

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA
SOSTENIBLE

TRABAJO FIN DE MASTER

DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA INDUSTRIAL



Estudiante: Cano Marquina, Álvaro

Director/Directora: Idoeta Hernandorena, Raquel

Curso: 2022-2023

Fecha: Vitoria, 17, septiembre, 2023

Contenido

OBJETO, ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN	2
RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Historia de la energía solar fotovoltaica	6
1.2. Tipos de sistemas fotovoltaicos	7
2. MIX ENERGÉTICO.....	10
2.1. Producción Mundial	10
2.2. Producción de paneles	11
2.3. Producción España y mix energético	12
3. BENEFICIOS ENERGÍA FOTOVOLTAICA	16
3.1. Beneficios ambientales	16
3.2. Beneficios económicos.....	16
3.3. Beneficios sociales.....	16
4. ACTUALIDAD Y FUTURO	18
4.1. Actualidad	18
4.2. Futuro	19
5. NORMATIVA	20
5.1. Sistemas Autónomos.....	21
5.2. Sistemas de autoconsumo	21
5.3. Centrales fotovoltaicas.....	21
6. BASES DEL PROYECTO	22
6.1. Datos de la instalación	22
7. DIMENSIONAMIENTO	24
7.1. Procedimiento.....	24
7.2. Consumos.....	25
7.3. Irradiancia e irradiación	26
7.4. Selección de módulos fotovoltaicos.....	29
7.5. Disposición de módulos fotovoltaicos	31
7.6. Cálculos ambientales.....	36
8. COSTES	38
9. DIAGRAMA DE GANTT.....	40
10. CONCLUSIONES	42
11. BIBLIOGRAFÍA	43

OBJETO, ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN

OBJETO

El objetivo principal de este proyecto es el diseño y dimensionamiento de una instalación fotovoltaica para una instalación industrial situada en la provincia de Álava.

ALCANCE

El ámbito de aplicación de este proyecto es exclusivo para el diseño, estudio y dimensionamiento del proyecto fotovoltaico desarrollado para la instalación industrial del presente proyecto.

JUSTIFICACIÓN

Este trabajo surge de la necesidad por parte de la entidad promotora de mejorar los indicadores energéticos, ya que la mayoría de energía consumida es la eléctrica. Fruto de esta necesidad, se diseña la propuesta fotovoltaica para la instalación industrial de estudio.

RESUMEN

El objeto del proyecto que se desarrolla a continuación es el diseño y dimensionamiento de una instalación fotovoltaica para una instalación industrial situada en la provincia de Álava.

El objetivo principal será encontrar el diseño óptimo de los paneles fotovoltaicos, consiguiendo la mejor relación precio-producción para obtener un autoconsumo real.

Previamente al comienzo del dimensionamiento de la instalación, se estudia la historia de la energía fotovoltaica y la actualidad de producción energética, tanto a nivel mundial como a nivel nacional. A su vez, se detallan los diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos según sus propiedades y componentes y la normativa a seguir en cada uno de ellos.

El proceso de diseño comienza con el estudio de la potencia solar recibida en la zona de la instalación. A continuación, se seleccionan los paneles y se estudia la energía que se puede generar con ellos. Seguidamente, se estudia el número de paneles necesarios y su posición en la cubierta de la instalación. Por último, se calcula el presupuesto de la instalación y la amortización de esta.

Palabras clave: Fotovoltaica, Renovable, Industria, Energía.

Projektu honen helburua Arabako probintzian kokatutako instalazio industrial baterako instalazio fotovoltaiko baten disenua eta dimentsionamenduaren garapena da.

Helburu Nagusia eguzki-panel fotolvotaikoen diseinurik hoberena aurkitzea izango da, autokontsumo erreal bat eskuratzeko, prezioaren eta ekoizpenaren arteko erlazorik onena lortuz.

Instalazioaren dimentsionamendua garatzen hasi aurretik, energía fotovoltaikoaren historia eta ekoizpen energetikoaren gaurkotasuna azaltzen da, nazioarteko mailan zein maila nazionalean. Era berean, sistema fotovoltaiko desberdinak zehazten dira, haien ezaugarrien, osagarrien eta dagokien araudiaren arabera sailkatuz,

Diseinuaren prozesua instalazioaren eremuan jasotzen den eguzki potentziaren azterketarekin hasten da. Ondoren, eguzki-panelak hautatzen dira eta haiekin sor daitekeen energía aztertzen da. Jarraian, beharrezkoa den eguzki-panelen kopurua aztertzen da eta instalazioaren azalean izan behar duten kokapena ere. Azkenik, instalazioaren aurrekontua kalkulatu da eta bere amortizazioa ere.

Hitz gakoak: Fotovoltaiko, Berriztagarri, Industria, Energia.

The aim of the Project developed below is to design and measure of a photovoltaic installation located in Álava.

The main objective is to find de optimum design of the photovoltaic panels to get the best Price-production relationship and to achieve a real self-consumption.

Previously to the beginning of the design process, the project starts with the photovoltaic energy history and the production both globally and local in the national territory. In turn, the next step is to itemize different types of photovoltaic systems, properties, components and regulations.

The design process starts with solar capacity in the installation zone. Next, the photovoltaic panels are selected and the project study the energy that they can generate. Then, the minimum panels number in its position in the roof is studied. Finally, the process obtains the cost of the installation and the depreciations linked to those costs.

Keywords: Fotovoltaica, Renovable, Industria, Energía.

1. INTRODUCCIÓN

El Sol es la fuente que mayor energía emite sobre Tierra pese a la gran distancia que los separa. Aproximadamente, llegan a la tierra cada día 173.000 TW, de los cuales un 30% se disipan en la atmósfera por dispersión, absorción y reflexión. Actualmente, en la Tierra se consumen unos 16TW diarios, es decir, un 0.009% de la energía recibida del sol. Esto da a entender que el sol es prácticamente una fuente de energía inagotable.

(Montesinos, 2022)

La radiación emitida por el sol se mide en la superficie horizontal, recogida como unidad de potencia en vatios por metro cuadrado(W/m^2)

Según la forma en que esta radiación llega a la Tierra, se diferencian tres tipos:

- Directa: Radiación que traspasa la atmósfera y llega a la superficie de la tierra sin sufrir dispersión en su trayectoria.
- Difusa: Radiación que traspasa la atmósfera y llega a la superficie de la tierra con dispersión en su trayectoria.
- Reflejada: Radiación que es reflejada por la propia superficie de la Tierra.

(Iberdrola, 2023)

1.1. Historia de la energía solar fotovoltaica

Desde la Antigüedad, se ha utilizado el sol como fuente de energía. Aproximadamente, desde 400 años antes del nacimiento de Cristo, los griegos orientaban sus casas en función de los rayos solares que recibían. Los Romanos implementaron el uso del vidrio en las ventanas para lograr retener el calor en casas y centros de reunión y aprovechar la luz.

Por otra parte, se ha utilizado la energía solar como arma ya que se implementaron espejos que concentraban la luz en un punto para hundir embarcaciones enemigas. Esta aplicación desarrollada por Arquímedes fue perfeccionada por Lavoisier quien, en 1792, creó su horno solar para la fundición de metales.

(DPVEnergy, 2023)

Más tarde, esta misma aplicación fue utilizada en instalaciones desalinizadoras en Chile, desarrolladas por Charles Wilson en 1874.

