que se suscriba a dicha instalación deberá proporcionar.

### 3.8.1. Irradiancia

La irradiancia corresponde con la energía solar total que incide por unidad de tiempo en una superficie, por lo que se mide en  $W/m^2$ . Es el parámetro fundamental de este trabajo, ya que gracias a ella los paneles FV producen la electricidad que posteriormente es aprovechada por el usuario.

Es de gran importancia diferenciar los 3 tipos de radiación que conforman la irradiancia global (Fig. 12), que es la irradiancia producida sobre la superficie horizontal en la banda  $0.2-0.4\mu m$  [40]:

**Radiación directa:** llega a la tierra siguiendo una trayectoria desde el sol.

**Radiación difusa:** radiación solar que llega a la superficie terrestre proveniente de la atmósfera. Es provocada por la dispersión solar producida en el vapor de agua, los aerosoles y las nubes.

**Radiación reflejada:** es la radiación solar que incide en la superficie de manera rebotada del suelo.

La suma de estas 3 radiaciones conforma la irradiancia global.



Fig. 12: Tipos de radiación solar [41]

## Marco teórico

### 3.8.2. PVGIS

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) es un software gratuito al que se accede mediante navegación web [41]. Esta herramienta hace uso de diversas bases de datos como SARA3 o ERA5 para proporcionar de forma visual y esquemática los datos de irradiación solar anuales, mensuales y horarios para una ubicación seleccionada.

Permite escoger entre sistemas FV con seguimiento, aislados y conectados a la red, siendo la última opción la que se elegirá.

Además, PVGIS ofrece un API web que permite acceder a todas las herramientas que ofrece la página sin tener que interaccionar la misma, sino mediante llamadas. De esta manera, se puede trabajar directamente con Python haciendo peticiones, sin tener que abrir todo el tiempo la página PVGIS.

Para llamar a PVGIS desde Python simplemente hay que acceder a su web ([https://re.jrc.ec.europa.eu/api/v5\\_2/DRcalc](https://re.jrc.ec.europa.eu/api/v5_2/DRcalc)) e introducir de manera obligatoria u opcional los parámetros que se muestran a continuación en la Tabla 1:

<b>Parámetro</b>	<b>Valor utilizado</b>	<b>Obligatorio</b>
Latitud	Proporcionado por el usuario	Sí
Longitud	Proporcionado por el usuario	Sí
Aspect (orientación)	Proporcionado por el usuario	No
Angle (inclinación)	Proporcionado por el usuario	No
Raddatabase	PVGIS-Sarah 2	No
Month	1:12 (todos los meses)	No

Outputformat (formato de salida)	json	No
Global	1 (para obtener la irradiancia global)	No
Localtime	1 (para trabajar con la hora local)	No

Tabla 1. Parámetros empleados por el API Web de PVGIS  
Fuente propia, 22 de abril de 2025

### 3.8.3. Hora solar de pico (HSP)

La irradiancia permite obtener otro parámetro fundamental para el desarrollo de este trabajo: la hora solar de pico. La HSP es una magnitud que se mide en horas y corresponde a la cantidad de energía solar que incide en una superficie para una radiación de 1000W/m<sup>2</sup> durante 1 hora [42]. La HSP a lo largo de un día corresponde a la suma de la irradiancia a todas las horas dividida por 1000:

$$HSP = \frac{\sum_0^{23} \text{irradiancia horaria (hora } i)}{1000} \text{ [horas] [42]}$$

Este parámetro permite evaluar cuanta capacidad de generación de electricidad de una instalación FV y varía según la época del año al cambiar el número de horas de sol.

### 3.8.4. Latitud y longitud

La latitud y la longitud son coordenadas geográficas que permiten ubicar cualquier punto en la Tierra.

Las líneas “x” de longitud miden entre -180° y 180°. Un valor negativo significa que el punto está al oeste del meridiano de Greenwich y un valor positivo corresponde con un punto al este del mismo meridiano.

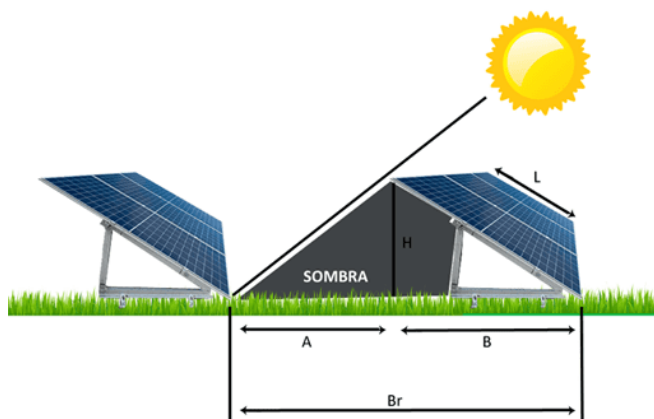
## Marco teórico

Las líneas “y” de latitud miden entre  $-90^\circ$  y  $90^\circ$ . Los valores positivos comprenden las ubicaciones al norte de la línea del Ecuador y los valores negativos corresponden al hemisferio sur.

### 3.8.5. Terrenos y tejados

En función de si una instalación FV se realiza en un terreno plano o en un tejado con su respectiva inclinación, se deben tener en cuenta distintos parámetros.

En un terreno, al haber una gran cantidad de paneles a instalar, se debe tener en cuenta un factor llamado distancia de seguridad (Fig. 13). Cuando se tienen varias filas de paneles, dichas filas deben estar separadas una distancia “d” para evitar situar los paneles en zonas presentes de sombra provocada por la fila anterior.



$$d = A + B$$

$$A = h / \tan(61 - \text{latitud})$$

$$H = \text{longitud panel} * \text{seno} \\ (\text{inclinación de los paneles})$$

$$B = \text{longitud panel} * \text{seno} \\ (\text{inclinación de los paneles})$$

[43]

Fig. 13: Distancia de seguridad en un terreno [43]

En el tejado, al estar los paneles superpuestos a la superficie del tejado en función de la inclinación de este, no producen sombra y no hay que tener en cuenta la distancia de seguridad.

### 3.8.6. Ángulos de orientación e inclinación

La orientación y la inclinación de los paneles solares usados en una instalación FV son 2 parámetros claves que deben ser muy bien estudiados para aumentar el rendimiento y la rentabilidad de la instalación. Se pueden observar en la Fig. 14.

La orientación ideal para una instalación situada en el hemisferio norte (España) es la orientación sur. Como indica PVGIS en su página, “Es el ángulo que presentan los módulos fotovoltaicos respecto a la dirección Sur. -90° es Este, 0° es Sur y 90° es Oeste.” [44]. Para tejados orientados hacia el norte en viviendas situadas en el hemisferio norte no se realizan instalaciones FV. Si la instalación a realizar fuera en el hemisferio sur los datos serían completamente opuestos (orientación ideal norte).

Por otro lado, el ángulo de inclinación ideal de los paneles será de: latitud del emplazamiento – 10°. Para España, la inclinación ideal será mayor al norte del país y menor al sur, con un valor medio aproximado de 30° [45].

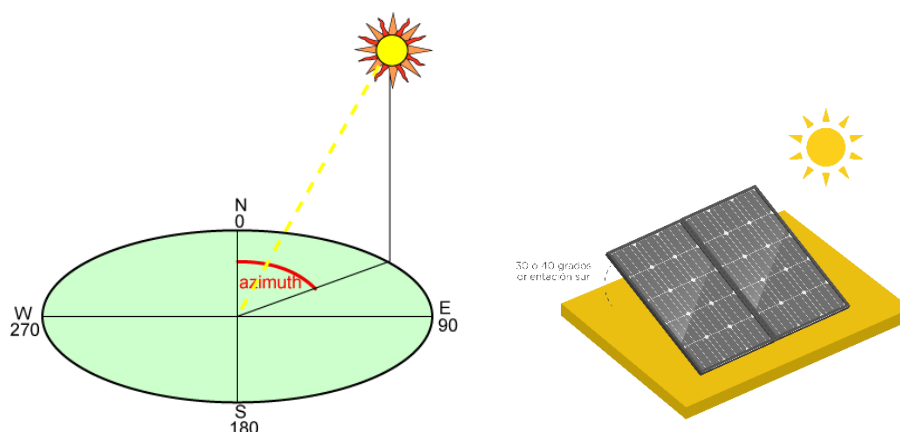


Fig. 14: Orientación e inclinación en un panel solar [47]

### 3.8.7. Potencia necesaria de la instalación FV

Para poder evaluar la potencia necesaria que debe tener como mínimo la instalación FV, el usuario deberá proporcionar las facturas eléctricas de cada mes, para poder de esta manera conocer la demanda energética diaria. Se escoge la energía mensual consumida del mes más crítico y se divide entre el número de días que tiene dicho mes.

Finalmente, se calcula la potencia necesaria mensual como:

$$P_{necesaria} = \frac{E}{HSP * \eta} , \text{ donde:}$$

- E: energía mensual demandada en el mes más crítico en KWh.
- HSP: hora solar de pico mensual del mes más crítico en horas.

## Marco teórico

- $\eta = 90\%$ : eficiencia del sistema teniendo en cuenta pérdidas en el cableado y en el inversor.

### 3.8.8. Potencia instalada

La potencia instalada en una instalación FV deberá ser siempre mayor que la potencia necesaria, para que la instalación permita hacer frente a la demanda energética de la vivienda en cualquier mes del año. Viene dada por el número total de módulos FV multiplicado por la  $W_p$  de cada uno:

$$P_{instalada} = N_{totalpaneles} * W_p$$

La relación AC/DC de un inversor es lo que se conoce como “sizing ratio” y sirve para hallar la potencia en corriente alterna que se obtiene a la salida del inversor con una potencia continua de entrada ya conocida. Para España, el sizing ratio suele ser de un 1.1 [46] por lo que la potencia instalada quedará al final como:

$$P_{instalada}/1.1$$

Sin embargo, no es tan sencillo como coger el número de paneles que mejor aproximen la potencia instalada a la potencia necesaria. El número de paneles no viene limitado simplemente por la superficie total en  $m^2$  donde se va a realizar la instalación, sino también de las características del inversor.

Existen un número máximo y mínimo de paneles que permite cada cadena que se introduce a un inversor:

$$N_{max} = \frac{V_{max}}{V_{oc}(-10^{\circ}C)} \qquad N_{min} = \frac{V_{min}}{V_{mpp}(70^{\circ}C)}$$

Por norma general, los paneles solares trabajan con un rango de temperaturas de entre  $-45^{\circ}C$  y  $85^{\circ}C$ . La expresión que sigue la temperatura de una célula es la siguiente:

$$T_c = T_{amb} + G \frac{T_{ONC} - 20}{800} \quad [47]$$

- $T_{amb}$  es la temperatura ambiente y tiene un valor de  $25^{\circ}C$ .

- G es la irradiancia solar
- TONC es la temperatura de operación nominal de la célula

Voc(-45°C) y Vmpp(85°C) son los ajustes que se hacen al voltaje máximo y mínimo del inversor de manera genérica. Sin embargo, teniendo en cuenta que en España las temperaturas mínimas alcanzadas en las capitales de provincia más frías son de -10°C y las máximas son 45°C, el ajuste se realiza para Voc(-10°C) y Vmpp(70°C):

$$Voc(-10^{\circ}C) = Voc + \frac{((-25^{\circ}C - 10^{\circ}C)(coeficiente\ temperatura\ de\ Voc)Voc)}{100}$$

$$Vmpp(-70^{\circ}C) = Vmpp + \frac{((-25^{\circ} + 70^{\circ}C)(coeficiente\ temperatura\ de\ Vmpp)Vmpp)}{100}$$

(Los coeficientes de temperatura de Voc y Vmpp se pueden extraer de la ficha técnica del panel con el que se trabaje).

Además, existe la opción de disponer los paneles en cadenas o strings que deben tener en cuenta Nmax y Nmin. El número máximo de cadenas aceptado será igual a:

$$Ncad = \frac{Imax}{1.25 * Imp}$$

(Se toma 1.25 como factor de seguridad para evitar trabajar con la corriente máxima con los riesgos que ello supone).

Una vez seleccionado el modelo de inversor y el número de paneles que se van a emplear, se puede obtener la potencia instalada de la instalación y pasar al estudio energético.

### 3.9. Estudio energético de una instalación FV

Una vez se obtiene la potencia instalada con la que cuenta la instalación, se puede obtener la energía generada media mensual en KWh durante cada hora de manera sencilla para los 12 meses:

$$Egenerada_{hora} = Pinstalada * \frac{irradiancia_{hora}}{1000} * \eta * 1h$$

## Marco teórico

La irradiancia de cada hora se obtiene de manera sencilla con PVGIS.

Por otro lado, la energía necesaria mensual como se mencionó anteriormente viene dada por el consumo mostrado en las facturas eléctricas que envía mensualmente la compañía eléctrica al usuario. Para saber la energía que suele necesitar una vivienda cada hora es necesario diferenciar los 3 tramos horarios que existen:

- Valle: 00:00-08:00 y todo el día en fines de semana y festivos
- Llana: 08:00-10:00, 14:00-18:00 y 22:00-00:00
- Punta: 10:00-14:00 y 18:00-22:00

El coste de la electricidad depende del tipo de tarifa contratada por el cliente. Existen tarifas que diferencian estos 3 tramos en las cuáles es más barato en el tramo valle (baja demanda eléctrica) y más caro en el tramo punta (alta demanda eléctrica). Por otro lado, hay tarifas que incluyen precios únicos para todos los tramos. La interfaz gráfica ofrecerá ambas posibilidades.

Se estima que, en una vivienda en España, se consume un 49% de la electricidad diaria total consumida en valle, un 26% en llana y un 24% en punta [48].

Sin embargo, para obtener aún datos más precisos, se va a analizar el consumo diario por horas de dos viviendas. En las facturas mensuales que las compañías envían mensualmente a sus clientes aparece el consumo horario para todos los días de ese mes. Para hacer los cálculos aún más precisos se tendrán en cuenta 24 días a lo largo de un año (dos días de cada mes).

Una vez se tiene el consumo horario para 2 días de cada mes y para las 2 viviendas se hace la media entre ambas. De esta manera, podemos crear una matriz de porcentajes de 12 filas (meses) por 24 columnas (horas) con el porcentaje de energía medio que una vivienda necesita cada hora durante un día. Finalmente, la energía necesaria cada hora será igual al porcentaje horario del mes deseado por el consumo diario que ese usuario tenga ese mes. De esta forma, queda definido el porcentaje de consumo medio por hora para cualquier

vivienda en España, teniendo en cuenta que el consumo diario entre diferentes personas suele ser muy similar.

Este parámetro es fundamental, ya que permite realizar un estudio de la energía demandada y vertida en la interfaz.

### 3.9.1. *Energía demandada*

Se define como energía demandada a la red la energía proveniente de la red que una vivienda requiere cuando la instalación no es capaz de generar tanta energía como necesita.

Como se explicó anteriormente, en función de la época del año hay más o menos horas de sol, por lo que esta energía será mayor en los meses de invierno.

$$Energía_{demandada\ hora} = Energía_{necesaria\ hora} - Energía_{generada\ hora}$$

Para que exista energía demandada a una hora dicha expresión debe ser positiva.

### 3.9.2. *Energía vertida*

Se define como energía vertida a la red la energía sobrante que genera una instalación FV que no necesita la vivienda o terreno provisto de la instalación. Dicho excedente se “vende” a la red y el usuario obtiene una retribución económica.

$$Energía_{vertida\ hora} = Energía_{generada\ hora} - Energía_{necesaria\ hora}$$

Para que exista energía vertida a la red a una hora determinada, dicha expresión ha de ser positiva.

## 3.10. **Análisis de la rentabilidad**

El análisis de rentabilidad es una métrica financiera que evalúa el rendimiento económico de una inversión en relación con su coste inicial [49].

Para analizar la rentabilidad, se calcularán y compararán los costes de las facturas eléctricas a lo largo de 25 años para el caso con y sin instalación FV.

## Marco teórico

Para el caso en el que no se cuente con instalación FV, basta con sumar las facturas eléctricas mensuales de todo un año proporcionadas por el usuario y multiplicarlas por los 25 años.

Por otro lado, para hallar los costes de electricidad para una instalación FV durante 25 años, se deben tener en cuenta los siguientes elementos:

- El coste de la instalación y de sus elementos: paneles, inversores, cableado, etc.
- Las facturas eléctricas mensuales sumadas para los 12 meses, donde se tendrán en cuenta: término de potencia (potencia instalada), término de energía (electricidad demandada a la red), excedente de energía que será compensado (electricidad vertida a la red), financiación del bono social, impuesto sobre la electricidad (IEE) y el IVA.
- La mano de obra durante la instalación y su posterior mantenimiento con el paso del tiempo (entre un 15% y un 20% del coste de la instalación). Se escogerá un valor del 20% del coste de la instalación con cableado y estructura incluidos.

Se seleccionará una tarifa eléctrica que ofrezca alguna compañía para establecer los precios del KWh en función del tramo del día (punta, llano o valle) para poder hallar los términos de energía y potencia. Dicha tarifa deberá, además, indicar el precio que se descuenta de la factura por KWh vertido a la red.

Para ambos casos se tendrá en cuenta una subida del índice de precios al consumidor (IPC) de un 2.1% cada año.

Una vez se calculen los costes para ambos casos, se podrá presentar un resultado que muestre gráficamente si la instalación FV situada en una ubicación específica asociada al consumo de un cliente en específico es rentable a lo largo del tiempo o no.

En cuanto a los excedentes de energía, se debe tener en cuenta que según la ley RD 244/2019 [50], para evitar facturas negativas en las que el usuario reciba una compensación favorable, no se puede compensar

económicamente por encima de la energía consumida para ese periodo (término de energía).

Según el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), el tiempo que suele tardar en amortizarse una instalación FV oscila entre los 6 y los 10 años [51], reduciéndose las facturas mensuales entre un 50% y un 70% en comparación al precio sin instalación. No obstante, este tiempo y estos porcentajes varían en función del usuario, su consumo medio y su emplazamiento. Es de gran importancia que la interfaz desarrollada obtenga tiempos de amortización y ahorros entre estos rangos para garantizar su validez.