En 1865, Auguste Mouchout creó un mecanismo para generar vapor que permitía convertir la energía procedente del sol en energía mecánica.

(Planas, 2020)

Pero no fue hasta 1877, cuando W. G. Adams y R.E. Day crearon la primera fotocélula a partir del Selenio. Este invento fue desarrollándose y en 1954, los laboratorios Bell, lograron fabricar células más eficientes sustituyendo el Selenio por el Silicio. Este cambio de material y concepto permitió utilizar la energía generada por las células para mover pequeños aparatos eléctricos.

La primera aplicación real de los módulos fotovoltaicos fue dar energía eléctrica a los satélites puestos en órbita alrededor de la Tierra. En 1958, la NASA lanzó un satélite alimentado por células solares.

Es a partir de los años 70, cuando se empieza a considerar la aplicación masiva de esta tecnología.

(Sebastian, 2022)

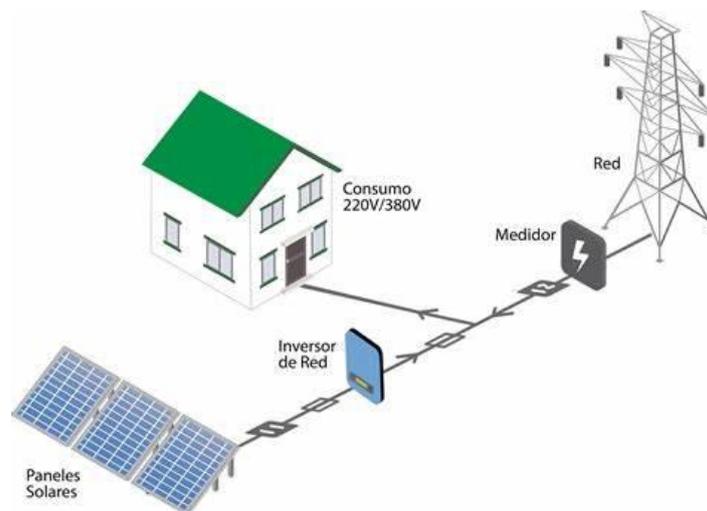
1.2. Tipos de sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos convencionales se distinguen generalmente por la manera de conexión o no a la red.

Existen tres tipos de sistemas:

Sistemas conectados a red

También llamados “On-grid” o de autoconsumo, son sistemas que están conectados a la red pública de corriente alterna. La energía recibida por los paneles fotovoltaicos es convertida a corriente continua. A través de su paso por el convertidor, se transforma la corriente continua en corriente alterna, con la misma frecuencia que la de la red pública. Es el convertidor el que asegura que la energía recibida por la red tenga la calidad adecuada.



Fuente: Woodmart

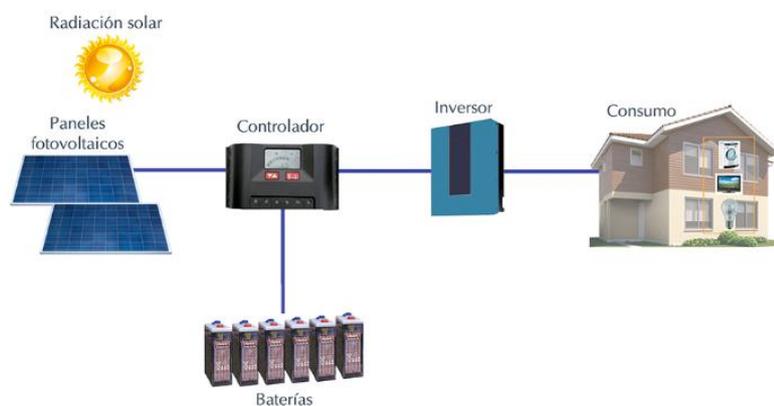
Estos sistemas son los más adecuados para instalaciones industriales, siempre que se tenga conexión a red. A su vez, su vida útil suele superar los 35 años, por lo que la inversión realizada se recupera mucho antes de finalizar su vida útil.

Es este tipo de sistemas el que se estudia en el presente proyecto.

Sistemas Aislados

También llamados “Off-grid” o autónomos, son sistemas aislados sin conexión a red. Su funcionamiento es igual que los conectados a red. La energía recibida por los paneles fotovoltaicos es convertida a corriente continua. A través de su paso por el convertidor, se transforma la corriente continua en corriente alterna.

Estos sistemas tienen baterías, ubicadas antes del convertidor, que almacenan la energía recibida por los paneles para su uso posterior.



Fuente: Woodmart

En estas instalaciones son más costosas debido al coste del pack de baterías necesarias. Sin embargo, pueden proporcionar energía en las horas nocturnas o en días más nublados.

El uso de estos sistemas se recomienda para zonas sin conexión a red o donde la interrupción de la radiación solar sea constante.

Sistemas Híbridos

En estos sistemas, la generación de energía fotovoltaica se integra con otras fuentes de energía, como un generador de combustible, geotermia, red eléctrica...

La diferencia con los anteriores es que el convertidor también funciona como cargador de las baterías, que aprovecha la energía de las demás fuentes para cargarlas. Esto se debe a que puede convertir corriente continua en alterna y viceversa.

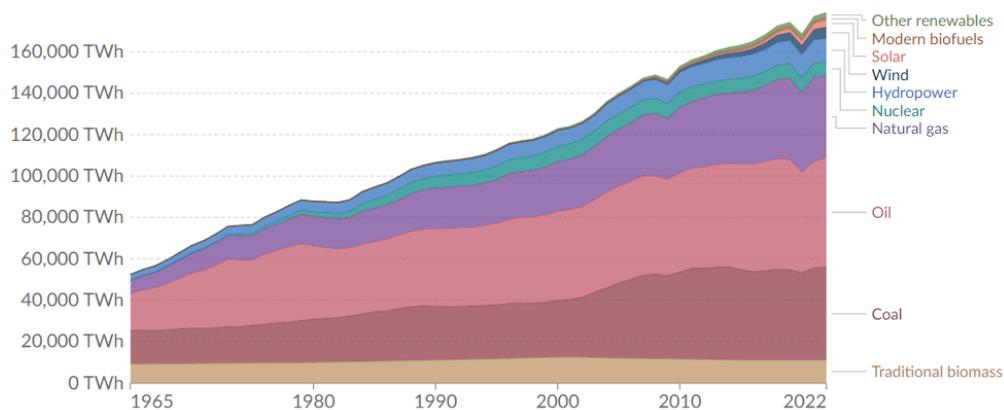
(KPNEnergy, 2022)

(Solarama, 2019)

2. MIX ENERGÉTICO

2.1. Producción Mundial

Las energías renovables suponen un método efectivo para reducir los gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático que se está produciendo en nuestro planeta. Sin embargo, la producción global crece de manera exponencial, destacando el uso de fuentes de energía convencionales.