### 3.11. Python

Python es el lenguaje de programación utilizado por mayor número de programadores a lo largo del mundo. Fue en 1989 cuando el programador de computación neerlandés Guido Van Rossum, en plenas vacaciones de navidad, empezó a desarrollarlo por diversión [52]. Desde ese entonces a la actualidad, numerosas versiones se han ido sucediendo hasta alcanzar la versión 3.13.3 en abril de 2025.

Es el lenguaje más popular del mundo debido a que es un idioma muy sencillo a la hora de aprender (parecido al inglés), muy fácil de usar y que ofrece miles de posibilidades [53]. Sus usos van desde el desarrollo de software y de aplicaciones web hasta el Data Science (Ciencia de Datos) y el Machine Learning (Aprendizaje Automáticos) que tan de moda están en la actualidad.

Se trata de un lenguaje orientado a objetos que contiene miles y miles de librerías, de las cuales la interfaz gráfica desarrollada hace uso. Además de la infinidad de posibilidades que ofrece, su éxito también se debe a que es de uso gratuito, funciona bien en todos los sistemas operativos y su sencillez hace que crear código con Python sea más rápido que con otros lenguajes, como C o Java.

#### 3.11.1. Visual Studio Code

Visual Studio Code (VS Code) es un editor gratuito para programación de código abierto. Pertenece a Microsoft, una de las empresas más importantes del

## Marco teórico

sector y se trata de un editor bastante ligero y visual que ha hecho que se convierta en el editor con la tasa de uso más elevada de la historia.

Este trabajo ha hecho uso de VS Code como editor y de Python como lenguaje de programación. La decisión de usar Python como lenguaje sigue con la tendencia de usar un lenguaje sencillo y con una cuota de uso muy elevada.

La interfaz desarrollada es capaz de realizar el dimensionamiento, el estudio energético y el análisis de la rentabilidad de una instalación FV a construir o ya existente para un cliente determinado. De esta forma, es el propio cliente el que valora las ventajas y desventajas de realizar dicha instalación, sin una empresa detrás que le presione a obtener sus servicios de manera insistente.



Fig. 15: VS Code e interfaz gráfica en Python  
Fuente propia, 28 de abril de 2025

### 3.12. Bibliotecas empleadas

Una biblioteca, en cualquier lenguaje de programación, almacena un conjunto de códigos que son usados por los programadores muy frecuentemente de tal forma que pueden ser incluidos en los programas accediendo a dichas bibliotecas, evitando tener que escribir el código desde cero [52].

En Python, además de las bibliotecas estándar, que son librerías que ya vienen instaladas junto a Python, se pueden importar más de 100 000 provenientes de terceros (desarrolladas por alguien ajeno a la empresa de Python). Para importar las librerías de terceros se ha introducido en la terminal de VS Code el comando:

```
py -m pip install "biblioteca a importar"
```

La interfaz desarrollada usando Python en el programa VS Code hace uso principalmente de las bibliotecas que se explicarán a continuación:

### 3.12.1. *Math*

Se trata de una biblioteca estándar de Python, de la que se puede hacer uso simplemente teniendo instalado el lenguaje. Esta librería da acceso a una serie de funciones matemáticas comunes que fueron definidas en el estándar de C [54]. Todos los valores que devuelven las funciones pertenecientes a esta biblioteca son de tipo flotante. Entre sus principales funciones se encuentran:

- `factorial ()`: obtiene el factorial de un número
- `fabs ()`: halla el valor absoluto de un número.
- `isqrt ()`: obtiene la raíz cuadrada de un número.
- `gcd ()`: realiza el máximo común divisor entre dos más números.
- `cos ()`: obtiene el coseno de un número en radianes

### 3.12.2. *Tkinter*

Es la biblioteca esencial de la que hace uso la aplicación desarrollada, puesto que permite trabajar con interfaces gráficas en Python de manera muy sencilla y visual. Entre sus principales funciones, destacan:

- `Toplevel ()`: crea una ventana de interfaz gráfica en blanco.
- `Label ()`: introduce etiquetas en la interfaz para mostrar texto.
- `Frame ()`: se trata de un contenedor rectangular al que se asocian elementos dentro de la interfaz.
- `Scrollbar ()`: añade en la posición que se desee la barra de desplazamiento que permite desplazarse a lo largo de interfaz (útil para ventanas con mucho contenido)
- `Button ()`: añade un botón en la interfaz al que se le asocia un comando y que puede ser pulsado para el usuario.
- `OptionMenu ()`: se trata de un botón que al ser pulsado muestra una serie de opciones que pueden ser seleccionadas al pulsarse.

## Marco teórico

- StringVar (): también llamadas variables de control permiten cambiar el valor de una variable según escoja el usuario (útil para casos en los que se deba elegir entre varias opciones).
- ImageTk (): permite incluir imágenes en la interfaz para hacerla más atractiva e intuitiva.
- Entry (): crea un cuadro de texto en blanco donde el usuario puede ingresar por teclado un valor.
- filedialog (): permite subir archivos a una interfaz Tkinter.

### 3.12.3. Geopy

Se trata de una biblioteca un poco más compleja que las anteriores que se usa fundamentalmente para localizar las coordenadas geográficas de ciudades, países, calles, etc. La función Nominatim (), de *Open Street Map* permite obtener las coordenadas gráficas al ser proporcionada una dirección. Relacionado con la interfaz desarrollada, es de gran utilidad a la hora de obtener los parámetros de longitud y latitud de la vivienda de un usuario.

### 3.12.4. Numpy

La librería Numpy es de gran utilidad para los programadores a la hora de realizar operaciones algebraicas, tales como la creación y operación con matrices [52]. En la interfaz desarrollada, por ejemplo, se hace uso de matrices de 12 filas (meses) por 24 columnas (horas) para el estudio energético horario mensual de la instalación FV a estudiar: matriz de porcentajes, matriz de energía generada, matriz de energía necesaria, matriz de energía demandada y matriz de energía vertida.

Entre sus funciones se tienen, por ejemplo:

- zeros (): permite agregar ceros a una matriz
- maximum (): localiza el valor numérico máximo de todos los elementos de una matriz.
- arange (x, y): permite insertar el rango de una matriz entre un valor x e y.

### 3.12.5. *Requests*

Se trata de una biblioteca de Python esencial para los desarrolladores de software web. Entre otras muchas funciones, permite ingresar parámetros de URL enviar solicitudes HTTP [52]. En la interfaz gráfica desarrollada, permite acceder e ingresar parámetros al API Web de PVGIS, para obtener los datos de irradiancia horarios necesarios para poder llevar a cabo el proyecto.

### 3.12.6. *Sqlite3*

Se trata de una biblioteca de C que Python integra que permite acceder a una base de datos con lenguaje SQL. Para ello, se establece conexión con la base de datos con el comando `sqlite3.connect` [55]. Una vez dentro se tiene conexión con la base de datos, se puede crear un objeto de tipo cursor y ejecutar comandos de tipo SQL llamando a `cursor.execute()`.

Con respecto al trabajo realizado, esta librería es clave para poder crear las bases de datos en las que se introducen los distintos modelos de paneles FV e inversores con sus respectivas características.

### 3.12.7. *Fitz y Matplotlib*

La biblioteca Fitz, también conocida como PyMuPDF, como su nombre indica, es una librería de Python que ofrece muchas herramientas para trabajar con archivos de formato PDF. Entre sus funciones, la más destacada de la que se ha hecho uso en el proyecto es `open()`, que permite abrir un archivo PDF.

Por otro lado, Matplotlib es una biblioteca que permite dibujar datos en gráficos de dos o tres dimensiones de una alta calidad [52]. A la hora de analizar la rentabilidad de algo, en este caso de una instalación FV, es de gran ayuda ofrecer al usuario una comparación gráfica entre los precios de ambas opciones (con y sin instalación).

### 4. OBJETIVOS

#### 4.1. Objetivo General

Desarrollar una interfaz gráfica accesible e intuitiva que permita a usuarios sin conocimientos técnicos avanzados evaluar fácilmente la rentabilidad o no rentabilidad de una instalación fotovoltaica en sus viviendas o terrenos.

#### 4.2. Objetivos Específicos

- Investigar los fundamentos teóricos de las instalaciones fotovoltaicas para confirmar que el número de instalaciones seguirá creciendo.
- Analizar las necesidades de los usuarios para diseñar una interfaz amigable y accesible.
- Diseñar y desarrollar la interfaz gráfica utilizando las bibliotecas de programación y las herramientas de desarrollo de software adecuadas y necesarias.
- Implementar herramientas de cálculo y visualización para estimar el rendimiento económico y energético de las instalaciones fotovoltaicas.



## 5. METODOLOGÍA

Con el objetivo de que cualquier usuario pueda conocer y evaluar la rentabilidad de disponer de una instalación FV en su tejado o terreno, se ha desarrollado una interfaz gráfica con el programa de desarrollo de software VS Code.

La aplicación se ha llamado “Mis paneles FV” y cuenta con un total de 6 ventanas con una o varias misiones cada una. Se trata de una aplicación bastante sencilla que hace uso de los elementos más comunes con los que cuenta prácticamente toda interfaz: etiquetas, cuadros de texto, botones, grupos de selección y elementos gráficos.

### 5.1. Introducción a Mis Paneles FV

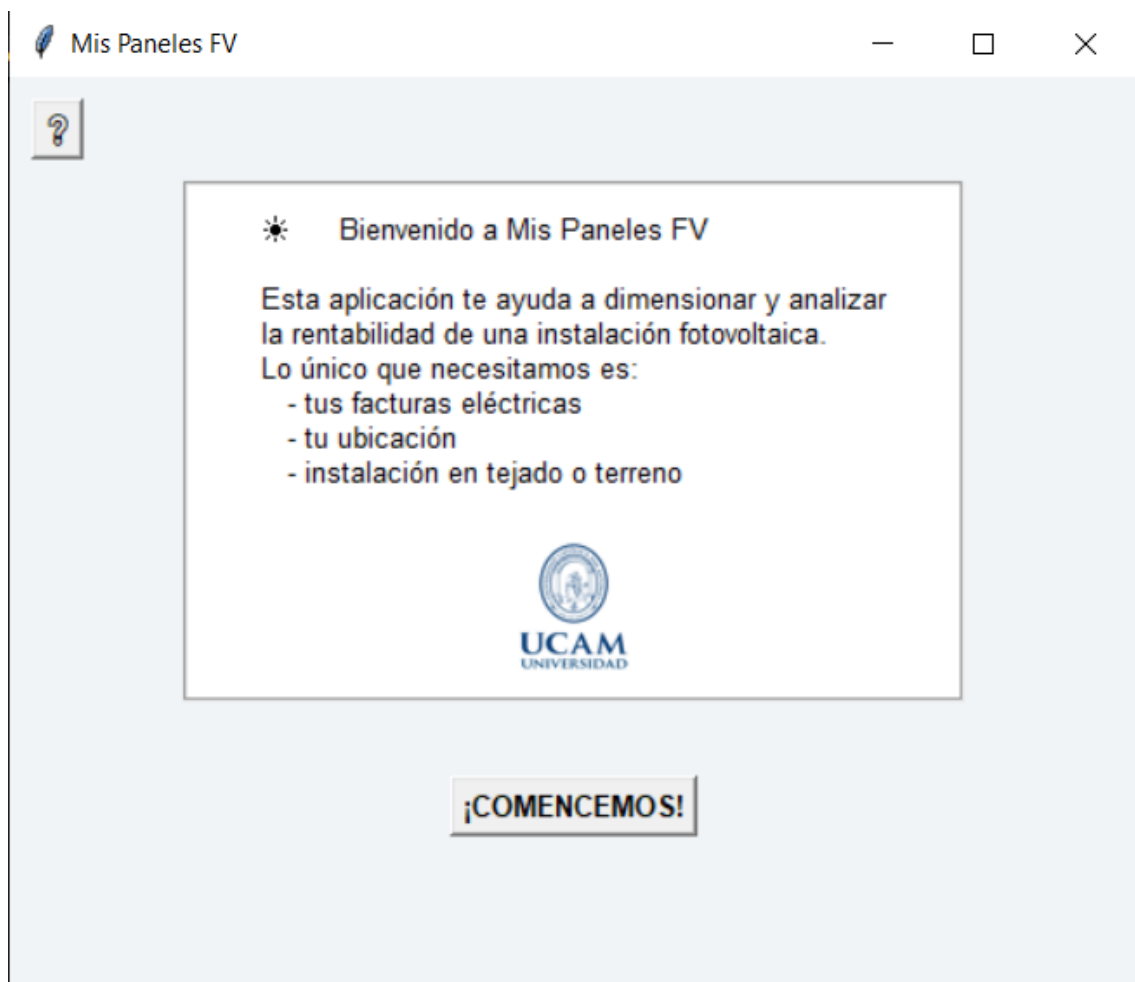


Fig. 16: Ventana de introducción a Mis Paneles FV  
Fuente propia, 1 de mayo de 2025

Esta ventana de introducción (Fig. 16) tiene como objetivo hacer comprender al usuario lo que se pretende conseguir con la interfaz e informar al usuario de los recursos que deberá facilitar a la aplicación para que ésta pueda realizar los cálculos.

Cuenta además con 2 botones, el primero de ellos llamado comencemos que tiene como función avanzar hacia la siguiente ventana de la aplicación y el botón de ayuda (Fig. 17) localizado en la esquina superior izquierda que al pulsarlo muestra el siguiente mensaje:

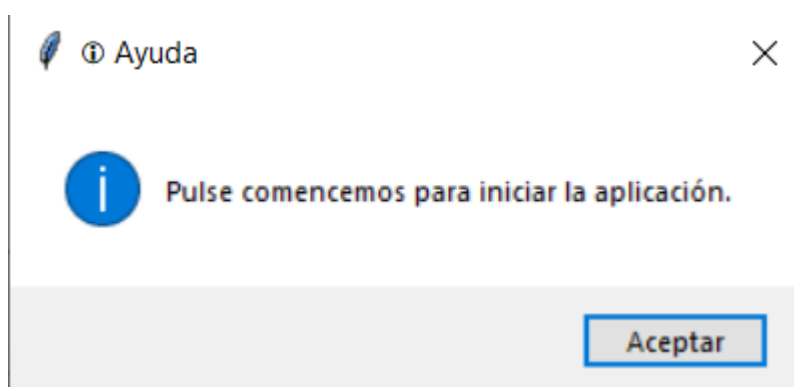


Fig. 17: Botón de ayuda en la ventana de introducción  
Fuente propia, 1 de mayo de 2025

Para poder trabajar con botones, etiquetas y demás elementos que permite la interfaz, se ha importado la biblioteca Tkinter que, debido al uso tan frecuente que se le da en la aplicación, se abreviará como tk.

## 5.2. Datos introducidos por el usuario referidos al emplazamiento

Tras ser pulsado el botón “¡Comencemos!”, el usuario accede a la segunda ventana de la interfaz, llamada “Panel de Inicio”. En esta ventana, el usuario debe facilitar a la interfaz:

- Su ubicación en el cuadro de texto, para poder hallar las coordenadas geográficas.
- El lugar de instalación seleccionando en el desplegable entre terreno (Fig. 18) y tejado (Fig. 19). Además, debe rellenar en los cuadros de texto dispuestos sus características. Habrá 2 cuadros en la opción terreno

(largo y ancho) y 4 cuadros para la opción tejado (largo, ancho, orientación e inclinación).

The image shows a software window titled "Panel de Inicio". At the top, it says "Ingrese su dirección:" followed by a text input field. Below that, it says "Seleccione donde va a realizar la instalación:" with a dropdown menu currently showing "Terreno". Underneath, it says "Introduzca las dimensiones de su terreno:" followed by two input fields labeled "Largo (m):" and "Ancho (m):". In the center, there is a small landscape image with four red location pins. At the bottom, there are two buttons: "Atrás" on the left and "Siguiente" on the right.

Fig. 18: Panel de inicio para instalación en terreno  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

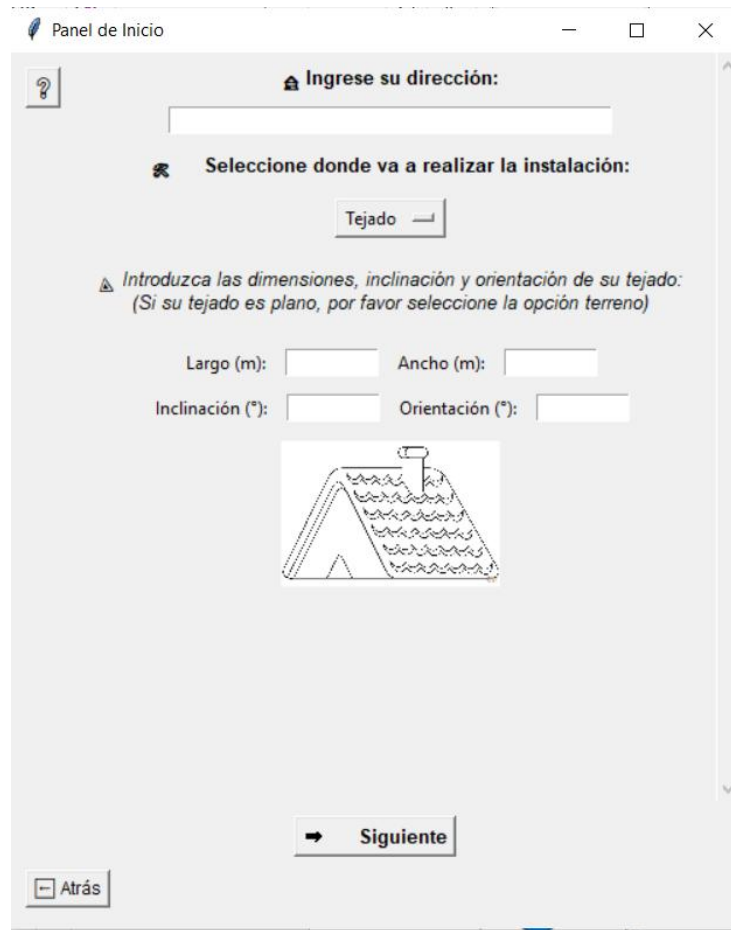


Fig. 19: Panel de inicio para instalación en tejado  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

Al igual que la ventana anterior, cuenta con 2 botones. El primero de ellos recibe el nombre de “Siguiente” y permite avanzar a la siguiente ventana, mientras que arriba a la izquierda se vuelve a localizar el botón de ayuda (Fig. 20) que muestra un texto explicativo y un ejemplo con datos reales:

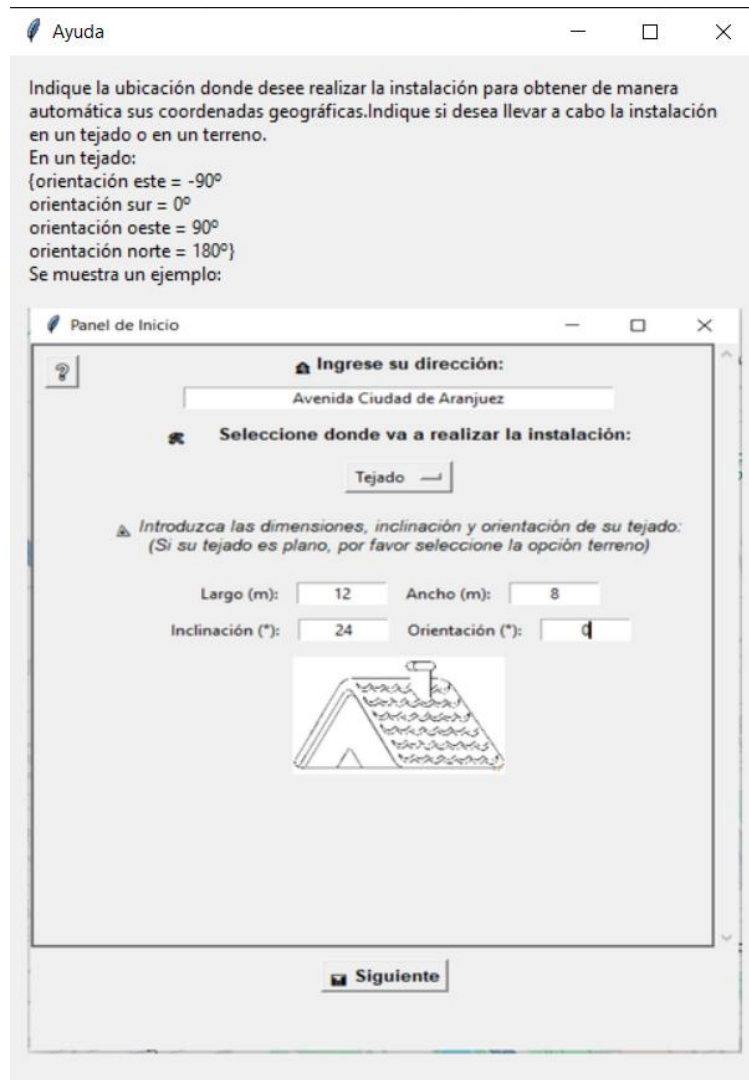


Fig. 20: Botón de ayuda en el panel de inicio  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

Cuando se selecciona la opción tejado, se recomienda en caso de ser un tejado plano (inclinación = 0°) de seleccionar la opción terreno, que introduce de manera automática una inclinación y orientación óptima (latitud - 10° y sur = 0°, respectivamente).

Para hacer un ejemplo de demostración, se escogerá una vivienda de la cual se tengan todos los datos mencionados anteriormente. La vivienda estará localizada en *Calle Almela Costa, Paraje la Matanza, Fortuna (Murcia)*, y será en un tejado de 15 metros de largo por 5 metros de ancho, con una inclinación de 25° y orientación sur (0°). Se puede observar en la Fig. 21:

Fig. 21: Ejemplo de datos de usuario  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

Cuenta además con un botón llamado “atrás” que permite retroceder a la ventana de introducción a la aplicación, cerrando el panel de inicio.

### 5.3. Datos introducidos por el usuario referidos a la demanda y tarificación energética

Al pulsar el botón siguiente en la ventana anterior, se accede a la tercera ventana, donde el usuario ahora deberá facilitar los datos referidos a su demanda energética mensual y a su tarificación. Esta ventana se llama “Facturas mensuales” y, como su nombre indica, tiene como función que el usuario ingrese sus facturas eléctricas para cada mes del año en formato PDF (Fig. 22).

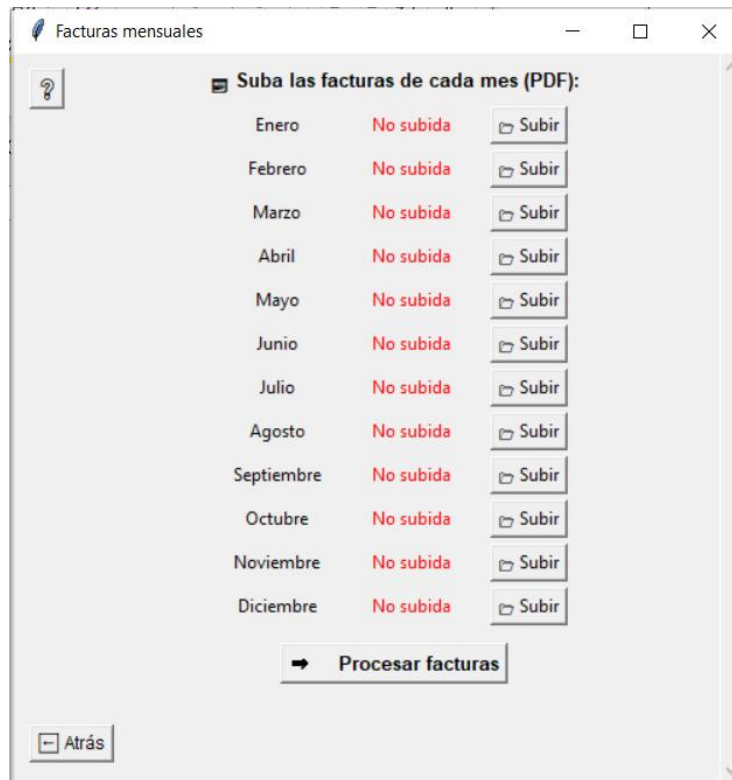


Fig. 22: Ventana para la carga de facturas mensuales  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

Al igual que en las ventanas anteriores, cuenta con un botón llamado “Procesar facturas” para avanzar a la siguiente ventana una vez estén cargadas todas las facturas, y un botón de ayuda (Fig. 23):

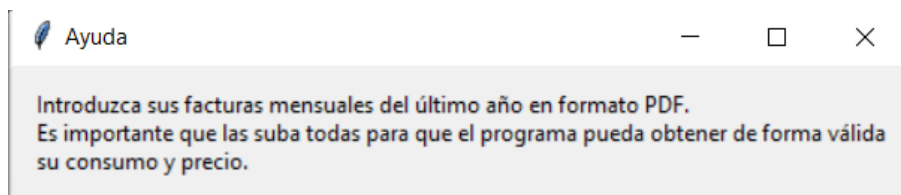


Fig. 23: Botón de ayuda en la ventana de facturas mensuales  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

Una vez subidas las facturas para todos los meses en el ejemplo de demostración, la ventana deberá verse al igual que la Fig. 24.



Fig. 24: Ejemplo de facturas mensuales cargadas  
Fuente propia, 3 de mayo de 2025

Al igual que la ventana anterior, posee un botón de atrás para retroceder al panel de inicio para darle la opción al usuario de modificar los datos introducidos en dicho panel.

#### 5.4. Análisis de los datos de radiación solar

Tras ser pulsado el botón de “Procesar facturas”, antes de pasar a la siguiente ventana, se realizan una serie de cálculos para obtener la radiación solar y la potencia necesaria a instalar para que la instalación FV diseñada pueda producir la demanda energética de la vivienda. Todos estos datos no son mostrados en la interfaz gráfica usuario, con el fin de cumplir con el objetivo de ser una interfaz intuitiva

El primer parámetro que se calcula es la HSP cuya fórmula fue vista en el apartado 3.8.3. Este parámetro se calcula con el API web de PVGIS (observable en la Fig.25) de manera remota, como se explicó en el apartado 3.8.2.

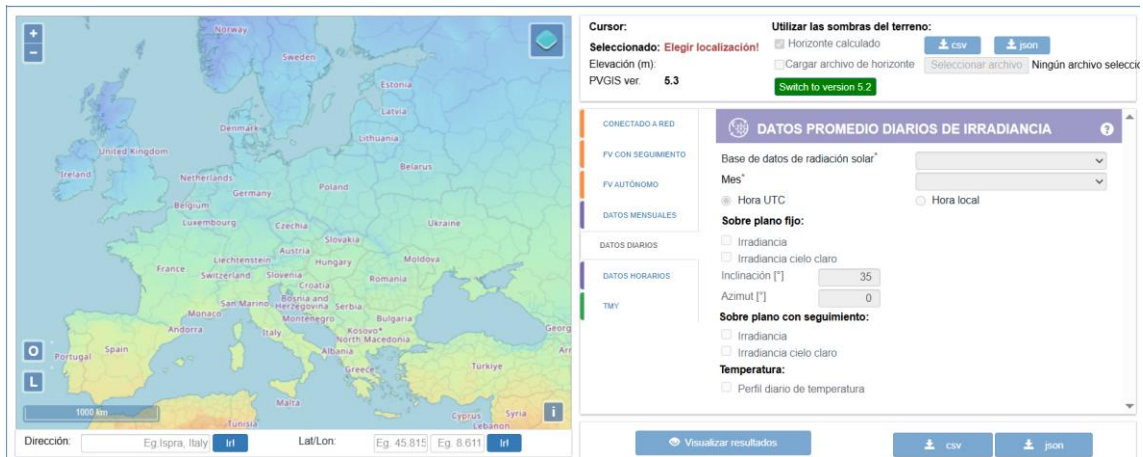


Fig. 25: PVGIS  
Fuente propia, 3 de mayo de 2025

La interfaz obtiene de manera remota los datos horarios de radiación para cada mes gracias a los parámetros introducidos por el usuario: inclinación, orientación (azimut) y la ubicación, de la cual se pueden obtener de manera sencilla las coordenadas de longitud y latitud.

La llamada que se hace al API Web desde Python hace uso de la biblioteca Requests vista en el apartado 3.12.5 que permite acceder a PVGIS de manera remota. Con la función `get()` se incluyen los parámetros obligatorios y opcionales vistos en el apartado 3.8.2 de los cuales algunos son introducidos por el usuario, como lat, lon, inclinación y orientación.

Por tanto, gracias a estos parámetros se obtiene la irradiancia de cada hora de cada mes en  $W/m^2$ . Sumando esta irradiancia horaria y dividiendo entre 1000  $W/m^2$  se halla la HSP media horaria de todos los meses en horas. Para el mes de octubre, en el emplazamiento escogido, se obtiene la siguiente HSP (Fig. 26):

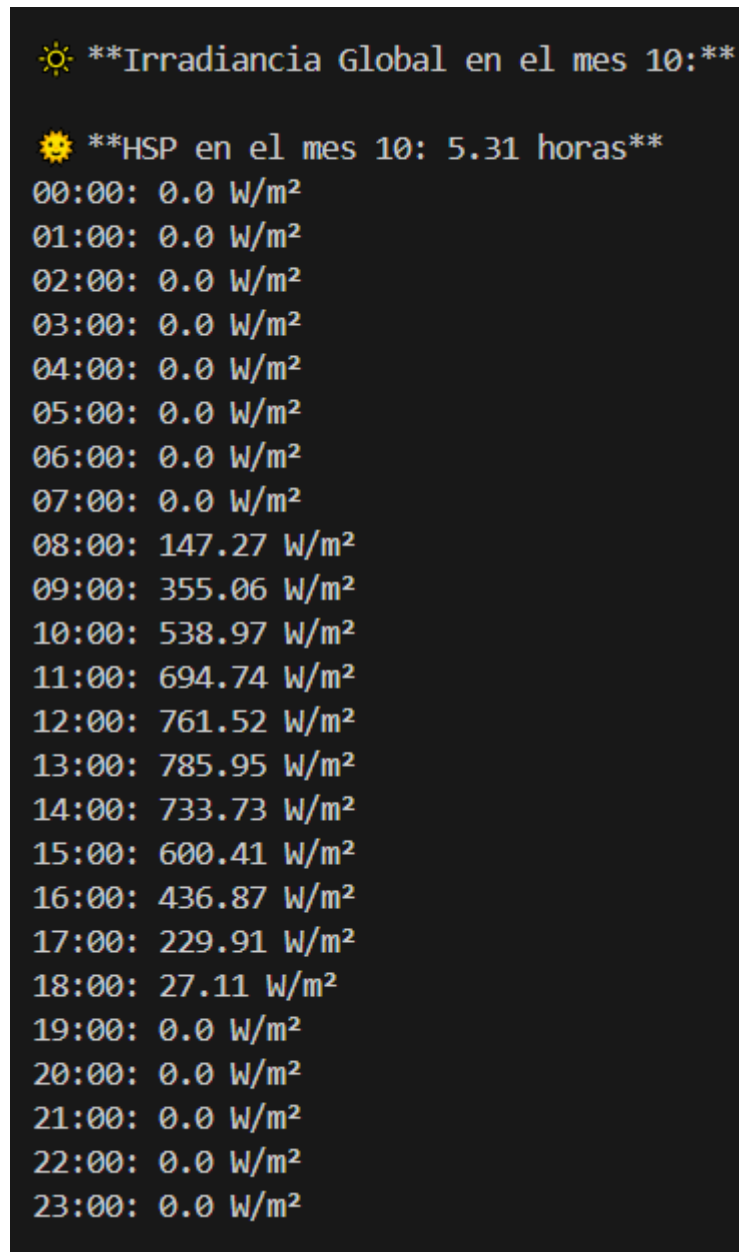


Fig. 26: HSP para el mes de octubre en el ejemplo  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

## 5.5. Dimensionamiento del generador FV

Como se explicó en el apartado 3.7.1, el generador FV corresponde con el número total de paneles solares que conforman la instalación. Pese a que aún no se conoce el número final de paneles, gracias a la HSP diaria de cada mes y a las facturas mensuales se puede obtener la potencia mínima con la que debe contar la instalación, procedente de la ecuación del apartado 3.8.7

Como se explicó anteriormente, E corresponde al consumo mensual en KWh que gasta un usuario. Para calcularlo, se hace uso de la biblioteca Fitz que permite leer archivos de tipo PDF. Para extraer el consumo, se busca en el archivo proporcionado por el usuario (la factura en cuestión) la palabra “kWh”.

Se calcula la potencia necesaria para cada mes una vez obtenidos el consumo y la HSP de todos los meses y con una eficiencia del 90% y se escoge la opción más crítica (potencia necesaria máxima) como potencia necesaria final.

Se muestra la factura del mes de octubre (Fig. 27) que se ha usado en el ejemplo para verificar los cálculos:

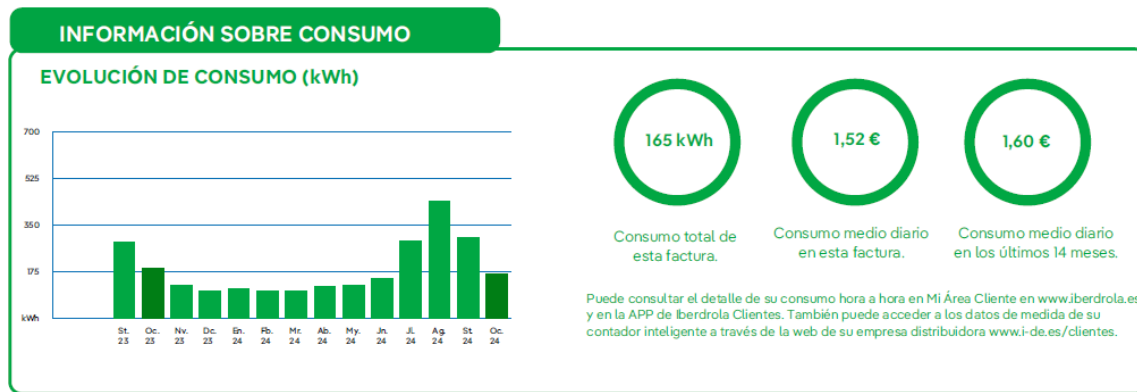


Fig. 27: Factura para el mes de octubre usada en el ejemplo  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

El valor de E por tanto es 165kWh y el valor de HSP se obtuvo en el subapartado anterior: 5.31 horas. La potencia necesaria mensual en octubre será de  $\frac{165}{5.31 \cdot 0.9} = 34.53 \text{ kW}$ . Si se divide entre los 31 días que tiene octubre, la potencia necesaria será de 1.113kW al día.

El resultado obtenido con la interfaz es el de la Fig. 28:

```
⚡ **Potencia necesaria por mes:**  
◆ Necesitamos en Enero: 0.91 kW al día  
◆ Necesitamos en Febrero: 0.83 kW al día  
◆ Necesitamos en Marzo: 0.63 kW al día  
◆ Necesitamos en Abril: 0.69 kW al día  
◆ Necesitamos en Mayo: 0.62 kW al día  
◆ Necesitamos en Junio: 0.74 kW al día  
◆ Necesitamos en Julio: 1.37 kW al día  
◆ Necesitamos en Agosto: 2.20 kW al día  
◆ Necesitamos en Septiembre: 1.81 kW al día  
◆ Necesitamos en Octubre: 1.11 kW al día  
◆ Necesitamos en Noviembre: 1.26 kW al día  
◆ Necesitamos en Diciembre: 0.78 kW al día  
  
Nuestra instalación deberá ser de al menos 2197.22 W
```

Fig. 28: Potencia necesaria para el ejemplo  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

Se verifica el valor obtenido para el mes de octubre y la interfaz hace lo mismo con el resto de los meses.