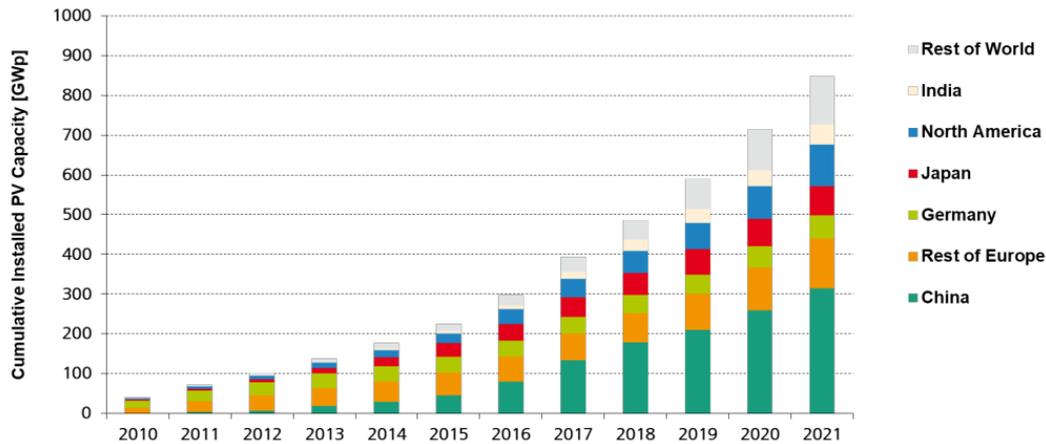
Fuente: (Smil, 2023)

Actualmente, las energías renovables suponen menos de un 20% en el mix energético global, destacando entre todas ellas la energía hidráulica, con un 6,3 % del mix global. La energía eólica supone un 3% y la solar solo un 2%.

Según el IRENA, la Agencia Internacional de Energía Renovable, a finales de 2021, estaban instalados mundo unos 848 GWp de generación de energía fotovoltaica, siendo el 37% instalaciones chinas. Seguidamente se encuentra Europa con el 22% y Estados Unidos con el 12%.

A finales de 2022, la potencia instalada ya superaba los 1000 GWp.

(IRENA, 2022)



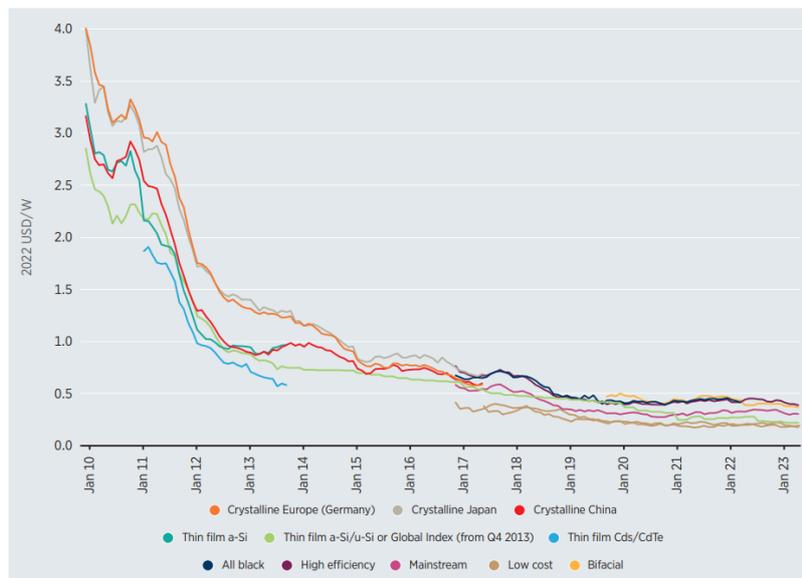
Fuente: (Fraunhofer, 2023)

2.2. Producción de paneles

En las instalaciones fotovoltaicas instaladas el mayor coste proviene de los módulos fotovoltaicos instalados. Por eso, la tecnología de este campo trabaja para mejorar la eficiencia de los módulos a la vez que trata de reducir el precio de estos.

Entre los años 2009 y 2022, los módulos de silicio han ido reduciendo su precio, hasta llegar a un acumulado de aproximadamente 90% de reducción.

Es cierto que entre 2021 y 2022, el coste de los paneles ha crecido ligeramente por la crisis ocasionada por la COVID-19. Sin embargo, este pico se ha suavizado.

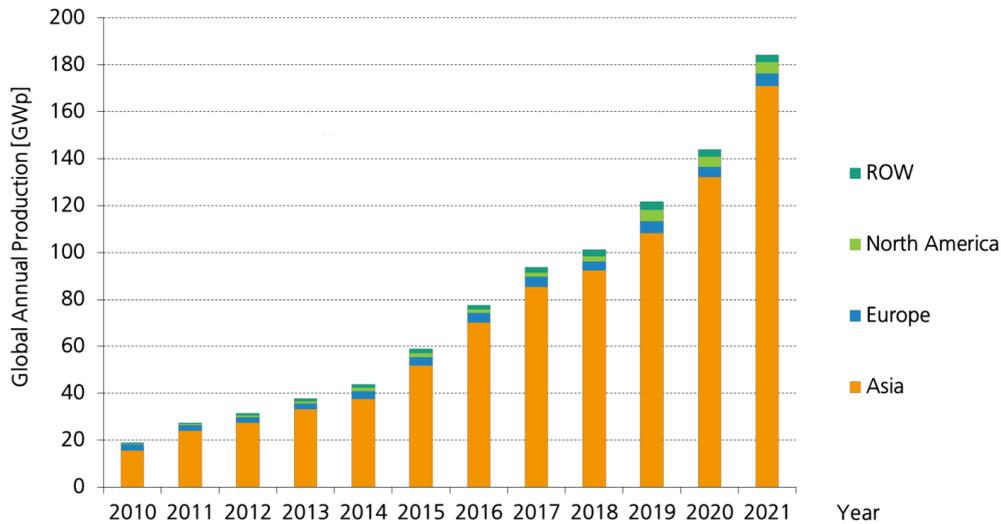


Fuente: (IRENA, 2022)

Referente a los costes, en los últimos cinco años se ha producido una reducción del 35% en los módulos e instalaciones electrónicas.

(IRENA, 2022)

La producción de paneles fotovoltaicos está concentrada en el continente asiático, donde se fabrica el 94% de toda la producción mundial.



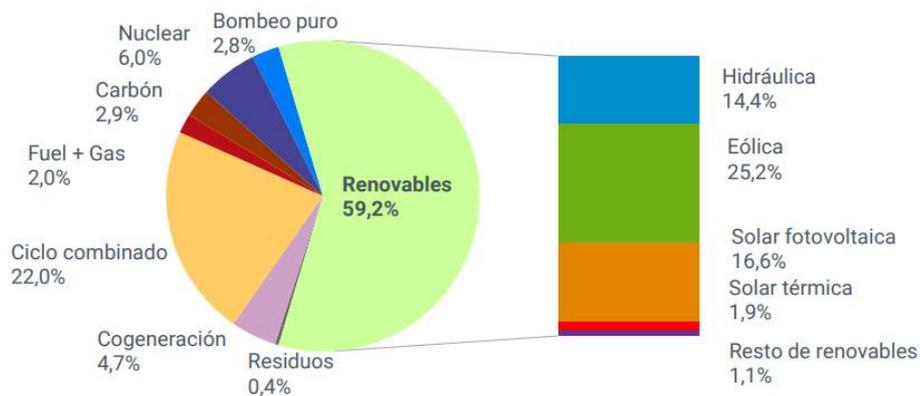
Fuente: (IRENA, 2022)

China es el país que más produce en todo el mundo, copando el 75% de esta producción. Estados Unidos y Canadá ocupan un 3% de la producción y Europa solo un 1%. Fuente: IEA

La producción mundial se ha incrementado en casi un factor de 10 en once años (2010-2021), siendo China el productor de 138GWp de módulos fotovoltaicos

2.3. Producción España y mix energético

En 2021 en España estaban instalados unos 70.500MW en fuentes de energía renovable, más de la mitad de la potencia instalada total, con los que se produjeron el 40% de la generación total. Esta proporción crece con los años, incrementándose en 9 puntos respecto al año 2021, lo que supone un 59% del parque de generación español.



Fuente: (REE, 2023)

Este incremento se debe principalmente al aumento de instalación de parques fotovoltaicos, que han supuesto más de un 75% de la nueva potencia instalada. Actualmente, la potencia solar fotovoltaica es la tercera fuente de generación del parque del país, situándose por detrás del ciclo combinado (22%) y de la energía eólica (25.2%).

(REE, 2023)

Hasta llegar a este porcentaje total de energía renovable, el desarrollo del parque energético español ha ido evolucionando a lo largo de los años.

Evolución en España

En el año 1984, se instala el primer aerogenerador en España, con una potencia de 15kW. A su vez, se coloca la primera instalación fotovoltaica, con una potencia de 100 kW. (Barrero, 2023)

En 1986 se aprueba el primer plan de energías renovables para la instalación de 3MW de potencia. En el año 1997 se crea la ley 54/1997 del sector eléctrico y en 1998 el RD 2818/1998 sobre producción eléctrica, cuando se empieza a promocionar la energía eléctrica.

Gracias a las diferentes normativas que favorecían la instalación de parques fotovoltaicos, los objetivos de producción marcados para 2010, se cumplieron tres años antes. Esto provocó que el crecimiento fuera poco sostenible, lo que obligó al Gobierno de España a limitar las primas de producción (RD 1578/2008, estableciendo una fecha límite para el acceso a las mismas. Este RD provocó aún mayor crecimiento, llegando hasta los 2.7 GW en 2008. *Ayer y hoy de la energía fotovoltaica en España*

En el año 2011 se crea el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER), debido a la directiva establecida por el Parlamento Europeo (2009/28/CE) (España, 2010)

En 2014 se creó un sistema de remuneración retroactivo al sector renovable menos agresivo, lo que provocó una reducción de la inversión en este campo. La potencia instalada en ese momento era de solo 5MW.

A partir de 2018, la reducción de costes y los objetivos de transición energética, provocaron el inicio del nuevo crecimiento de la energía renovable en Europa. Cabe destacar, que es en 2018 cuando se deroga el "impuesto al sol", que establecía un peaje aplicado a la generación de energía mediante el uso de instalaciones fotovoltaicas.

(Ojeda, 2022)

En 2019 había en España 10 GW de potencia instalada, situándose en quinta posición en la instalación de nueva capacidad fotovoltaica, por detrás de China, Estados Unidos, India y Japón. Es en este año cuando la potencia instalada de energías renovables supera al resto de fuentes de energía, llegando a casi 7 GW.

En 2020 se crea el Plan Nacional de Energía y Clima PNIEC (2021-2030). En este año, el parque fotovoltaico supone un 6,3% de la estructura de generación nacional. Cabe destacar, que se produce un crecimiento de casi el 70%, llegando hasta los 11,5 GW de potencia. *Ayer y hoy de la energía fotovoltaica en España*

En el año 2021, la potencia fotovoltaica instalada asciende hasta los 15 GW (8% de toda Europa)

En 2022, el parque fotovoltaico español generó el 11% del total de la demanda nacional, creciendo hasta el 15% en 2023. Este dato no incluye el autoconsumo, el cual llega hasta los 5.249 MW.

(Barrero, 2023)

Hoy en día, un total de 73.500 MW de potencia instalada corresponden a fuentes de energía renovables, lo que supone un 60% del total. Este dato proporciona a España la segunda posición en Europa en potencia renovable instalada, solo por detrás de Alemania. Además, es el tercero en energía solar y el séptimo en energía eólica.

La energía solar fotovoltaica supone un 30% dentro de las energías renovables y un 18% dentro del mix energético total, con 22.400MW.

Cabe destacar que, el 17 de mayo de 2023, las energías renovables superaron por primera vez el 100% de la generación de electricidad.

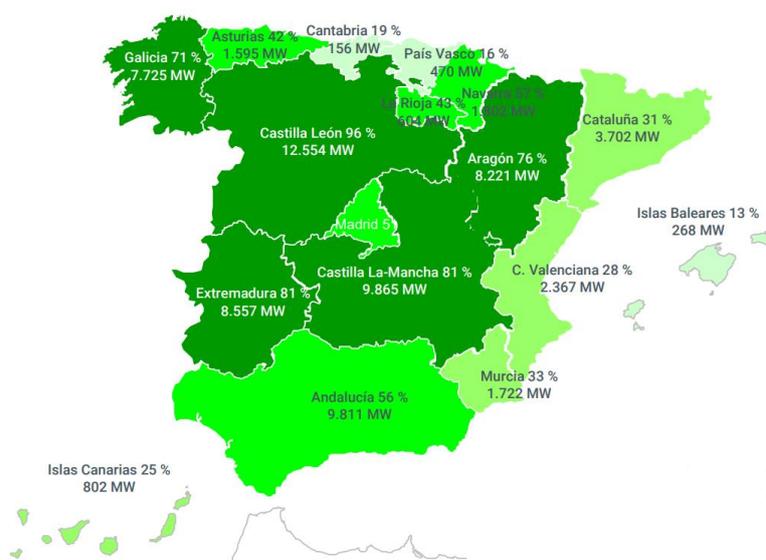
División territorial

En cuanto a la división por territorios, Castilla y León es la comunidad autónoma con mayor generación renovable del país. En esta comunidad están instalados 12554 MW verdes, lo que supone un 96% de su parque. Cabe destacar que en Europa, solo está por detrás de Noruega (98,6%) en porcentaje.

(REE, 2023)

En cuanto a energía fotovoltaica, Castilla y León es menos relevante que otras comunidades. Sin embargo, está instalado el 7% de la potencia nacional y, en 2022, se produjeron casi 2 millones de MWh.

(LOSTAU, 2023)



Fuente: (REE, 2023)

3. BENEFICIOS ENERGÍA FOTOVOLTAICA

3.1. Beneficios ambientales

El principal beneficio ambiental de la energía fotovoltaica es que es una fuente de energía renovable. Con esta energía, se evita la emisión de CO₂ a la atmósfera.

Según la UNEF, cada año se evita la emisión de 2.718.982 Toneladas de CO₂ equivalente a la atmósfera con las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo. Actualmente, el 80% de lo que se emite a la atmósfera procede de la generación de energía eléctrica con fuentes no renovables.

(UNEF, 2023)

Este cálculo de ahorro se realiza en el apartado de Cálculos ambientales.

Otro de los principales beneficios ambientales de la energía fotovoltaica es que es inagotable, ya que la vida del sol es de varios millones de años más,

Por otra parte, es una energía silenciosa, por lo que constituye una opción excelente para cascos urbanos y poblaciones.

3.2. Beneficios económicos

Existen también ciertos beneficios económicos que proporciona la energía fotovoltaica.

No requieren un mantenimiento intensivo, por lo que el ahorro es considerable. A su vez, estas instalaciones suelen recibir ayudas institucionales para promover el uso de esta energía, lo que abarata la instalación de los paneles.