Para el ejemplo que se está estudiando, agosto es el mes más crítico, haciendo que la instalación deba ser de al menos 2197.22W diarios. El mes más crítico suele variar en función del tiempo que pasa un usuario en su vivienda. Si el usuario pasara todo el año en su vivienda, el mes más crítico estaría localizado en invierno.

## 5.6. Base de datos con paneles FV e inversores

El siguiente paso es ingresar en 2 bases de datos diferentes, los modelos de paneles FV e inversores accesibles, todos ellos con sus parámetros fundamentales y precio incluidos.

Para los paneles FV, se crea una base de datos en SQL llamada “paneles\_solares.db” en la que se introducen los siguientes campos: modelo, altura, anchura, Wp, Vmp, Isc, Voc, Imp, precio.

Por otro lado, para los inversores se crea otra base de datos (Fig. 29), llamada “inversores.db”, que contiene los siguientes campos: modelo, Pin, Pout, Vmax, Vmin, Imax, precio.

Se han encontrado grandes complicaciones en la búsqueda de los precios de los paneles FV. Esto se debe a que las empresas prefieren no decir su precio para que los usuarios contacten con ellos y cobrarles más o menos en función del tipo de instalación a realizar. Para establecer el precio, se han obtenido mediante una búsqueda exhaustiva al menos 3 precios para cada modelo de panel y se ha hecho su media. No obstante, no se puede garantizar con certeza que estos precios sean completamente exactos, pero sí que funcionan de manera orientativa.

Para que exista un número elevado de opciones posibles, se han ingresado un total de 8 modelos de paneles solares y de 16 inversores. Las fichas técnicas de todos los modelos añadidos se encuentran en el apartado anexos, para garantizar la fluidez de la memoria.

	id	modelo	Pin	Pout	Vmax	Vmin	Imax	precio
	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro
1	1	HUAWEI SUN2000-2KTL-L1	3000	2000	600	90	18.0	364.53
2	2	HUAWEI SUN2000-3KTL-L1	4500	3000	600	90	18.0	565.18
3	3	HUAWEI SUN2000-3.6KTL-L1	5520	3680	600	90	18.0	688.53
4	4	HUAWEI SUN2000-4KTL-L1	6000	4000	600	90	18.0	714.2
5	5	HUAWEI SUN2000-4.6KTL-L1	6900	4600	600	90	18.0	793.59
6	6	HUAWEI SUN2000-5KTL-L1	7500	5000	600	90	18.0	869.05
7	7	HUAWEI SUN2000-6KTL-L1	9000	6000	600	90	18.0	962.05
8	8	HUAWEI SUN2000-3KTL-M1	4500	3000	1100	140	19.5	1195.85
9	9	HUAWEI SUN2000-4KTL-M1	6000	4000	1100	140	19.5	1209.15
10	10	HUAWEI SUN2000-5KTL-M1	7500	5000	1100	140	19.5	1298.56
11	11	HUAWEI SUN2000-6KTL-M1	9000	6000	1100	140	19.5	1324.73
12	12	HUAWEI SUN2000-8KTL-M1	12000	8000	1100	140	19.5	1383.47
13	13	HUAWEI SUN2000-10KTL-M1	15000	10000	1100	140	19.5	1506.11
14	14	HUAWEI SUN2000-100KTL-M1	110000	100000	1100	200	40.0	4253.79
15	15	HUAWEI SUN2000-20-KTL-M2	30000	20000	1080	160	30.0	1869.16
16	16	HUAWEI SUN2000-50-KTL-M3	55000	50000	1100	200	40.0	2605.84

Fig. 29: Base de datos con los inversores disponibles  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

Para acceder a dichas bases de datos se hace uso de la librería estudiada sqlite3 una vez han sido previamente creadas ambas bases.

### 5.7. Determinación del número de paneles, inversor y cadenas

En este apartado es donde reside la mayor parte de la matemática de este proyecto. En función de los datos que introduce el usuario, la interfaz deberá proporcionarle las mejores opciones posibles en función del precio y la potencia instalada.

Partiendo de la superficie del tejado o del terreno del usuario, se calculan el número de paneles que caben en dicha superficie con 2 posibilidades.

- Formato apaisado: 
$$Npan_{largo} = \frac{largo_{superficie}}{largo_{panel}}$$
- $$Npan_{ancho} = \frac{ancho_{superficie}}{ancho_{panel}}$$

Se redondean con truncamiento (no es posible que quepan 1.78 paneles) y se multiplican  $Npan_{max} = Npan_{largo} * Npan_{ancho}$

- Formato vertical: 
$$Npan_{largo} = \frac{largo_{superficie}}{ancho_{panel}}$$
- $$Npan_{ancho} = \frac{ancho_{superficie}}{largo_{panel}}$$

Se redondean con truncamiento y se multiplican  $Npan_{max} = Npan_{largo} * Npan_{ancho}$

Se escoge el formato en el que más paneles quepan, para que sea más sencillo. (Para instalaciones en terreno habrá que tener en cuenta la distancia de seguridad con la fórmula vista en el apartado 3.8.5).

Partiendo de la potencia necesaria que requiere la instalación vista en el apartado 3.5 (2197.22W diarios), se buscan en la base de datos los inversores que cumplan que la potencia de salida del inversor sea mayor que la potencia mínima que necesita la instalación, como se vio en el apartado 3.8.8.

Cada inversor establecerá un número de paneles máximos y mínimos para cada modelo de panel, con las fórmulas estudiadas también en el apartado 3.8.8. Por tanto, en caso de que  $N_{max}$  sea mayor que  $N_{panmax}$ , el número de paneles máximos que se puedan instalar no vienen limitados por el inversor, sino por la superficie en  $m^2$  de la que se dispone.

Finalmente, a partir de la condición anterior ( $P_{out} > P_{necesaria}$ ), se hacen dos bucles, uno que halla el número de cadenas sin superar las permitidas y un segundo bucle que va desde  $N_{min}$  hasta  $N_{max}$  para ver a partir de qué número de paneles se cumple la condición, para cada modelo de panel. Es frecuente que en ocasiones un modelo de mayor potencia sea más barato, debido a que se ajusta mejor a la condición de potencia crítica.

Para evitar que la interfaz se vuelva demasiado compleja, se guardan los precios y potencias de todas las opciones posibles, pero solo se muestran 2 al usuario: la opción más barata y la opción de mayor potencia, que puede ser interesante también para usuarios que quieran realizar posibles negocios.

La potencia pico que se instalará finalmente será igual al número de paneles instalados por la potencia pico de cada panel.

$$P_{instalada} = N^{\circ} \text{paneles} * W_p \text{ (del modelo de panel)}$$

Volviendo a la interfaz, cuando el usuario pulsa el botón “Procesar facturas”, se avanza a la siguiente ventana, “Opciones Disponibles”. En esta ventana se darán a elegir las 2 opciones al usuario. Dichas opciones incluirán: precio de los paneles, precio del inversor, potencia final instalada, número máximo y mínimo de paneles, número final de paneles y precio total de la instalación incluyendo un 20% de mano de obra.

Pulsando en “Procesar Facturas” con los datos introducidos en el ejemplo de demostración, se obtienen las opciones mostradas en la Fig. 30:

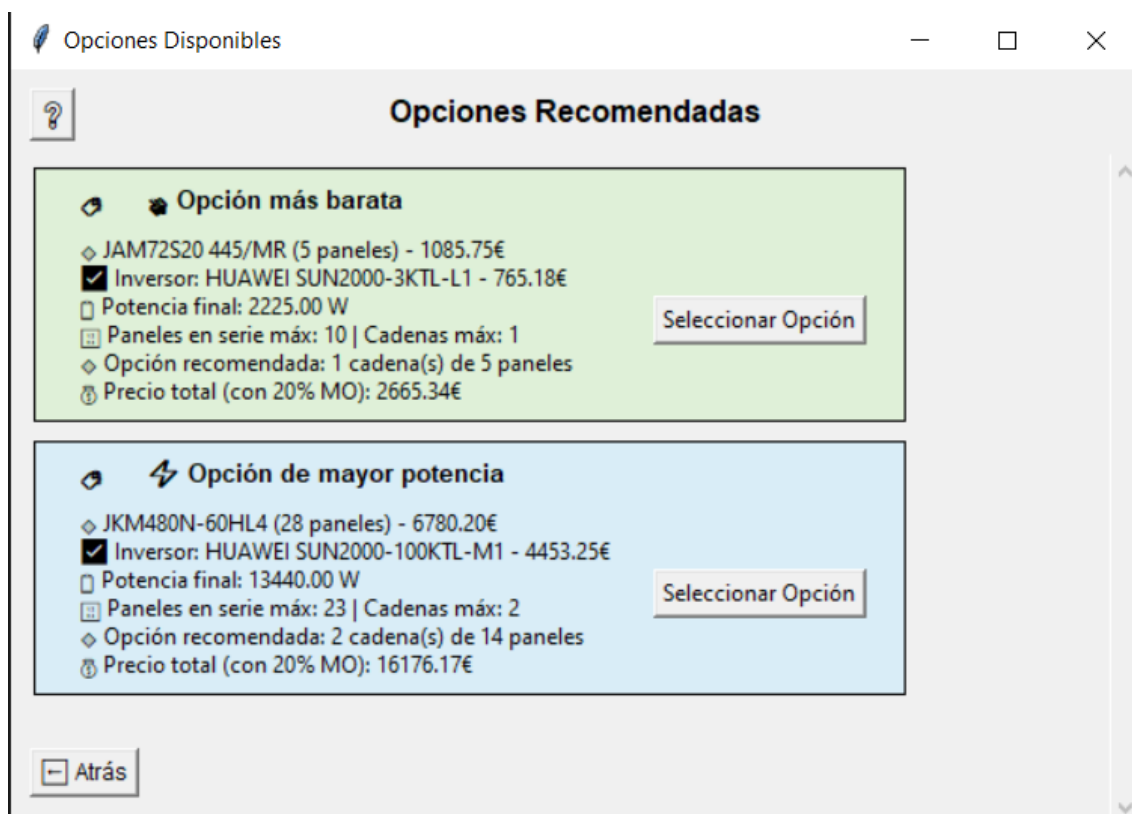


Fig. 30: Opciones disponibles para el ejemplo  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

Como se puede apreciar en Fig. 30, ambas opciones tienen sentido. La primera de ellas es la opción más barata y cuenta con una potencia instalada de 2225 que es el valor mayor a los 2197.22W que se necesitaban que mejor se aproxima a dicha cantidad.

Por otro lado, la opción más potente incluye el modelo de panel con mayor  $W_p$  y el inversor con mayor  $P_{out}$ , por lo que también es correcta pese a ser una opción sumamente cara.

La ventana cuenta con 2 botones: el botón "Seleccionar Opción" presente en cada una de las opciones que sirve para avanzar hacia la siguiente ventana de la interfaz y el botón de ayuda (Fig. 31):

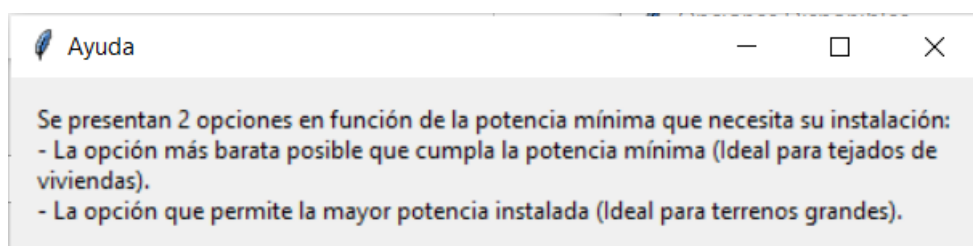


Fig. 31: Botón de ayuda en la ventana de Opciones Disponibles  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

También cuenta con el botón de atrás por si se quieren modificar los datos introducidos en las ventanas anteriores.

### 5.8. Obtención de la energía generada

Una vez se conoce la potencia instalada, obtener la energía que genera cada hora la instalación es tan sencillo como aplicar la fórmula estudiada en el apartado 3.9.

De esta manera, utilizando la librería Numpy previamente explicada, obtenemos una matriz de 12 filas (meses) por 24 columnas (horas). Se dispondrán todas las energías en forma matricial para que sea más fácil el cálculo de las energías demandadas y vertidas.

Seleccionando la opción barata que se obtenía con el ejemplo, la forma que tiene la matriz se puede ver en la Fig. 32:

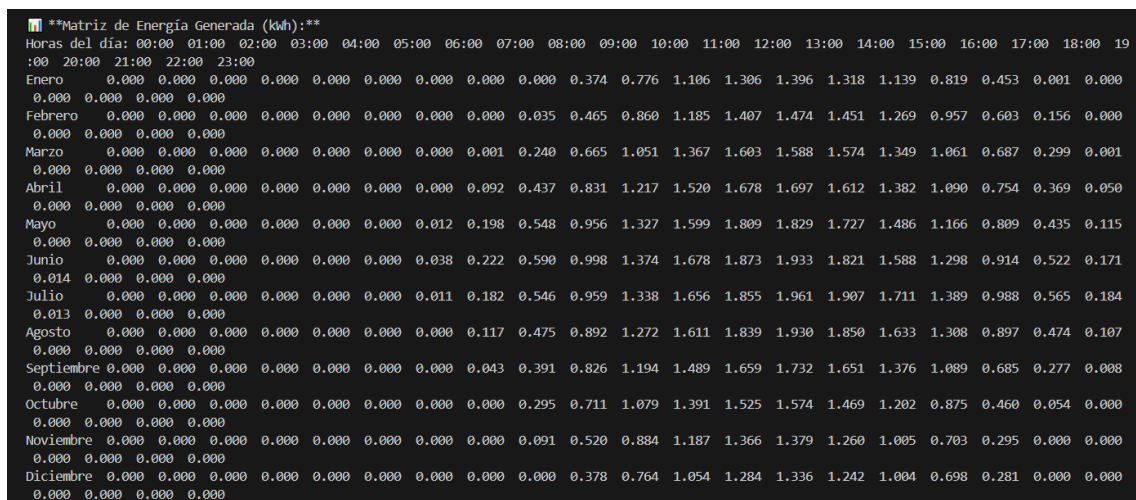


Fig. 32: Matriz de energía generada por hora para el ejemplo  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

Si se observa bien la matriz se puede ver que los datos de energía generada son correctos. Como era de esperar, la instalación FV produce más energía en verano, al haber más horas de sol.

### 5.9. Obtención de la energía necesaria

Como se explicó anteriormente, el primer paso de este subapartado es generar la matriz de porcentajes de 12 filas (meses) x 24 columnas (porcentajes horarios) para obtener el porcentaje de energía que un usuario necesita de media en España. Para generar dicha matriz, como se explicó en el apartado 3.9 se hace el consumo medio horario para 2 viviendas a lo largo de todo un año, teniendo en cuenta 2 días por mes: uno laboral y otro festivo.

Todos los meses en las facturas eléctricas se incluye un archivo PDF que contiene los datos de consumo de todas las horas de todos los días de dicho mes. El archivo para el mes de enero se puede observar en la Fig. 33:

Horas (Wh)	00-01h	01-02h	02-03h	03-04h	04-05h	05-06h	06-07h	07-08h	08-09h	09-10h	10-11h	11-12h	12-13h	13-14h	14-15h	15-16h	16-17h	17-18h	18-19h	19-20h	20-21h	21-22h	22-23h	23h-00h	Total (kWh)
Miércoles 4 Sept.	126	149	124	125	50	143	116	219	288	567	1.068	161	156	118	1.442	1.797	1.668	164	195	1.298	1.252	307	448	243	12,2
Jueves 5 Sept.	121	124	126	131	118	121	110	144	691	316	146	152	144	134	224	1.254	357	1.193	252	292	384	362	409	326	7,6
Viernes 6 Sept.	127	120	119	119	118	158	154	191	644	928	192	154	228	142	318	407	1.308	451	1.390	1.389	1.331	487	1.581	959	13
Sábado 7 Sept.	401	122	152	163	156	155	146	149	212	151	183	145	267	1.431	1.026	2.122	2.115	918	135	123	124	170	154	117	10,8
Domingo 8 Sept.	121	115	119	120	109	115	114	121	109	108	121	111	112	115	113	120	111	120	876	1.987	1.451	1.228	678	289	8,6
Lunes 9 Sept.	146	178	187	144	123	132	186	174	590	229	363	418	157	126	1.138	1.320	1.380	1.381	1.307	1.183	153	594	1.287	524	13,4

Fig. 33: Consumo horario para los días del mes de enero  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

Tras un trabajo un tanto monótono se puede obtener la matriz de porcentajes horarios de todos los meses.

Una vez se tiene la matriz de porcentajes, hallar la energía horaria que se necesita cada mes es tan sencillo como multiplicar cada fila de dicha matriz por el consumo diario del usuario. El consumo diario del usuario se halla dividiendo el consumo mensual extraído de las facturas entre los días que tenga el mes en cuestión.

Recordando la figura 24, en la que se tenía un consumo mensual en octubre de 165kWh y dividiéndolos entre los 31 días que tiene el mes se obtiene un consumo mensual de 5.32kWh diarios.

La interfaz obtiene este valor y el del resto de los meses (Fig. 34):



Fig. 34: Consumo diario mensual para el ejemplo  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

Una vez se tiene el consumo diario de todos los meses se multiplica por la matriz de porcentajes horarios y se obtiene la matriz de energía necesaria por hora para cada mes.