Por otra parte, es posible vender los excedentes a la comercializadora de energía. Con esto, el propietario recibe una compensación económica.

Por último, el silicio es el segundo material más abundante en el planeta, lo que hace que el coste de los paneles se reduzca.

(Innovaspain, 2020)

3.3. Beneficios sociales

Además de los beneficios ambientales del uso de las energías renovables, es necesario también señalar los beneficios sociales y económicos de estas.

Según un informe de IRENA será necesario destinar al mercado de energías renovables, unos 130 billones de dólares estadounidenses hasta 2050. Estas inversiones y las realizadas en los últimos años, suponen un gran aumento en la empleabilidad del sector.

(IRENA, 2022)

Según IRENA de los 58 millones de empleos que genera el sector de la energía, aproximadamente el 20% corresponden a puestos relacionados con las energías renovables, unos 10 millones, que pueden llegar a 43 en 2050. Dentro de la empleabilidad actual, la energía solar fotovoltaica supone casi el 40% de estos empleos, aproximadamente 3.8 millones.

(IRENA, 2022)

Por otra parte, el crecimiento de estas energías ha supuesto una mejora en el equilibrio de género, ya que el 32% de los empleos son ocupados por mujeres, frente al 22% de las energías convencionales.

(IRENA, 2022)

4. ACTUALIDAD Y FUTURO

4.1. Actualidad

Como se ha visto en el estudio del mix energético mundial, la energía fotovoltaica global no supera el 2%. Sin embargo, mediante inversiones y diferentes avances en la tecnología, se han ido instalando plantas por toda la geografía mundial.

Tal y como se ha visto en apartado de producción, China es el país que más ha crecido en energía fotovoltaica en los últimos años, donde están ubicadas 3 de las 5 mayores instalaciones del mundo. Actualmente, China es el país con la mayor central solar en funcionamiento, con 2200MW, ocupando más de 5000 hectáreas en Qinghai. Cabe destacar que el parque tiene una capacidad de almacenamiento de 203 MW/MWh.



Fuente: Xinhuanet News.

Es también en China donde se sitúa la central de Yanchi, con 820 MW (puesto 3) y la de Datong, con 800 MW (puesto 5).

En segundo lugar, con menos de la mitad de potencia instalada, se sitúa la planta de Sweihan, en Abu Dhabi, con 938 MW.

En cuarto lugar, se encuentra la central de Copper Mountain, en Colorado, donde se encuentran instalados unos 810 MW.

En sexto lugar se encuentra la instalación de Escatrón-Chiprana-Samper. Con 730 MW instalados, es la más grande de España y Europa y ocupa casi 1900 hectáreas.



Fuente: PV magazine LATAM.

En España, el proyecto ERASMO pretende construir la mayor central fotovoltaica de España, situada en Ciudad Real. Esta instalación incluye almacenamiento en baterías y producción de Hidrógeno verde. Actualmente, está conectada a red con una potencia de 626 MW y está proyectada para que en 2026, una vez acabada la instalación, tenga una potencia de 1200 MW. Esto, con los datos actuales, la situaría en la segunda mayor instalación fotovoltaica por potencia.

(WOLFE, 2021)

(Roca, 2020)

4.2. Futuro

Según la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA), en su informe “El futuro de la Energía Solar Fotovoltaica”, establece diferentes objetivos para la agenda 2030 y 2050.

En cuanto a la generación total, se establece un objetivo del 13% para 2030 y un 25% para 2050. Como actualmente el dato se sitúa en 2%, es probable que estos objetivos no se alcancen, aunque el avance es positivo.

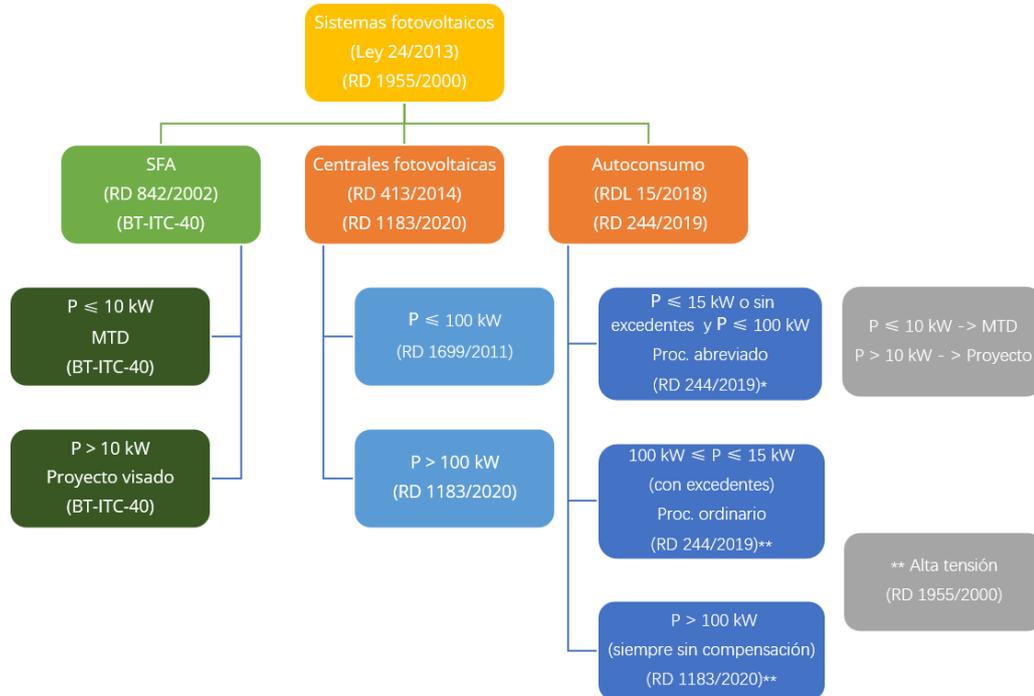
La capacidad total a finales del año 2022 era de unos 1000 GWp por lo que, alcanzar el objetivo marcado para 2030 de 2500 GWp es difícil. Por otra parte, el objetivo para 2050 es de 8500 GWp, lo que supone un reto importante. Actualmente, la situación global se encuentra lejos del objetivo.

En 2022 se instalaron 230 GW, mientras que en 2023 se prevé una instalación de 350 GW en todo el mundo. En este ámbito se está avanzando considerablemente, ya que el objetivo 2050 implica un crecimiento de 370 GW por año. Existe una diferencia de unos 20 GW por año entre el objetivo y la situación actual.

En otros objetivos como la inversión anual y empleo, los objetivos se encuentran cerca de la situación actual, pero es necesario seguir avanzando para conseguirlos.

5. NORMATIVA

La normativa referente a la energía ha ido evolucionando a lo largo de los años en España.



Fuente: Censolar

Independientemente del sistema instalado, existen dos normativas comunes a todos ellos:

- Ley del Sector Eléctrico 24/2013.
- RD 842/2002.

La primera normativa solar en España es la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico, de 26 de diciembre. Esta ley regula todas las actividades de suministro de energía eléctrica, generación, transporte y distribución, así como la comercialización económica. En la práctica, el desarrollo normativo de esta ley está expuesto, sobre todo, en el RD 1955/2000, que siempre se debe tener en consideración.

El RD 842/2019 establece el Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT), de obligado cumplimiento para todos los sistemas fotovoltaicos.

Además de estas normativas comunes a todos los sistemas, existen diferentes normativas específicas de cada sistema.

5.1. Sistemas Autónomos

Al no estar conectados a red, el proceso de autorización de estos sistemas es relativamente sencillo. En estos sistemas basta con cumplir la norma de REBT y la instrucción técnica BT-ITC-40. Sin embargo, se establece una distinción de estas instalaciones en función de la potencia:

- Potencia ≤ 10 kW: Requiere una Memoria Técnica de Diseño (MTD) que debe ser enviada al organismo certificado de instalaciones eléctricas (CIE)
- Potencia > 10 kW: Requiere un proyecto firmado por un técnico competente, siguiendo las directrices impuestas en la ITC-BT-04.

5.2. Sistemas de autoconsumo

Los sistemas autónomos pueden diseñarse con o sin excedentes, lo que puede llevar a inyección en red con o sin derecho de compensación. En estos sistemas se aplican dos normativas principales:

- RD 15/2018, que deroga casi la totalidad del RD 900/2015. Este último establecía el famoso “impuesto al sol”.
- RD 244/2019, que desarrolla la normativa del RD 15/2018.

Para tener derecho a compensación, las instalaciones no deben superar los 100 kW de potencia nominal. En caso contrario, deben regirse por el RD 1183/2020. Esto supone que la mayoría de los sistemas de autoconsumo se diseñen como centrales fotovoltaicas.

5.3. Centrales fotovoltaicas

La normativa aplicable a estos sistemas depende de la potencia instalada.

- Potencia ≤ 100 kW: Se aplica el RD 1699/2011, por el que se regula la conexión a la red de las instalaciones de producción energética.
- Potencia > 100 kW: Existen 4 normas principales para estos sistemas.
 - RD 413/2014, que regula la producción de energía eléctrica mediante fuentes renovables.
 - RD 23/2020, con medidas en materia de energía.
 - RD 1183/2020, que regula las condiciones de acceso y conexión a la red de transporte y distribución.
 - CNMC 1/2021, que establece la metodología de acceso y conexión a las redes anteriormente mencionadas.

(Soria, 2021)

(AttolonLaw, 2022)

6. BASES DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto es el análisis para el desarrollo de una solución integral para la instalación de un sistema de energía limpia en una instalación industrial. El análisis energético de la instalación está estrechamente ligado al ahorro económico a medio y largo plazo, ya que la mayoría del consumo energético en la instalación es electricidad.

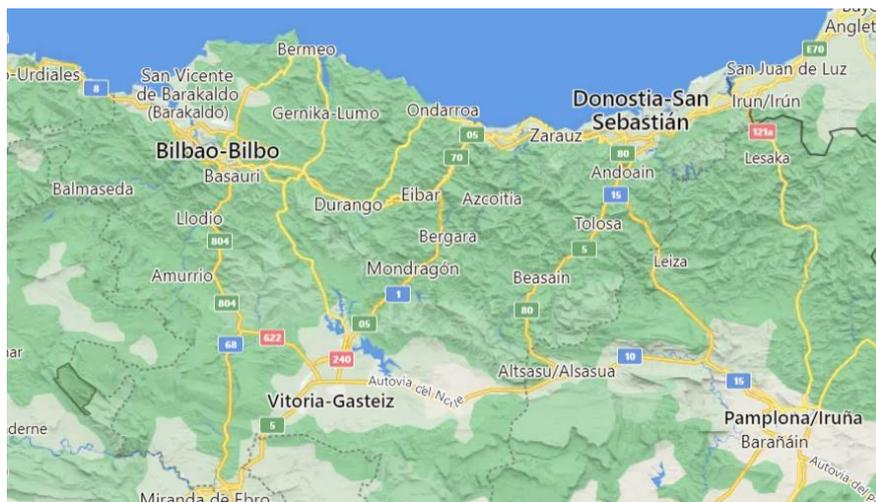
A partir del estudio de ingeniería para la instalación fotovoltaica sobre las cubiertas de la nave, se pretende obtener los parámetros energéticos, técnicos, económicos y ambientales al detalle.

6.1. Datos de la instalación

Para el estudio previo de la instalación, se tienen en cuenta diferentes tipos de energía pero se concluye que la única viable es la instalación fotovoltaica. A su vez, la planta posee una extensión grande de nave industrial con cubiertas disponibles para la instalación de placas.

Localización de la instalación

La instalación se encuentra en la provincia de Álava, al este, haciendo frontera con Navarra, con latitud 42.869 y longitud -2.333, aproximadamente a 640 metros sobre el nivel del mar.



Fuente: GoogleMaps

La instalación está dividida en dos naves con cubierta plana, siendo la primera de 50908 m² (380m x 155m) y la segunda de 30240 (270x115) m², lo que hace un total de 89950 m². De esta superficie total, solo el 70% es utilizable para la instalación de placas solares, ya que existen zonas de entrada de luz natural. Por petición de cliente, han de permanecer libres, ya que su política interna relativa a las condiciones ambientales de trabajo obliga a inutilizar esa superficie.

Inclinación de 6%.

Previamente al comienzo del estudio técnico de la instalación, se plantean tres incógnitas acerca de la cantidad generada.

- A. Autoconsumo parcial.
- B. Generación delimitando el potencial instalable para un autoconsumo total sin excedentes.
- C. Autoconsumo total con posibilidad de inyección en red.

Estas tres incógnitas van acompañadas del determinante principal en los proyectos industriales: el presupuesto disponible.

Tipo de instalación	Inyección económica
A	Medio
B	Medio/Alto
C	Muy Alto

Pese a ser una entidad internacional con un valor de empresa superior a los 7400 millones se toma la vía B, al ser un proyecto piloto en sus instalaciones.

La generación de energía eléctrica objetivo es el autoconsumo total, delimitando el potencial instalable para un autoconsumo sin excedentes.

7. DIMENSIONAMIENTO

7.1. Procedimiento

Para la obtención final del número de módulos a instalar, es necesario realizar diversos cálculos previos.

El primer paso es conocer los consumos de la fábrica para dimensionar la instalación.

A continuación, mediante el uso de la aplicación PVGIS, se calcula la inclinación óptima de los paneles y el azimut para la zona de instalación de los paneles. El objetivo es recibir la mayor cantidad de irradiancia y así producir la mayor cantidad de energía posible.

Con esos datos de inclinación y azimut óptimos, se estudian las condiciones de la zona. Para ello, se estudia la irradiancia (potencia) y la irradiación (energía).

El siguiente paso es el prediseño, que contiene el cálculo de la superficie nominal que ocupan los módulos fotovoltaicos y la producción de energía de estos.

La superficie nominal es la distancia que tiene que haber entre los módulos tanto en horizontal como en vertical, ya que estos no pueden estar totalmente pegados porque, en el caso de los módulos inclinados, se harían sombra. También para su instalación o reparación en caso de avería, los técnicos necesitan espacio para poder trabajar.

Cuando se obtiene la cantidad máxima de módulos que se pueden colocar en cada cubierta, se procede con el cálculo de la energía neta que producen. Este cálculo se obtiene a partir de diversos factores: la eficiencia del módulo, la irradiancia que llega del sol, la superficie útil y el factor de sombras.

La producción de energía se tiene que comparar con el consumo de la fábrica para comprobar si produce suficiente energía o por el contrario se excede y no es necesario instalar tantos módulos.