La matriz que se obtiene en el ejemplo que se está estudiando tiene la forma mostrada en la Fig. 35:

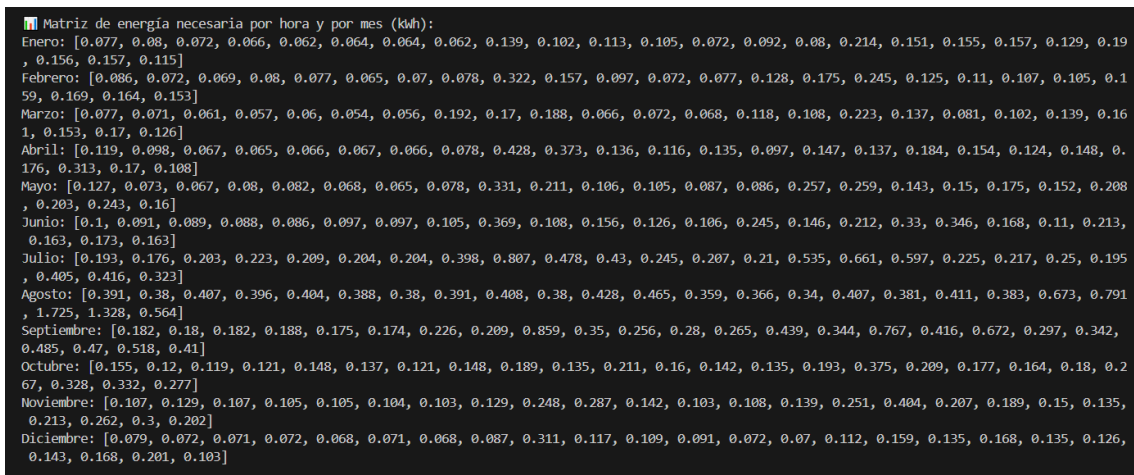


Fig. 35: Matriz de energía generada por hora para el ejemplo  
Fuente propia, 13 de mayo de 2025

Una vez se tienen las matrices horarias de energía generada y energía necesaria se puede realizar el estudio de la energía demandada y vertida.

### 5.10. Obtención de la energía demandada y vertida

Como se observó en las fórmulas de los subapartados 3.9.1 y 3.9.2, ya se pueden obtener las energías demandada y vertida en kWh gracias a las matrices de energía generada y necesaria. Es tan sencillo hallar dichas energías como haciendo las restas estudiadas y mantener solo los valores positivos en las matrices.

Al ser mostradas por la terminal, las matrices que se obtienen para el ejemplo tienen el aspecto ofrecido por la Fig. 36 y Fig. 37:

```

MATRIZ de Energía Demandada (kWh):
Enero 0.077 0.080 0.072 0.066 0.062 0.064 0.064 0.062 0.139 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.156 0.129
0.190 0.156 0.157 0.115
Febrero 0.086 0.072 0.069 0.080 0.077 0.065 0.070 0.078 0.287 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.105
0.159 0.160 0.164 0.153
Marzo 0.077 0.071 0.061 0.057 0.060 0.054 0.056 0.191 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.138
0.161 0.153 0.170 0.126
Abril 0.119 0.098 0.067 0.065 0.066 0.067 0.066 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.098
0.176 0.313 0.170 0.108
Mayo 0.127 0.073 0.067 0.080 0.082 0.068 0.053 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.037
0.208 0.203 0.243 0.160
Junio 0.100 0.091 0.089 0.088 0.086 0.097 0.059 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.199 0.163 0.173 0.163
Julio 0.193 0.176 0.203 0.223 0.209 0.204 0.193 0.216 0.261 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.066
0.182 0.405 0.416 0.323
Agosto 0.391 0.380 0.407 0.396 0.404 0.388 0.380 0.274 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.566
0.791 1.725 1.328 0.564
Septiembre 0.182 0.180 0.182 0.188 0.175 0.174 0.226 0.166 0.468 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.020 0.334
0.485 0.470 0.518 0.410
Octubre 0.155 0.120 0.119 0.121 0.148 0.137 0.121 0.148 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.110 0.180
0.267 0.328 0.332 0.277
Noviembre 0.107 0.129 0.107 0.105 0.105 0.104 0.103 0.129 0.157 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.150 0.135
0.213 0.262 0.300 0.202
Diciembre 0.079 0.072 0.071 0.072 0.068 0.071 0.068 0.087 0.311 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.135 0.126
0.143 0.168 0.201 0.103
    
```

Fig. 36: Matriz de energía demandada para el ejemplo  
Fuente propia, 14 de mayo de 2025

```

MATRIZ de Energía Vertida (kWh):
Enero 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.272 0.663 1.001 1.234 1.304 1.238 0.925 0.668 0.298 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000
Febrero 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.308 0.763 1.113 1.330 1.346 1.276 1.024 0.832 0.493 0.049 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000
Marzo 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.070 0.477 0.985 1.295 1.535 1.470 1.466 1.126 0.924 0.606 0.197 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000
Abril 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.014 0.009 0.458 1.081 1.404 1.543 1.600 1.465 1.245 0.906 0.600 0.245 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000
Mayo 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.120 0.217 0.745 1.221 1.494 1.722 1.743 1.470 1.227 1.023 0.659 0.260 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000
Junio 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.117 0.221 0.890 1.218 1.552 1.767 1.688 1.675 1.376 0.968 0.568 0.354 0.061
0.000 0.000 0.000 0.000
Julio 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.481 0.908 1.411 1.648 1.751 1.372 1.050 0.792 0.763 0.348 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000
Agosto 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.067 0.512 0.844 1.146 1.480 1.564 1.510 1.226 0.927 0.486 0.091 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000
Septiembre 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.476 0.938 1.209 1.394 1.293 1.307 0.609 0.673 0.013 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000
Octubre 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.106 0.576 0.868 1.231 1.383 1.439 1.276 0.827 0.666 0.283 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000
Noviembre 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.233 0.742 1.084 1.258 1.240 1.009 0.601 0.496 0.106 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000
Diciembre 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.261 0.655 0.963 1.212 1.266 1.130 0.845 0.563 0.113 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000
    
```

Fig. 37: Matriz de energía vertida para el ejemplo  
Fuente propia, 14 de mayo de 2025

Si se observa bien ambas matrices se puede observar cómo ambas proporcionan valores realistas: en las horas en las que no hay sol no se vierte energía y en las horas en las que el sol irradia con mayor intensidad no se demanda energía.

Gracias a estas matrices la interfaz es ahora capaz de calcular el precio de las facturas eléctricas con y sin instalación para los próximos 25 años, para evaluar de manera eficaz si la instalación es rentable o no.

### 5.11. Selección de tarifas

Como se vio en el apartado 5.7, la ventana “Opciones Disponibles” permitía elegir entre 2 opciones de instalación como se vio en la figura 28: la más barata o la que mayor potencia instalada tenía.

Tras ser pulsada la opción más barata en el ejemplo de demostración, se accede a la penúltima ventana de la interfaz, llamada “Elección de tarifas” donde, como su nombre indica, el usuario debe elegir la tarifa eléctrica que desee aplicar a su instalación.

Dicha ventana cuenta con 3 opciones. La primera de ellas es una tarifa solar ofrecida por la compañía Octopus Energy (Fig. 38), donde se indican los datos que debe aparecer en toda factura:

- Precios para la energía consumida en punta, llano y valle, en €/kWh
- Precios para la potencia instalada en punta y valle, en €/kW/día.
- Precio del excedente solar, en €/kWh, que se resta de la factura en función de la energía vertida cada mes.

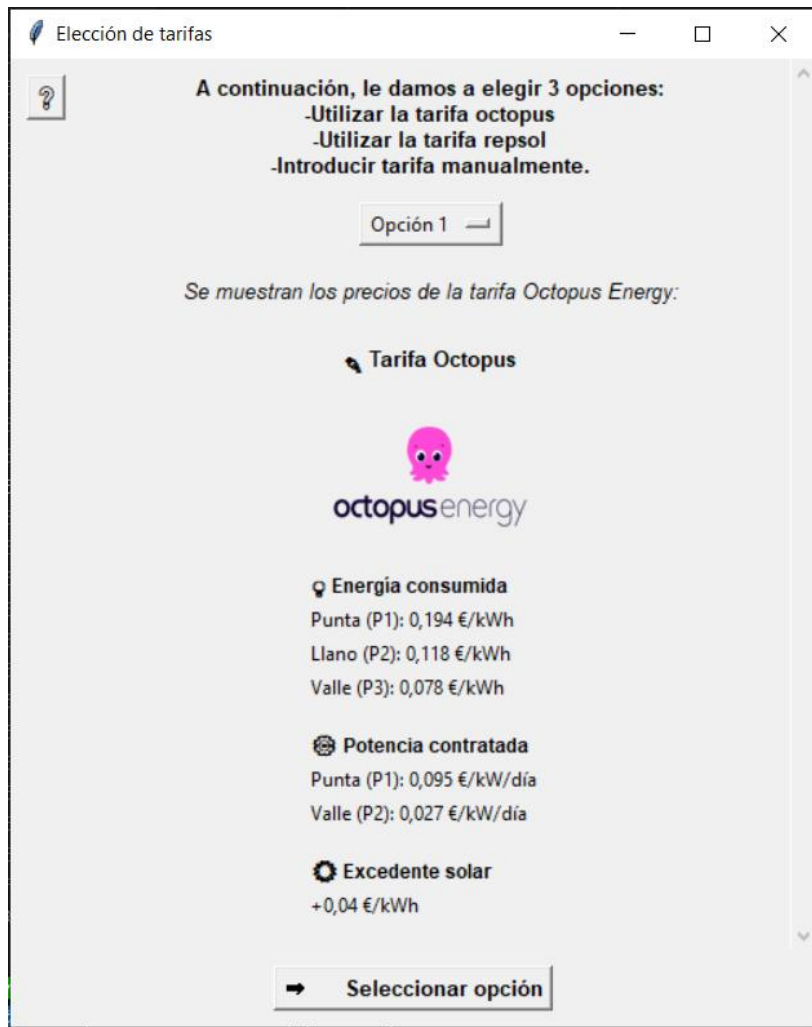


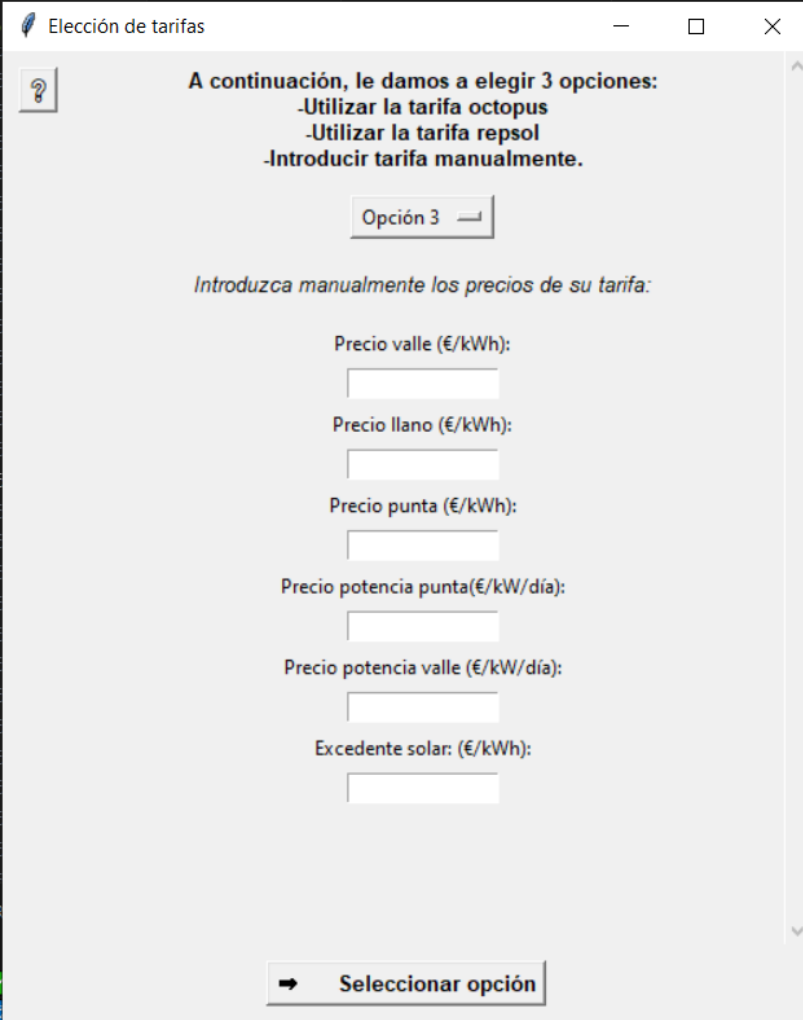
Fig. 38: Selección de la opción tarifa Octopus Energy  
Fuente propia, 14 de mayo de 2025

La segunda opción es una tarifa solar ofrecida por la compañía Repsol (Fig. 39). A diferencia de la anterior, sus precios de periodo fijo, no distinguiendo entre punta, llana y valle:



Fig. 39: Selección de la opción tarifa Repsol  
Fuente propia, 14 de mayo de 2025

La tercera y última opción consiste en que el usuario introduzca manualmente los precios de su tarifa (Fig. 40). Esta opción se recomienda a usuarios que tengan conocimientos más avanzados sobre tarifas eléctricas y para los que la tarifa ofrecida por la compañía anterior no sea de su agrado. Además, esta opción se puede usar para comprobar hipótesis con tarifas que no existan como, ¿cuánto disminuiría la factura eléctrica mensual si el excedente solar tuviera un precio de 10 céntimos?



The screenshot shows a window titled "Elección de tarifas" with a question mark icon in the top-left corner. The main text reads: "A continuación, le damos a elegir 3 opciones: -Utilizar la tarifa octopus -Utilizar la tarifa repsol -Introducir tarifa manualmente." Below this is a button labeled "Opción 3". Underneath, it says "Introduzca manualmente los precios de su tarifa:" followed by seven input fields with labels: "Precio valle (€/kWh)", "Precio llano (€/kWh)", "Precio punta (€/kWh)", "Precio potencia punta(€/kW/día)", "Precio potencia valle (€/kW/día)", and "Excedente solar: (€/kWh)". At the bottom is a button labeled "Seleccionar opción".

Fig. 40: Selección de la opción tarifa manual  
Fuente propia, 14 de mayo de 2025

Al igual que las primeras ventanas de la aplicación, aquí la interfaz hace uso de la librería Tkinter para trabajar con elementos tales como variables de selección, frames, botones, entradas de texto, etiquetas o imágenes.

Esta ventana cuenta además con 2 botones. El botón "Seleccionar opción" escoge la opción deseada por el usuario y avanza hacia la ventana final de la aplicación. Por otro lado, igual que en las ventanas anteriores, arriba a la izquierda se encuentra el botón de ayuda (Fig. 41):

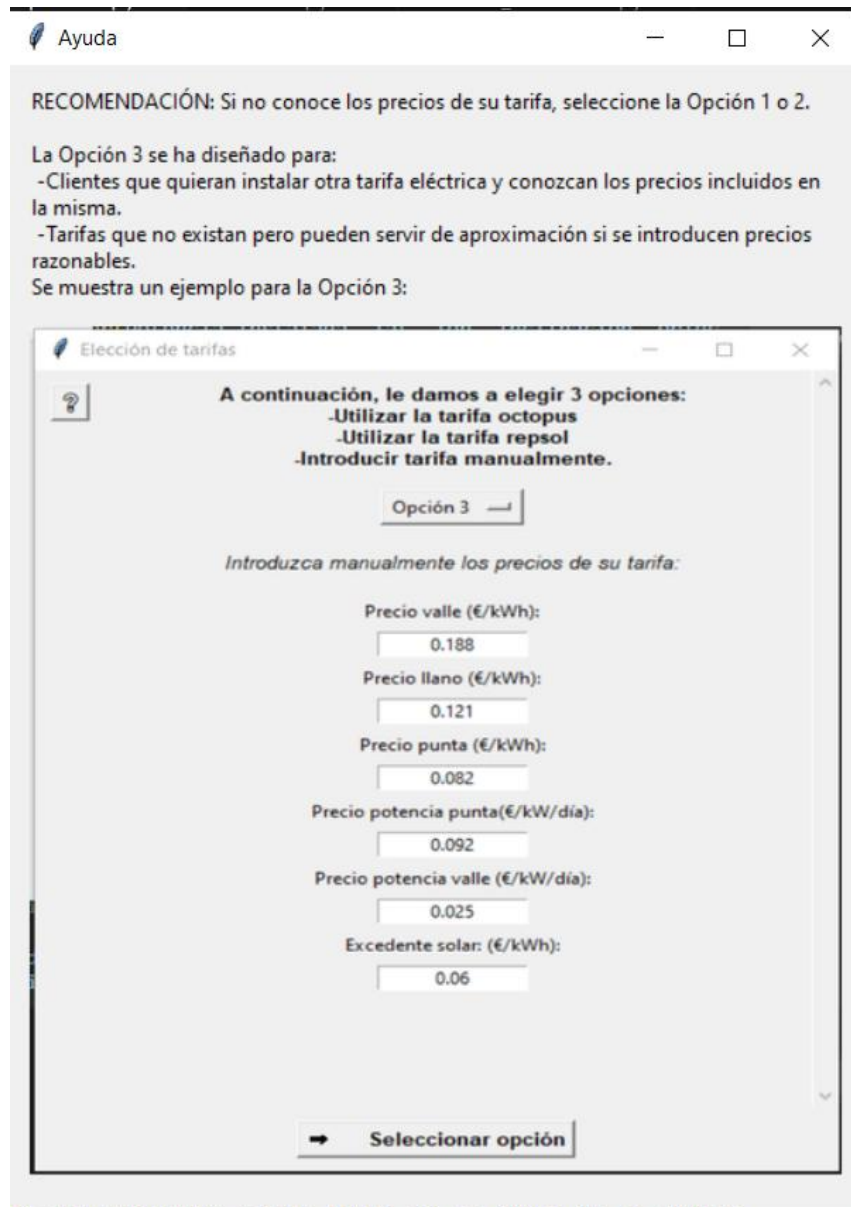


Fig. 41: Botón de ayuda en la ventana Elección de Tarifas  
Fuente propia, 14 de mayo de 2025

Tras ser seleccionada la opción 1 (Octopus Energy, Fig. 38) en el ejemplo de demostración, la interfaz puede empezar a calcular los precios de las facturas eléctricas con y sin instalación para compararlos posteriormente.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Cálculo de las facturas

En primer lugar, se calculará el precio de las facturas eléctricas sin instalación para los próximos 25 años. Para ello, es tan sencillo como sumar los precios de las 12 facturas que sube el usuario y multiplicarlas por 25, teniendo en cuenta un IPC del 2.1%. El precio total a lo largo de los 25 años se halla finalmente sumando todas las facturas anuales.

El resultado que se imprime por pantalla muestra los precios de cada año. Para ejemplo, se obtiene el siguiente precio (Fig. 42):

```
Coste total de la electricidad sin instalación FV en 25 años: 20526.17 €
```

Fig. 42: Precio sin instalación final para el ejemplo mostrado en la terminal  
Fuente propia, 14 de mayo de 2025

Teniendo en cuenta que los precios de las facturas que se tenían eran los siguientes (Fig. 43):

```
{'Enero': 34.1, 'Febrero': 31.61, 'Marzo': 45.0, 'Abril': 45.0, 'Mayo': 45.0, 'Junio': 46.16, 'Julio': 68.68, 'Agosto': 99.54, 'Septiembre': 72.07, 'Octubre': 44.2, 'Noviembre': 42.9, 'Diciembre': 27.26}
```

Fig. 43: Precios de las facturas por mes en el ejemplo  
Fuente propia, 14 de mayo de 2025

Si se suman las 12 se obtiene un precio para el primer año de 601.52€. Teniendo en cuenta una subida de los precios de un 2.1% anual el valor obtenido por la interfaz de 20526.17€ es correcto.

Por último, resta calcular el precio de las facturas eléctricas para los 25 próximos años con la instalación FV establecida en el ejemplo. Para ello, el primer paso es hallar los términos de energía y de potencia y restar el excedente de energía.

El término de energía se halla con la siguiente fórmula:

$$TE = (\text{Precio punta final} + \text{Precio llano final} + \text{Precio valle final}) * \text{días mes}$$

Por otro lado, los precios finales de los tramos se hallan como:

$$\text{Precio punta final} = \text{precio punta} * \text{energía demandada punta}$$

$$\text{Precio llano final} = \text{precio llano} * \text{energía demandada llano}$$

$$\text{Precio valle final} = \text{precio valle} * \text{energía demandada valle}$$

Precio punta, precio llano y precio valle son variables que la interfaz ya conoce después de haber sido seleccionados en la ventana “Elección de tarifas”. De igual forma, la energía demandada en cada tramo también se puede extraer de la matriz de energía demandada.

Tras calcular el término de energía, se calcula el término de potencia de manera aún más sencilla, con la siguiente fórmula:

$$TP = \text{Precio potencia punta final} + \text{Precio potencia valle final}$$

Los precios de la potencia punta y valle final se obtienen de la siguiente forma:

$$\text{Precio potencia punta final}$$

$$= \text{potencia instalada(kW)} * \text{precio potencia punta} * \text{dias mes}$$

$$\text{Precio potencia valle final}$$

$$= \text{potencia instalada(kW)} * \text{precio potencia valle} * \text{dias mes}$$

La potencia instalada la conocemos ya desde el apartado 5.7. El valor que se obtuvo para el ejemplo de demostración era de 2225W o lo que es igual, 2.25kW. Por otro lado, los precios de la potencia punta y valle también se conocen al haber ser escogidos de la ventana anterior.

Finalmente, se obtiene el precio descontado en la factura de cada mes el excedente correspondiente. El excedente mensual se puede hallar con la siguiente ecuación:

$$\text{Compensación} = \text{energía vertida} * \text{precio excedente} * \text{días mes}$$

La energía vertida se suma de manera sencilla con la matriz de energía vertida y el precio al que se paga el kWh sobrante viene dado por la ventana anterior.

Las 2 últimas líneas de código impiden la existencia de facturas negativas, como se explicó en el apartado 3.10. Por tanto, como la compensación no puede ser mayor que la energía consumida, cuando la interfaz calcula compensaciones mayores estas pasan a equivaler al término de energía.

Una vez se tienen los 3 valores calculados (TE, TP y compensación) se suman todos ellos teniendo en cuenta el signo negativo que introducen los excedentes, para hallar el primer subtotal antes de aplicar impuestos. Posteriormente, se introduce el Impuesto sobre la Electricidad que es de un 5.11269632% sobre el subtotal calculado.

Al subtotal y al IEE ya calculados resta sumarles finalmente el coste del bono social y el alquiler de los equipos de medida. El bono social tiene un precio de 0.012742€ por los días del mes a facturar mientras que el alquiler de los equipos de medida tiene un precio de 0.026557€ por los días del mes.

Se suman todos los valores y se aplica un IVA del 21%:

Finalmente, se suman los precios de las facturas de todos los meses para hallar el coste eléctrico anual con instalación FV. Posteriormente, igual que si hizo antes, se introduce una subida de los precios del 2.1% anual y se obtiene el precio final de la electricidad para los próximos 25 años. Hay que tener en cuenta que en el año 1 se introduce el precio que ha costado establecer la instalación FV, para poder ver cuánto se tarda en su amortización.

Para el ejemplo, en el mes de enero, se obtiene la siguiente factura en la terminal de VS Code (Fig. 44):

📅	Enero
💎	Término de energía: 6.62 €
💎	Término de potencia: 8.41 €
💎	Compensación por energía vertida: -6.62 €
💎	Bono social: 0.40 €
💎	Impuesto electricidad: 0.43 €
💎	Alquiler equipos de medida: 0.82 €
💎	Subtotal sin IVA: 10.06 €
🏠	IVA aplicado (21%): 2.11 €
💰	Coste total del mes con IVA: 12.18 €

Fig. 44: Factura enero con instalación FV para el ejemplo  
Fuente propia, 14 de mayo de 2025

Se obtiene un coste anual de la tarificación sin tener en cuenta la inversión inicial para el primer año de 178.69€ (Fig. 45), que es un valor bastante menor al que se obtuvo para el caso sin instalación FV:

✅	Coste total anual con instalación FV (incluido IVA): 178.69 €
📅	Año 1: Coste anual = 178.69 €
📅	Año 2: Coste anual = 182.44 €
📅	Año 3: Coste anual = 186.27 €
📅	Año 4: Coste anual = 190.18 €
📅	Año 5: Coste anual = 194.18 €

Fig. 45: Coste electricidad para los primeros 5 años de instalación FV para el ejemplo  
Fuente propia, 14 de mayo de 2025

Para los 25 años de vida útil que tiene la instalación, el usuario deberá pagar un total de 8462.39€ (Fig. 46), donde se incluye el precio de la instalación y su mantenimiento:

💰	Coste total durante 25 años (con IPC y precio de instalación incluido): 8462.39 €
---	---

Fig. 46: Coste total de la instalación durante 25 años para ejemplo  
Fuente propia, 14 de mayo de 2025

## 6.2. Gráfica obtenida

Del apartado anterior se puede intuir que para el ejemplo estudiado sí que es rentable llevar a cabo una instalación FV. Lo único que resta por hacer a

nuestra interfaz es proporcionar un gráfico que muestre de manera clara la rentabilidad o no rentabilidad de la instalación. Para ello, se accede a la última ventana de la aplicación tras pulsar en el botón “seleccionar tarifa” en la ventana precedente, “Elección de tarifas”, tras seleccionar la opción Octopus Energy vista en la figura 36 del apartado 5.11.

En dicha ventana se mostrará un gráfico comparativo de los costes acumulados a lo largo de los 25 años para ambos casos: con y sin instalación FV. Dicha gráfica mostrará además el año en el que se amortiza la instalación (cuando coste sin instalación empieza a ser mayor que coste con instalación), en caso de existir amortización. La ventana hará además un breve resumen del trabajo que se ha ido realizando, mostrando la potencia crítica que se necesitaba y la que se instaló finalmente.

En caso de que el coste final con instalación sea menor que el coste sin instalación, la ventana mostrará además el dinero total ahorrado durante esos 25 años, que es lo que más interesa al usuario. Si el año de amortización está entre 5 y 10 años, la instalación FV será rentable.

Para realizar la gráfica, se ha hecho uso de la biblioteca de Python Matplotlib para realizar un gráfico en 2 dimensiones de alta calidad.

Recordando los datos del ejemplo de demostración, sus datos eran:

- Ubicación: Calle Almela Costa (Paraje La Matanza, Fortuna, Murcia)
- Tipo de instalación: Tejado, largo: 15m, ancho: 5m, inclinación: 25°, orientación: 0° (sur).
- Opción seleccionada: opción barata, potencia mínima diaria necesaria: 2197W, potencia final diaria instalada: 2225W, precio de la instalación con mano de obra: 2665.64€.
- Tarifa seleccionada: Opción 1, Octopus Energy.

Para dicho ejemplo, el resultado final obtenido en la ventana final, llamada “Análisis de la Rentabilidad”, es el siguiente:

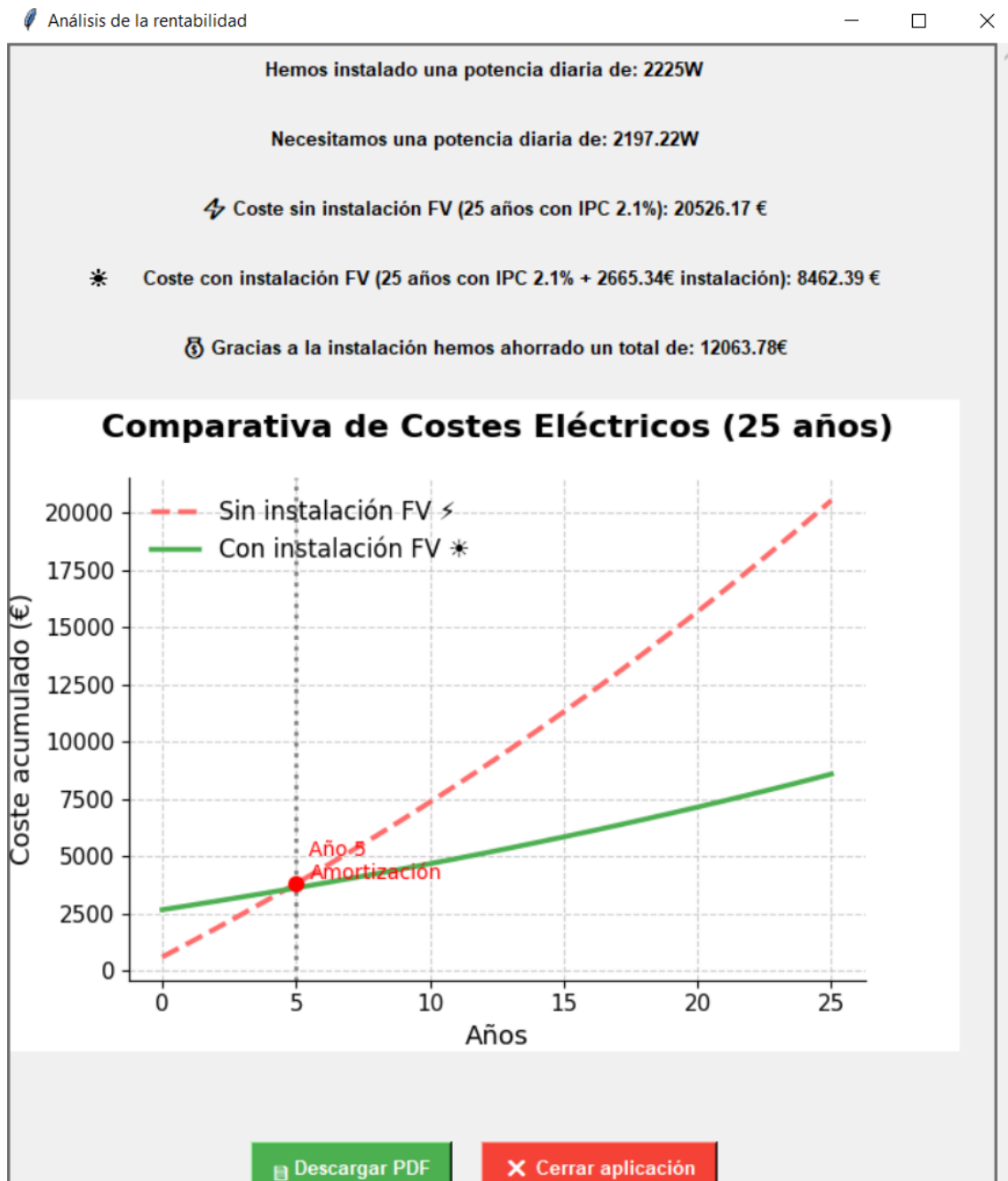


Fig. 47: Análisis de la rentabilidad de la instalación FV tomada como ejemplo  
Fuente propia, 15 de mayo de 2025

Observando la Fig. 47, podemos ver que realiza un breve resumen de la opción escogida por el usuario, indicando la potencia que necesitaba y la que finalmente ha instalado.

Como se puede observar también, los costes finales obtenidos en la gráfica de ejemplo concuerdan con los obtenidos en el apartado 5.12:

- Costes de la electricidad sin instalación FV para los próximos 25 años: 20526.17€
- Costes de la electricidad con instalación FV para los próximos 25 años, sumados a los 2665.64€ de la inversión realizada en el establecimiento de la instalación: 8462.39€.
- Lo que supone un ahorro de  $20526.17€ - 8462.39€ = 12063.78€$  durante esos 25 años.
- Con la instalación FV se reducen los gastos eléctricos en un  $100 - \frac{8462.39€ * 100}{20526.17€} = 58.77\%$  para los próximos 25 años.
- La instalación se amortiza en su quinto año de vida.

En la parte inferior de la aplicación se encuentran el botón “Descargar PDF” que permite descargar un archivo PDF en la ruta que decida el usuario, para poder acceder al resumen de su instalación sin tener que volver a iniciar la interfaz. A su derecha, el botón “Cerrar aplicación” permite cerrar la aplicación una vez que han obtenido ya los datos deseados.

Como conclusión en el ejemplo estudiado, se puede afirmar rotundamente que, para la ubicación, tejado y consumo mensual del usuario empleados, es rentable llevar a cabo una instalación FV. Esta conclusión viene validada por la interfaz gráfica desarrollada, “Mis Paneles FV”, al obtener una amortización del coste de la instalación en 5 años y unos ahorros en los costes de la electricidad de un 58.77% para los próximos 25 años.

## 7. CONCLUSIONES

La conclusión que se extrae con el desarrollo de este proyecto es que las energías renovables ya no son solo una opción de futuro, sino que actualmente ya están lo suficientemente desarrolladas como para adoptarlas en muchas situaciones de la vida cotidiana.

Siendo España el país que más radiación solar sufre de toda Europa, no es de extrañar que sea el líder en potencia instalada en energía solar de concentración (CSP) y solo superado por Alemania en términos de energía solar fotovoltaica.

Por esta razón, es importante concienciar a la población española de lo privilegiados que somos de tener tantas horas de sol al día y que aún puede ser mucho más aprovechada si cada ciudadano estudia la posibilidad de establecer una instalación FV en su vivienda o terreno.

El progreso en la mejora de la eficiencia de las células FV de silicio monocristalino, la creación de nuevas tecnologías como la PERC o la TOPCon y las nuevas leyes para la transición a las energías renovables suponen que el número de instalaciones FV seguirá aumentando a lo largo de todo el mundo.

El principal problema que se encontró a la hora de plantear este trabajo es que no había ninguna aplicación de uso sencillo que permitiera hacer un análisis de la rentabilidad de un sistema FV. Todas las opciones que aparecen Internet son de empresas del propio sector que buscan que contacten con ellas sin proporcionar precios antes de hablar con el usuario. Por esta razón era necesaria una aplicación que no buscara captar la atención del cliente, sino hacer saber al cliente si su vivienda o terreno es apto para instalar paneles solares. Gracias a la interfaz tan intuitiva y sencilla que se ha logrado desarrollar, cualquier persona sin conocimientos sobre el tema puede comprobar si le sale rentable llevar a cabo una instalación de este tipo o no. No obstante, debido a la gran dificultad que ha conllevado encontrar los precios de los paneles solares y los inversores, los precios obtenidos son una aproximación bastante exacta pero no del todo exacta. Una propuesta de mejora puede ser contactar con empresas del sector con el objetivo de informarse sobre los precios de mercado exactos.

En cuanto a las bibliotecas de Python utilizadas, siendo Tkinter la más importante de todas, se ha conseguido el objetivo de realizar la aplicación tan solo con las bibliotecas de código necesarias para su funcionalidad. Prueba de ello son las tan solo 1500 líneas de código que contiene una aplicación que contiene tantas funciones. Una mejora de cara al futuro que se ha encontrado es a la hora de que el usuario suba las facturas eléctricas, la aplicación lee todos los datos del PDF, pudiendo afectar a la privacidad del cliente. Por tanto, la aplicación podría haber incluido una opción para que el usuario subiera el consumo y precio de sus facturas de manera manual, en caso de que el usuario quisiera proteger sus datos. Pese a ello, los datos no son guardados por la aplicación en ningún servidor ni se utilizan para ningún fin más que analizar la rentabilidad de esa vivienda.

Por otro lado, también se ha cumplido el objetivo de mostrar los resultados del análisis de la rentabilidad de la instalación de manera gráfica y muy visual, incluyendo las curvas de costes para los casos con y sin instalación, el año de amortización de la instalación y el ahorro a lo largo de los 25 años de vida útil que tiene la instalación. Una posible actualización futura de la aplicación podría incluir un resumen final en PDF más amplio que el que proporciona actualmente, que no es más que una simple captura de pantalla de la pestaña final de la interfaz.

Finalmente, pese a que la aplicación ha sido probada y validada por personas cercanas, una línea futura es que hubiera sido probada por bastante más gente para realizar encuestas de satisfacción y poder realizar una autoevaluación sobre si se ha hecho un buen trabajo o no.

## 8. REFLEXIÓN Y VALORACIÓN PERSONAL

Antes de realizar este trabajo final de grado no sabía hasta que punto eran rentables las inmensas instalaciones FV que se ven por la carretera cuando vamos de viaje o los paneles situados en el tejado de las viviendas más modernas. Pensaba que estos sistemas serían tan caros que solo unos pocos se lo podrían permitir. Sin embargo, tras la realización de este trabajo he hecho el ejemplo para mi vivienda y la instalación sería amortizada en tan solo 6 años, que es mucho menos de lo que yo me pensaba.