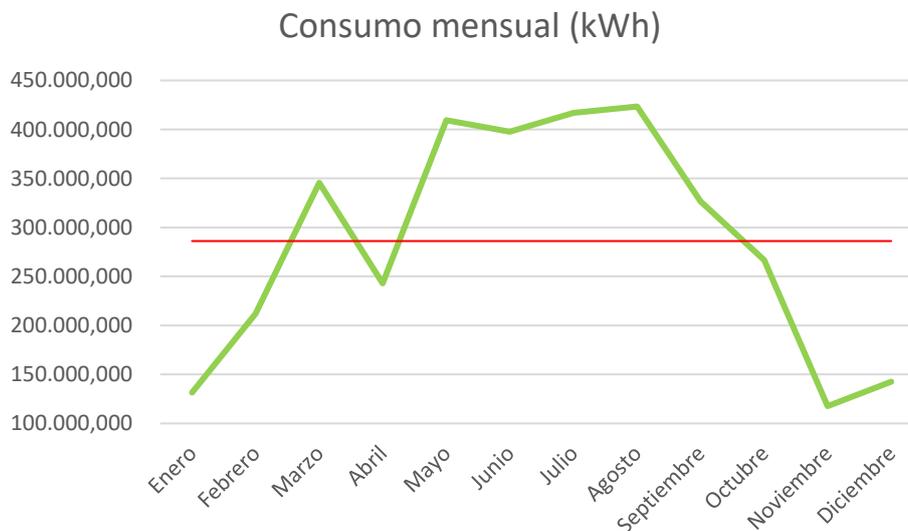
Por último, en el estudio económico, se analizan los costes del proyecto y la viabilidad económica de la instalación fotovoltaica.

7.2. Consumos

Tal y como se ha explicado en anterior, los consumos energéticos provienen de una instalación industrial de un almacén logístico, situado en la provincia de Álava.

Tomando como referencia los consumos de electricidad del año 2022, se obtiene la siguiente tabla, en la que el promedio de consumo mensual se establece en 286.082,26 kWh.

Mes	Consumo mensual (kWh)
Enero	131.605,385
Febrero	211.876,923
Marzo	345.388,462
Abril	243.050,769
Mayo	409.442,308
Junio	397.639,231
Julio	416.896,340
Agosto	423.386,154
Septiembre	326.603,846
Octubre	266.860,769
Noviembre	117.634,615
Diciembre	142.602,308
Total	3.432.987,109



El pico de consumo se produce en los meses de verano, debido al aumento de demanda por parte de los clientes.

Una vez que se establece la curva de consumo anual de la instalación y previo al diseño de la instalación, es necesario conocer la energía que se puede obtener del sol.

7.3. Irradiancia e irradiación

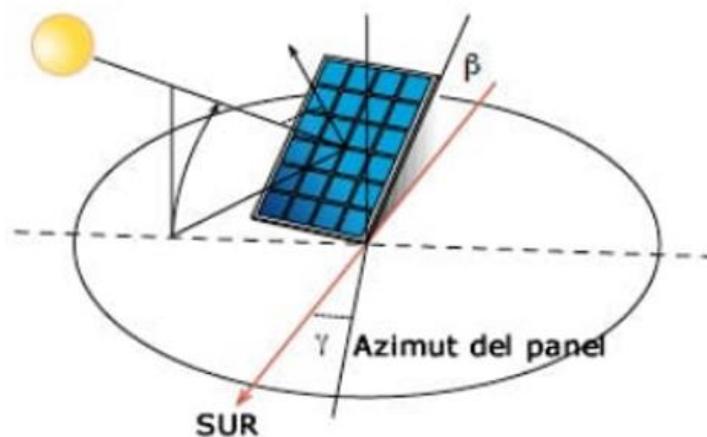
Previo al comienzo del diseño de la instalación, se calcula la irradiación y la irradiancia en la zona de montaje de la instalación:

La irradiancia es la potencia de radiación solar que se puede obtener por unidad de área (W/m^2) (potencia), mientras que la irradiación es la energía por unidad de área (Wh/m^2).

Es importante conocer el azimut y la inclinación de los paneles para optimizar la obtención de energía de los paneles instalados.

El azimut (γ) es la orientación de la cara del panel con respecto al sol y depende de la latitud de la ubicación de la instalación. En este caso, la instalación de estudio está en el hemisferio norte, por lo que los paneles se orientan hacia el sur.

Por otra parte, se debe calcular la inclinación óptima (β) de los paneles para maximizar la energía a generar.



Fuente: (Martínez, 2021)

Para conocer la inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos y el azimut, se utiliza la aplicación PVGIS, utilizando la base de datos según ubicación (PVGIS-SARAH2). Se obtienen los siguientes valores:

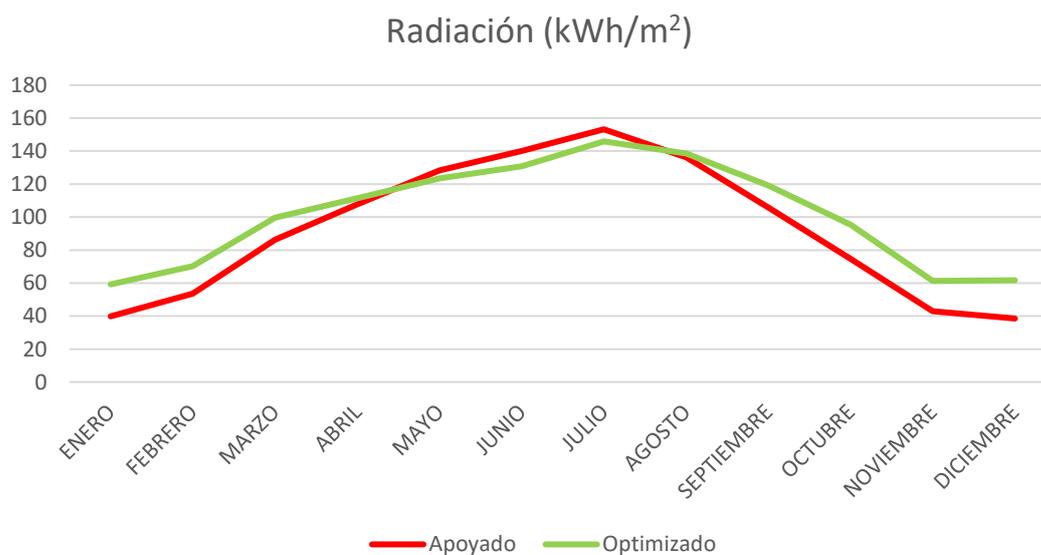
- Azimut: 4° .
- Inclinación óptima: 34° .

Una vez conocidos estos datos, se obtiene la radiación con el azimut óptimo y en dos casos de inclinación de panel:

- Con la inclinación de cubierta: 6°.
- Con la inclinación óptima: 34°.