En un planeta en el que vivimos tan afectado negativamente por la contaminación causada por el ser humano, la transición a las energías renovables no tiene marcha atrás. Las instalaciones de dichas energías (eólica, solares, hidráulicas, etc.) son cada vez más eficientes y menos costosas. Concretamente en España, siendo el país de Europa en el que más horas de sol hay, el número de instalaciones FV no hará más que crecer.

Me alegro mucho de haber escogido este tema para la realización de mi TFG porque la rama de las energías ha sido de mis favoritas durante estos 4 años de carrera universitaria. Si además se combina con la programación vía software para la realización de la aplicación, se tiene como resultado que pese a haber sido muchas, se me han pasado volando las horas mientras realizaba este proyecto.

No descarto en un futuro si me sale alguna oferta de trabajo en esta rama aceptarla, debido a que considero que pese a haber hecho este trabajo, aún me queda mucho por formarme, pero la base ya la tengo. Hasta llegar a este punto de la carrera de telecomunicaciones, tienes muchos conceptos en tu mente, pero no estás seguro de que significan. La realización de este trabajo más de investigación personal te hace darte cuenta de que todo lo estudiado con horas de esfuerzo ha merecido la pena, ya que aplicas todo lo aprendido para su realización. El hecho de haber aprendido sobre la materia, cumplido los objetivos del trabajo y ser capaz de realizar todas sus partes, me hacen sentir muy autorrealizado y que la valoración personal sea muy positiva.



## 9. REFERENCIAS

[ Solarstem, «Evolución de la instalación de placas solares en España,» 2024.  
1 [En línea]. Available: [https://solarstem.com/evolucion-de-la-instalacion-de-](https://solarstem.com/evolucion-de-la-instalacion-de-placas-solares-en-espana/)  
] [placas-solares-en-espana/](https://solarstem.com/evolucion-de-la-instalacion-de-placas-solares-en-espana/). [Último acceso: 10 febrero 2025].

[ D. P. Granados, «Energía solar térmica. Fundamentos, tecnologías y  
2 aplicaciones,» Marcombo, España, 2024.  
]

[ À. Valero, «Engel Energy,» 7 noviembre 2023. [En línea]. Available:  
3 [https://engelenergy.es/blog/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-](https://engelenergy.es/blog/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-solar/?_gl=1*2yh8pz*_up*MQ..*_ga*MTE2MDY2MTg4NS4xNzQ4OTYyNjc0*_ga_MTN26KBSRH*czE3NDg5NjI2NzQkbzEkZzEkdDE3NDg5NjI4NzMkajU5JGwwJGgw)  
] [solar/?\\_gl=1\\*2yh8pz\\*\\_up\\*MQ..\\*\\_ga\\*MTE2MDY2MTg4NS4xNzQ4OTYyNjc0\\*\\_ga\\_MTN26KBSRH\\*czE3NDg5NjI2NzQkbzEkZzEkdDE3NDg5NjI4NzMkajU5JGwwJGgw](https://engelenergy.es/blog/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-solar/?_gl=1*2yh8pz*_up*MQ..*_ga*MTE2MDY2MTg4NS4xNzQ4OTYyNjc0*_ga_MTN26KBSRH*czE3NDg5NjI2NzQkbzEkZzEkdDE3NDg5NjI4NzMkajU5JGwwJGgw). [Último acceso: 8 marzo 2025].

[ D. Nuevo, 9 abril 2024. [En línea]. Available: <https://www.tecpa.es/heliostato/>.  
4 [Último acceso: 7 marzo 2025].  
]

[ D. Nuevo, «Tecpa,» 24 septiembre 2024. [En línea]. Available:  
5 <https://www.tecpa.es/planta-termosolar-mas-grande/>. [Último acceso: 8  
] marzo 2025].

[ Repsol, 28 febrero 2023. [En línea]. Available:  
6 [https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/diferencias-](https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/diferencias-energia-solar-termica-y-fotovoltaica/)  
] [energia-solar-termica-y-fotovoltaica/](https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/diferencias-energia-solar-termica-y-fotovoltaica/). [Último acceso: 10 mayo 2025].

[ R.-M. M.A y C.-C. J.L, «El efecto fotoeléctrico,» 2006.  
7  
]

[ BBC News Mundo, «El "año milagroso" de Einstein en el que escribió 5  
8 estudios científicos que revolucionaron la física,» *BBC News*, p. 1, 16 marzo  
] 2025.

[ A. Beléndez, 2015. [En línea]. Available:  
9 <https://blogs.ua.es/fisicateleco/2015/11/28/einstein-1905/>. [Último acceso: 9  
] abril 2025].

[ J. González, «Insolac Renovables,» 14 mayo 2024. [En línea]. Available:  
1 <https://insolacrenovables.com/el-efecto-fotovoltaico/>. [Último acceso: 14  
0 marzo 2025].  
]

[ V. N. E. S. Aarón Segura, «Un análisis profundo del fenómeno dualidad  
1 onda,» *Latin-American Journal of Physics Education*, vol. 6, nº 1, pp. 137-142,  
1 2012.  
]

[ C. M. Rasero, 2011. [En línea]. Available:  
1 <https://www.eoi.es/sites/default/files/savia/documents/componente75553.pdf>.  
2 [Último acceso: 9 abril 2025].  
]

[ Latam Satelital, «Latam Satelital,» 10 julio 2017. [En línea]. Available:  
1 <https://latamsatelital.com/55-anos-telstar-1/>. [Último acceso: 15 marzo 2025].  
3  
]

[ P. S. Molina, «Global installed PV capacity tops 2 TW,» *PV magazine*, p. 1,  
1 noviembre 2024.  
4  
]

[ A. Bhambhani, «6 TW Global Solar PV Installed Capacity By 2030,» *Taiyang  
1 News*, 6 julio 2023.

5

]

[ M. C. López-Penabad, A. Iglesias-Casal, L. Rey-Ares y D. Quiñoy-Peña, 1 «Estado de la energía solar fotovoltaica y las comunidades energéticas en 6 España. Propuesta metodológica y algunos datos concluyentes,» de ] *Comunidades energéticas locales*, Madrid, Fundación Democracia y Gobierno Local, 2024, pp. 407-434.

[ P. R. Dorado, «Modificaciones en el Impuesto sobre el valor de la producción 1 de energía eléctrica y en el Impuesto sobre Hidrocarburos a través del Real 7 Decreto-ley 15/2018, de medidas urgentes para la transición energética y la ] protección de los consumidores,» *Carta tributaria. Revista de Opinión*, nº 45, p. 2, 2018.

[ G. NAP, «Energía solar fotovoltaica: aspectos generales,» de *Energía Solar 1 Fotovoltaica*, Madrid, Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación, 2007, 8 pp. 1-8.

]

[ Aquae Fundación, «Aquae Fundación,» 24 noviembre 2021. [En línea]. 1 Available: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/energia-solar-ventajas-9-desventajas/>. [Último acceso: 10 marzo 2025].

]

[ Iberdrola.com, 2021. [En línea]. Available: 2 <https://www.iberdrola.com/innovacion/celulas-fotovoltaicas-fotoelectronica>. 0 [Último acceso: 10 abril 2025].

]

[ A. L. D. Villarejo y M. L. García, « Las células fotovoltaicas como alternativa 2 energética,» de *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 1 España, Real Academia Nacional de Farmacia, 2009, pp. 355-373.

]

[ A. Sanchis, «Xataka,» 16 diciembre 2021. [En línea]. Available:  
2 [https://www.xataka.com/magnet/elementos-abundantes-corteza-terrestre-](https://www.xataka.com/magnet/elementos-abundantes-corteza-terrestre-2-ilustrados-detallado-)  
2 [ilustrados-detallado-](https://www.xataka.com/magnet/elementos-abundantes-corteza-terrestre-2-ilustrados-detallado-)

] grafico#:~:text=M%C3%A1s%20concretamente%2C%20el%20ox%C3%AD  
2 geno%20representa,metales%20b%C3%A1sicos%20y%20preciosos%20se.  
2 [Último acceso: 10 marzo 2025].

[ A. Blakers, «Development of the PERC Solar Cell,» *IEEE*, vol. 9 (3), pp. 629-  
2 635, mayo 2019.

3

]

[ G. N. Pereira, G. U. Rocha, M. B. d. Carmo, I. UtzigPicco, F. A. Bessegatto,  
2 C. V. d. R. Brandao y M. Bonetto, «TECNOLOGIAS DE CÉLULAS  
4 FOTOVOLTAICAS UTILIZADAS EM MÓDULOS COMERCIAIS E SUAS  
] PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS: UMA REVISÃO,» de *XCongresso  
2 Brasileiro de Energia Solar*, Natal, 2024 may. 27-31.

[ Maysun Solar, «Maysun Solar,» 1 diciembre 2023. [En línea]. Available:  
2 [https://www.maysunsolar.es/blog/paneles-solares-bifaciales-ventajas-y-](https://www.maysunsolar.es/blog/paneles-solares-bifaciales-ventajas-y-5-esenarios-de-instalacion-2024)  
5 [escenarios-de-instalacion-2024](https://www.maysunsolar.es/blog/paneles-solares-bifaciales-ventajas-y-5-esenarios-de-instalacion-2024). [Último acceso: 12 marzo 2025].

]

[ A. Muñoz, 11 junio 2020. [En línea]. Available:  
2 <https://solarfam.com/tecnologias-y-tipologias-de-paneles-fotovoltaicos/>.  
6 [Último acceso: 10 abril 2025].

]

[ A. Almerini, «Solar Reviews,» 9 noviembre 2023. [En línea]. Available:  
2 [https://www.solarreviews.com/es/blog/guia-completa-dimensiones-paneles-](https://www.solarreviews.com/es/blog/guia-completa-dimensiones-paneles-7-solares)  
7 [solares](https://www.solarreviews.com/es/blog/guia-completa-dimensiones-paneles-7-solares). [Último acceso: 15 marzo 2025].

]

[ BBVA, 10 enero 2025. [En línea]. Available:  
2 [https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-los-paneles-solares-como-](https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-los-paneles-solares-como-8)  
8 [funcionan-y-cual-es-su-futuro/](https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-los-paneles-solares-como-8). [Último acceso: 11 abril 2025].

]

[ I. Mártil, «Material Eléctrico,» 11 noviembre 2023. [En línea]. Available:  
2 [https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-](https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-9)  
9 [martil/2023/11/15/estructura-y-peculiaridades-de-los-paneles-fotovoltaicos-](https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-9)  
] [estandares](https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-9). [Último acceso: 22 marzo 2025].

[ R. Jayakrishnan y D. P. V. Shouri, «Optimum Monochromatic Wavelengths  
3 for Solar,» *Bonfring*, vol. 4, nº 2, pp. 18-24, mayo 2014.

0

]

[ C. H. Stuart Bowen, «Pv Education,» 2020. [En línea]. Available:  
3 <https://www.pveducation.org/pvcdrom/appendices/standard-solar-spectra>.  
1 [Último acceso: 27 marzo 2025].

]

[ Quantica, «Quantica,» 9 abril 2024. [En línea]. Available:  
3 [https://www.quanticarenovables.com/blog/como-entender-ficha-tecnica-](https://www.quanticarenovables.com/blog/como-entender-ficha-tecnica-2)  
2 [panel-solar/](https://www.quanticarenovables.com/blog/como-entender-ficha-tecnica-2). [Último acceso: 24 marzo 2025].

]

[ M. P. Aparicio, Energía solar fotovoltaica. Cálculo de una instalación aislada,  
3 3 ed., Barcelona: Marcombo, 2016.

3

]

[ P. F. G. Martín, Energía solar fotovoltaica para todos, 1 ed., Toledo:  
3 Marcombo, 2021.

4

]

[ Autosolar, «Autosolar,» 2025. [En línea]. Available:  
3 <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-significa-una-instalacion-5-fotovoltaica-con-conexion-a-red>. [Último acceso: 4 abril 2025].

]

[ Helio Esfera, «Helio Esfera,» 2 febrero 2022. [En línea]. Available:  
3 <https://www.helioesfera.com/comprobacion-de-los-parametros-electricos-del-6-inversor/>. [Último acceso: 4 abril 2025].

]

[ A. M. S. Shahd Fadhil Jaber, «Design and Simulation of a Boost-Microinverter  
3 for,» *Int. J. SMART GRID*, vol. 5, nº 2, pp. 94-102, junio 2021.

7

]

[ Autosolar, 2024. [En línea]. Available: <https://autosolar.es/estructura-paneles-3-solares>. [Último acceso: 8 mayo 2025].

8

]

[ Autosolar, 2024. [En línea]. Available: <https://autosolar.es/cables>. [Último  
3 acceso: 8 mayo 2025].

9

]

[ J. M. S. Ávila, J. R. Martín, C. J. Alonso, M. C. S. d. C. Escuin, J. M. Cadalso  
4 y M. L. Bartolomé, «Introducción,» de *Atlas de Radiación Solar en España*,  
0 España, AEMET, 2012, pp. 5-6.

]

[ PVGIS, «The Joint Research Centre: EU Science Hub,» 14 febrero 2025. [En  
4 línea]. Available: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-1-geographical-information-system-pvgis\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-1-geographical-information-system-pvgis_en). [Último acceso: 2025 abril 15].

]

[ Naturgy, «Naturgy,» 13 julio 2023. [En línea]. Available:  
4 [https://www.naturgy.es/hogar/blog/que\\_es\\_la\\_hora\\_solar\\_pico#:~:text=Para  
2 %20obtener%20la%20HSP%20tendr%C3%A1s,4.000%20%2F%201.000%2  
\] 0%3D%204%20horas.. \[Último acceso: 2025 abril 17\].](https://www.naturgy.es/hogar/blog/que_es_la_hora_solar_pico#:~:text=Para%20obtener%20la%20HSP%20tendr%C3%A1s,4.000%20%2F%201.000%20%3D%204%20horas..)

[ Damia Solar, «Damia Solar,» 13 noviembre 2023. [En línea]. Available:  
4 <https://www.damiasolar.com/blog/distancia-entre-paneles-solares>. [Último  
3 acceso: 24 abril 2025].

]

[ PVGIS, 2025. [En línea]. Available: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/).  
4 [Último acceso: 3 mayo 2025].

4

]

[ Energía solar fotovoltaica, Pliego de condiciones técnicas de Instalaciones  
4 Aisladas de Red, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía  
5 (IDAE), 2009.

]

[ Y. G. Y. B. N. Jayanta Deb Mondol, «Optimal sizing of array and inverter for  
4 grid-connected photovoltaic systems,» *Solar Energy*, vol. 80, nº 12, pp. 1517-  
6 1539, 2006.

]

[ HelioEsfera, «HelioEsfera,» 1 enero 2021. [En línea]. Available:  
4 [https://www.helioesfera.com/dependencia-de-la-temperatura-y-la-irradiancia-  
7 sobre-el-modulo-fotovoltaico/](https://www.helioesfera.com/dependencia-de-la-temperatura-y-la-irradiancia-sobre-el-modulo-fotovoltaico/). [Último acceso: 27 abril 2025].

]

[ Repsol, 2022. [En línea]. Available:  
4 [https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/cuantos-kwh-  
8 consume-casa/](https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/cuantos-kwh-consume-casa/). [Último acceso: 25 abril 2025].

]

[ BBVA, 15 abril 2024. [En línea]. Available: <https://www.bbva.com/es/salud-financiera/roi-que-es-el-retorno-de-la-inversion-y-cual-es-su-formula/>. [Último acceso: 28 abril 2025].

]

[ Ministerio para la Transición Ecológica, «Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.,» *BOE*, vol. 7, nº 83, abril 2019.

[ lucera, 2023. [En línea]. Available: <https://lucera.es/blog/cuanto-se-tarda-amortizar-placas-solares>. [Último acceso: 14 mayo 2025].

1

]

[ Amazon, 2025. [En línea]. Available: <https://aws.amazon.com/es/what-is/python/>. [Último acceso: 12 mayo 2025].

2

]

[ T. D. Mínguez, *Visión Artificial. Aplicaciones prácticas con OpenCV-Python*, 15 ed., España: Marcombo, S.L., 2021.

3

]

[ Python, 2025. [En línea]. Available: <https://docs.python.org/es/3.10/library/math.html>. [Último acceso: 2025 abril 12].

]

[ Python, «sqlite3 — DB-API 2.0 interfaz para bases de datos SQLite,» 8 de septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://docs.python.org/es/3.8/library/sqlite3.html>. [Último acceso: 12 mayo 2025].

## **10. ANEXOS**

### **10.1. Anexo 1. Fichas técnicas**

#### *10.1.1. Fichas técnicas módulos*

JaSolar-M72S20-MR440-465W:

# Harvest the Sunshine



**Mono**

## 470W MBB Half-Cell Module

JAM72S20 445-470/MR Series

### Introduction

Assembled with multi-busbar PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



Lower LCOE



Less shading and lower resistive loss

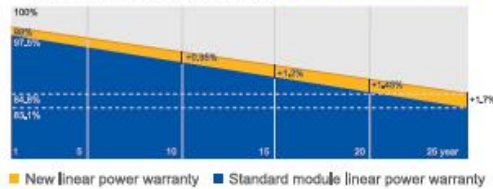


Better mechanical loading tolerance

### Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years



### Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval



# JASOLAR

[www.jasolar.com](http://www.jasolar.com)

Specifications subject to technical changes and tests, JA Solar reserves the right of final interpretation.





# Tiger Neo N-type 60HL4-(V) 460-480 Watt

MÓDULO MONOCRISTALINO

N-Type

Tolerancia positiva 0~+3%

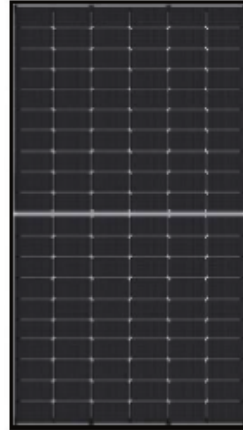
IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Sistema de gestión de la calidad

ISO14001:2015: Sistemas de gestión ambiental

ISO45001:2018

Sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo



## CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES



### Tecnología SMulti Busbar

La Tecnología SMBB aumenta la recolección de electrones, mejorando la potencia de producción del panel.



### Tecnología Hot 2.0

La tecnología Hot 2.0, garantiza mejores prestaciones y menor degradación LID/LeTID.



### Resistencia al PID

Excelente garantía de rendimiento Anti-PID, gracias al exhaustivo control de los materiales y a procesos de producción optimizados.



### Resistencia Mecánica Mejorada

Certificado para soportar cargas de viento (2400 pascales) y cargas de nieve (5400 pascales).

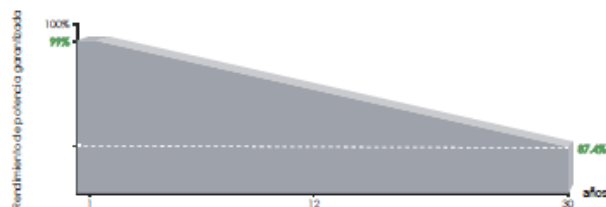


### Durabilidad contra condiciones ambientales extremas

Alta resistencia contra niebla salina y amoníaco con la certificación de TUV NORD



## GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL

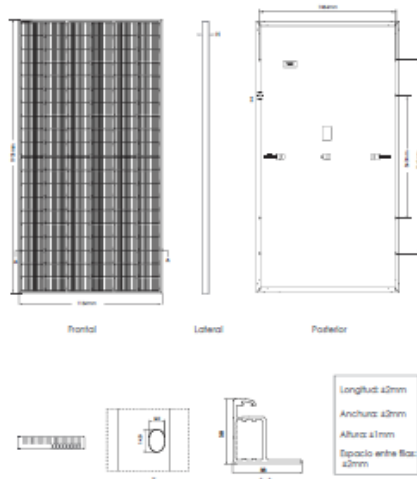


Garantía del producto de **12** años

Garantía de potencia lineal de **30** años

Degradación anual en un período de 30 años de **0,40 %**

## Diseño del módulo

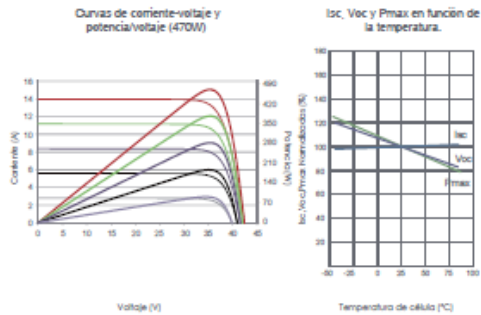


## Configuración del embalaje

( Dos palés = una pila )

36 unidades/Palés, 72 Unidades/pila, 864 unidades/contenedor de HQ de 40'

## Rendimiento eléctrico y dependencia con la temperatura



## Características mecánicas

Tipo de célula	N type Monocristalina
Cant. de células	120 (6x20)
Dimensiones	1903x1134x30mm (74.92x44.65x1.18 inch)
Peso	24.2 kg (53.35 lbs)
Vidrio frontal	3.2 mm, capa antirreflejante, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Estructura	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexiones	Clasificación IP68
Cables de salida	10V 1x4.0mm <sup>2</sup> , (+): 400 mm, (-): 200 mm o longitud personalizada

## ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JKM460N-60HL4		JKM465N-60HL4		JKM470N-60HL4		JKM475N-60HL4		JKM480N-60HL4	
	JKM460N-60HL4-V	JKM465N-60HL4-V	JKM465N-60HL4-V	JKM470N-60HL4-V	JKM470N-60HL4-V	JKM475N-60HL4-V	JKM475N-60HL4-V	JKM480N-60HL4-V	JKM480N-60HL4-V	
Potencia nominal (Pmax)	460Wp	346Wp	465Wp	350Wp	470Wp	353Wp	475Wp	357Wp	480Wp	361Wp
Tensión de máxima potencia-Vmpp	34.72V	33.60V	34.89V	32.77V	35.05V	32.94V	35.21V	33.10V	35.38V	33.27V
Corriente de máxima potencia-Imp (A)	13.25A	10.61A	13.33A	10.67A	13.41A	10.73A	13.49A	10.79A	13.57A	10.85A
Tensión en circuito abierto-Voc (V)	42.05V	39.94V	42.22V	40.10V	42.38V	40.25V	42.54V	40.41V	42.71V	40.57V
Corriente de cortocircuito-Isc (A)	13.99A	11.29A	14.07A	11.36A	14.15A	11.42A	14.23A	11.49A	14.31A	11.55A
Eficiencia del módulo (%)	21.32%		21.55%		21.78%		22.01%		22.24%	
Temperatura de operación (°C)	-40°C~+85°C									
Tensión máxima del sistema	1000/1500VDC (IEC)									
Valor máximo del fusible en serie	25A									
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~+3%									
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0.30%/°C									
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.25%/°C									
Coefficiente de temperatura de Isc	0.046%/°C									
Temperatura de operación nominal de la célula	45±2°C									

\*STC: ☀️ Irradiancia 1000W/m<sup>2</sup> 🌡️ Temperatura de la célula 25 °C ☁️ AM=1.5

NOCT: ☀️ Irradiancia 800W/m<sup>2</sup> 🌡️ Temperatura ambiente 20 °C ☁️ AM=1.5 🌪️ Velocidad del viento 1 m/s

Este documento es una traducción al español de la versión original en inglés. La versión original en inglés prevalece en caso de discrepancias entre el documento original y la traducción.

JKM460-480N-60HL4-[V]-F1-SP

Los datos mecánicos y eléctricos están sujetos a variaciones

## 10.1.2. Fichas técnicas inversores

SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1:

# Smart Energy Center



### Seguridad activa

Protección contra arcos eléctricos  
activa con tecnología de IA



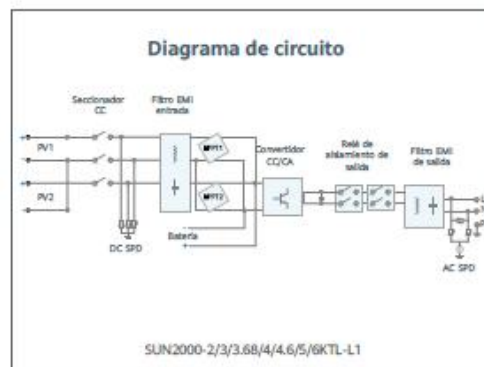
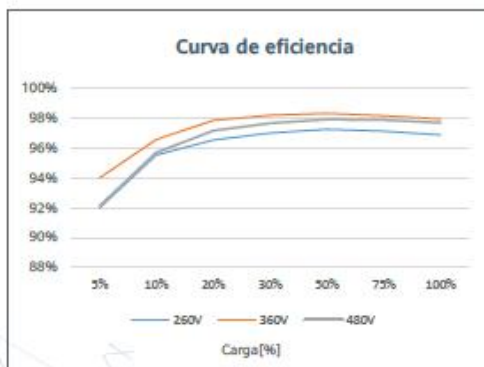
### Mayor rendimiento

Hasta un 30 % más de  
energía con optimizadores



### 2x POTENCIA de Batería

5kW de Salida en CA más  
5kW de Carga en Baterías



**SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1**  
**Especificaciones técnicas**

Especificaciones técnicas	SUN2000 -2KTL-L1	SUN2000 -3KTL-L1	SUN2000 -3.68KTL-L1	SUN2000 -4KTL-L1	SUN2000 -4.6KTL-L1	SUN2000 -5KTL-L1	SUN2000 -6KTL-L1 <sup>1</sup>
<b>Eficiencia</b>							
Eficiencia Máxima	98.2 %	98.3 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %
Eficiencia europea	96.7 %	97.3 %	97.3 %	97.5 %	97.7 %	97.8 %	97.8 %
<b>Entrada ( FV )</b>							
Entrada de CC máxima recomendada <sup>2</sup>	3,000 Wp	4,500 Wp	5,520 Wp	6,000 Wp	6,900 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp
Máx. tensión de entrada	600 V <sup>3</sup>						
Tensión de arranque	100 V						
Rango de tensión de operación de MPPT	90 V - 560 V <sup>3</sup>						
Tensión nominal de entrada	360 V						
Máx. intensidad por MPPT	12.5 A						
Máx. intensidad de cortocircuito por MPPT	18 A						
Cantidad de MPPTs	2						
Máx. número de entradas por MPPT	1						
<b>Entrada ( Batería CC )</b>							
Batería compatible	LG Chem RESU 7H_R / 10H_R						
Rango de tensión de operación	350 - 450 Vcc						
Máx. corriente de operación	10 A @7H_R / 15 A @10H_R						
Potencia de carga máxima	3,500 W @7H_R / 5,000 W @10H_R						
Potencia máxima de descarga @ 7H_R	2,200 W	3,300 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W
Potencia máxima de descarga @ 10H_R	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
Batería compatible	HUAWEI Smart ESS Battery 5kWh - 30kWh <sup>1</sup>						
Rango de tensión de operación	350 - 560 Vdc						
Máx. corriente de operación	15 A						
Potencia de carga máxima	5,000 W <sup>4</sup>						
Potencia máxima de descarga	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
<b>Salida</b>							
Conexión a la red eléctrica	Monofásica						
Potencia de salida nominal	2,000 W	3,000 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W	5,000 W <sup>5</sup>	6,000 W
Máx. potencia aparente de CA	2,200 VA	3,300 VA	3,680 VA	4,400 VA	5,000 VA <sup>6</sup>	5,500 VA <sup>7</sup>	6,000 VA
Tensión nominal de Salida	220 Vac / 230 Vac / 240 Vac						
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz						
Máx. intensidad de salida	10 A	15 A	16 A	20 A	23 A <sup>8</sup>	25 A <sup>8</sup>	27.3 A
Factor de potencia ajustable	0.8 leading ... 0.8 lagging						
Máx. distorsión armónica total	≤ 3 %						
Salida para SAI	Sí (a través de Backup Box-80 <sup>1</sup> )						
<b>Protección &amp; Características</b>							
Protección anti-isa	Sí						
Protección contra polaridad Inversa de CC	Sí						
Monitorización de aislamiento	Sí						
Protección contra descargas atmosféricas CC	Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11						
Protección contra descargas atmosféricas CA	Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11						
Monitorización de la corriente residual	Sí						
Protección contra sobreintensidad de CA	Sí						
Protección contra cortocircuito de CA	Sí						
Protección contra sobretensión de CA	Sí						
Protección contra sobrecalentamiento	Sí						
Protección de falla de arco	Sí						
Carga Inversa de la batería desde la red	Sí						
<b>Datos generales</b>							
Rango de temperatura de operación	-25 - +60 °C						
Humedad relativa de operación	0 %RH - 100 %RH						
Altitud de operación	0 - 4,000 m (disminución de la capacidad eléctrica a partir de los 2000 m)						
Ventilación	Convección natural						
Pantalla	Indicadores LED; WLAN integrado + aplicación FusionSolar						
Comunicación	RS485, WLAN a través del módulo WLAN incorporado en el Inversor Ethernet a través de Smart Dongle-WLAN-FE (Opcional); 4G / 3G / 2G a través de Smart Dongle-4G (Opcional)						
Peso (Incluido soporte de montaje)	12.0 kg						
Dimensiones (Incluido soporte de montaje)	365mm * 365mm * 156 mm						
Grado de protección	IP65						
Consumo de energía durante la noche	< 2,5 W						
<b>Compatibilidad con optimizadores</b>							
Optimizador compatible con MBUS CC	SUN2000-450W-P						
<b>Cumplimiento de estándares (más opciones disponibles previa solicitud)</b>							
Seguridad	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2						
Estándares de conexión a red eléctrica	G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116						

<sup>1</sup> Disponible en Q3 del 2020.  
<sup>2</sup> La potencia fotovoltaica de entrada máxima del Inversor es de 10,000 Wp cuando las cadenas largas se diseñan y conectan al completo de optimizadores de potencia SUN2000-450W-P.  
<sup>3</sup> El límite máximo de tensión de entrada y de operación se reducirán a 400 V cuando el Inversor se conecta y funciona con la batería LG.  
<sup>4</sup> 4.2500 W en las baterías HUAWEI ESS de 519Wh  
<sup>5</sup> AS4777.2-4.961W \* 6. VDE-AR-N 4103:4.600VA / AS4777.2-4.999VA \* 7. AS4777.2-4.999VA / C10/11-5.000VA \* 8. AS4777.2-21.7A.  
 Versión No.03-(20200622) SOLAR.HUAWEI.COM/ES/

SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1 (High Current Version):

# Smart Energy Controller SUN2000-3-10KTL-M1 (High Current Version)



### Active Safety

AI Powered  
Active Arcing Protection



### Higher Yields

Up to 30% More Energy  
with Optimizer<sup>1</sup>



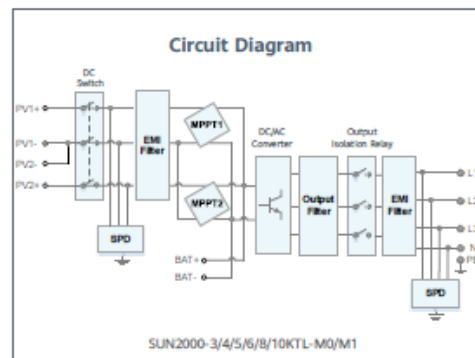
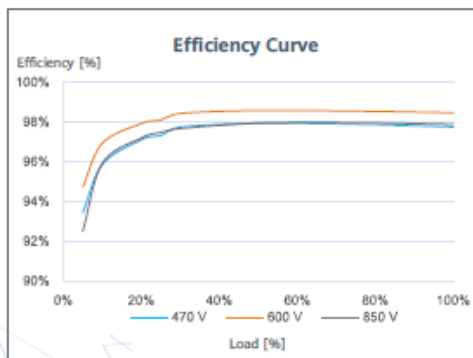
### Battery Ready

Plug & Play battery interface<sup>2</sup>



### Flexible Communication

WLAN, Fast Ethernet, 4G  
Communication Supported



<sup>1</sup> Only applicable to SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1 smart energy center.  
<sup>2</sup> SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-MQ will be compatible with HUAWEI smart string ESS in Q1, 2021

SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1 (High Current Version)  
**Technical Specification**

Technical Specification	SUN2000 -3KTL-M1	SUN2000 -4KTL-M1	SUN2000 -5KTL-M1	SUN2000 -6KTL-M1	SUN2000 -8KTL-M1	SUN2000 -10KTL-M1
<b>Efficiency</b>						
Max. efficiency	98.2%	98.3%	98.4%	98.6%	98.6%	98.6%
European weighted efficiency	96.7%	97.1%	97.5%	97.7%	98.0%	98.1%
<b>Input (PV)</b>						
Recommended max. PV power <sup>1</sup>	4,500 Wp	6,000 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp	12,000 Wp	15,000 Wp
Max. input voltage <sup>2</sup>	1,100 V					
Operating voltage range <sup>3</sup>	140 V – 980 V					
Start-up voltage	200 V					
Rated input voltage	600 V					
Max. input current per MPPT	13.5 A					
Max. short-circuit current	19.5 A					
Number of MPP trackers	2					
Max. input number per MPP tracker	1					
<b>Input (DC Battery)</b>						
Compatible Battery	HUAWEI Smart String ESS 5kWh – 30kWh					
Operating voltage range	600 V – 980 V					
Max operating current	16.7 A					
Max charge Power	10,000 W					
Max discharge Power	3,300 W	4,400 W	5,500 W	6,600 W	8,800 W	10,000 W
<b>Output (On Grid)</b>						
Grid connection	Three-phase					
Rated output power	3,000 W	4,000 W	5,000 W	6,000 W	8,000 W	10,000 W
Max. apparent power	3,300 VA	4,400 VA	5,500 VA	6,600 VA	8,800 VA	11,000 VA <sup>4</sup>
Rated output voltage	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 3W / N+PE					
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz					
Max. output current	5.1 A	6.8 A	8.5 A	10.1 A	13.5 A	16.9 A
Adjustable power factor	0.8 leading – 0.8 lagging					
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %					
<b>Output (Off Grid)</b>						
Backup Box	Backup Box – B1					
Maximum apparent power	3,000 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA
Rated output voltage	220 V / 230 V					
Maximum output current	13.6 A	15 A	15 A	15 A	15 A	15 A
Power factor range	0.8 leading – 0.8 lagging					
<b>Features &amp; Protections</b>						
Input-side disconnection device	Yes					
Anti-islanding protection	Yes					
DC reverse polarity protection	Yes					
Insulation monitoring	Yes					
DC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11					
AC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11					
Residual current monitoring	Yes					
AC overcurrent protection	Yes					
AC short-circuit protection	Yes					
AC overvoltage protection	Yes					
Arc fault protection	Yes					
Ripple receiver control	Yes					
Integrated PID recovery <sup>5</sup>	Yes					
Battery reverse charging from grid	Yes					
<b>General Data</b>						
Operating temperature range	-25 – + 60 °C (-13 °F – 140 °F)					
Relative operating humidity	0 %RH – 100 %RH					
Max. operating altitude	4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 2000 m)					
Cooling	Natural convection					
Display	LED Indicators; Integrated WLAN + FusionSolar App					
Communication	RS485; WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE; 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)					
Weight (incl. mounting bracket)	17 kg (37.5 lb)					
Dimension (incl. mounting bracket)	525 x 470 x 146.5 mm (20.7 x 18.5 x 5.8 inch)					
Degree of protection	IP65					
Nighttime Power Consumption	< 5.5 W <sup>6</sup>					
<b>Optimizer Compatibility</b>						
DC MBUS compatible optimizer	SUN2000-450W-P					
<b>Standard Compliance (more available upon request)</b>						
Certificate	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2, IEC 62116					
Grid connection standards	G98, G99, EN 50438, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, NRS 097-2-1, IEC61727, IEC62116, DEWA					

<sup>1</sup> Inverter max input PV power is 20,000 Wp when long strings are designed and fully connected with SUN2000-450W-P power optimizers.

<sup>2</sup> The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.

<sup>3</sup> Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating. \*4 C10 / 11: 10,000 VA

<sup>5</sup> SUN2000-3-10KTL-M1 raises potential between PV- and ground to above zero through integrated PID recovery function to recover module degradation from PID. Supported module types include P-type (mono, poly).

<sup>6</sup> < 5.5 W when PID recovery function is activated.