Estos datos se obtienen con la aplicación PVGIS

kWh/m2		
	6°	34°
ENERO	39,85	59,23
FEBRERO	53,55	70,28
MARZO	86,27	99,56
ABRIL	107,69	111,52
MAYO	128,27	123,38
JUNIO	140,07	130,76
JULIO	153,21	145,88
AGOSTO	136,18	138,61
SEPTIEMBRE	105,86	119,275
OCTUBRE	74,77	95,42
NOVIEMBRE	43,03	61,31
DICIEMBRE	38,52	61,62



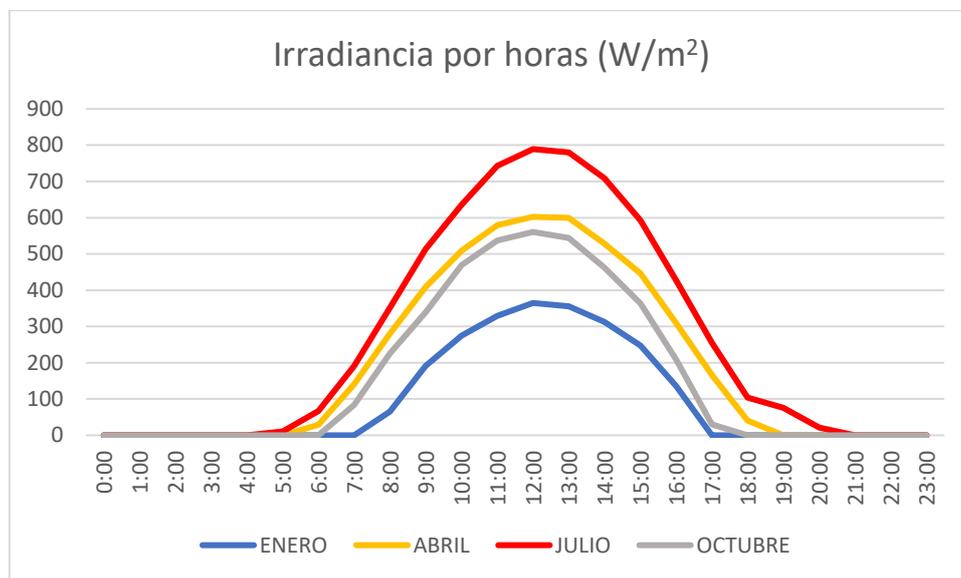
Se observa como la mayor parte del año, la radiación recibida con los paneles con azimut e inclinación optimizada es mayor que con los paneles apoyados sobre la cubierta.

A su vez, la media general y la total es mayor con la inclinación de 34° que apoyados sobre la cubierta.

	6°	34°
TOTAL	1107,27	1216,845
MEDIA	92,2725	101,40375

A continuación, se obtiene la irradiancia para los datos óptimos de azimut e inclinación calculados previamente.

Mediante la aplicación online PVGIS, se obtiene los datos por horas de los meses de enero, abril, julio y octubre.



Se observa que, según la lógica, en el mes de julio se obtendrá más potencia del sol que en los meses de invierno. A su vez, esta potencia es mayor en las horas centrales del día y, a medida que se va acercando la noche, es menor.

Una vez se obtienen los datos de radiación e irradiancia, es necesario obtener las horas pico solar (HPS) para obtener las horas de sol diarias anual. Posteriormente, se calcula este valor por día.

Sabiendo que 1 W/m^2 equivale a una HPS

	HPS (Horas Pico Solar)	Días	h/día
ENERO	1802	31	2,422
FEBRERO	2511	28	3,737
MARZO	3734	31	5,019
ABRIL	3936	30	5,467
MAYO	4153	31	5,582
JUNIO	4519	30	6,276
JULIO	5078	31	6,825
AGOSTO	5287	31	7,106
SEPTIEMBRE	4966	30	6,897
OCTUBRE	3748	31	5,038
NOVIEMBRE	2322	30	3,225
DICIEMBRE	1708	31	2,296
PROMEDIO			4,991

7.4. Selección de módulos fotovoltaicos

Una vez obtenidos los datos de energía y potencia de captación solar, se procede con la selección de módulos fotovoltaicos.

Es importante conocer que existen diferentes tipos de paneles y tecnologías que influyen en la duración y eficiencia de los módulos.

Habitualmente, los módulos suelen tener ente 16-17% de eficiencia por estándar. Sin embargo, a partir de 19%, se pueden considerar paneles de alta eficiencia.

En el caso del presente estudio, se seleccionan unos paneles con alta eficiencia (20.7%), los módulos ASTRO 4 Semi, de la compañía Astronergy.



Fuente: Lumisolar

Estos módulos, tienen las siguientes características:

- Células solares: Perc Monocrystalline (Half-cut)
- Número de Células: 144 células
- Potencia nominal: 450 W
- Color marco: Marco plateado
- Eficiencia del módulo: 20.7 %
- Material: Aluminio anodizado
- Protección IP: IP68
- Tensión de máxima potencia: 41.32 V
- Dimensiones (L x W x H): 2094 x 1038 x 30 mm
- Peso: 22.8 kg

Conociendo la potencia nominal de los paneles y las horas solar pico de cada mes, se obtiene la energía por módulo.

$$Energía [W/h] = \frac{P. nominal}{HSP}$$

	E(W/h)
ENERO	1089,92
FEBRERO	1681,47
MARZO	2258,47
ABRIL	2460,00
MAYO	2511,90
JUNIO	2824,38
JULIO	3071,37
AGOSTO	3197,78
SEPTIEMBRE	3103,75

OCTUBRE	2266,94
NOVIEMBRE	1451,25
DICIEMBRE	1033,06

Se puede observar como la energía que puede captar el módulo es mayor en los meses de verano, donde las horas pico son mayores.

Una vez conocida esta energía, se calcula el número de módulos necesarios por mes, añadiendo un coeficiente de seguridad del 10%.

$$n^{\circ} \text{módulos} = \frac{\text{Consumo medio diario [kWh/día]} \times \text{Energía de módulo [W/h]}}{1000}$$

	Energía de módulo (W/h)	Consumo medio diario (kWh/día)	Módulos
ENERO	1089,92	4245,33	4285
FEBRERO	1681,47	7567,03	4950
MARZO	2258,47	11141,56	5427
ABRIL	2460,00	8101,69	3623
MAYO	2511,90	13207,82	5784
JUNIO	2824,38	13254,64	5162
JULIO	3071,37	13448,27	4816
AGOSTO	3197,78	13657,62	4698
SEPTIEMBRE	3103,75	10886,79	3858
OCTUBRE	2266,94	8608,41	4177
NOVIEMBRE	1451,25	3921,15	2972
DICIEMBRE	1033,06	4600,07	4898

Es en el mes de mayo cuando se necesitan la mayor cantidad de módulo, en este caso, 5784. Sin embargo, el fabricante de los módulos seleccionados establece un rendimiento del 20,7 % para los paneles, por lo que el número de módulos se incrementa en un 79,3% hasta los 10370 módulos.

7.5. Disposición de módulos fotovoltaicos

Una vez conocido el número de módulos necesarios para autoabastecer la instalación, es necesario conocer si se pueden instalar en las cubiertas de la nave en cuestión.

Como se ha indicado anteriormente, la instalación está dividida en dos naves con cubierta de 6° de inclinación. siendo solo el 70% utilizable para la instalación de placas solares, ya que existen zonas de entrada de luz natural.

Las dimensiones de las cubiertas de las naves donde se instalan los paneles son las siguientes:

	NAVE 1	NAVE 2
Largo (m)	380	270
Ancho (m)	155	115
Superficie total (m²)	58900	31050
Utilizable (m²)	41230	21735

Como se ha indicado anteriormente, la superficie utilizable de las cubiertas es del 70%, debido a las aperturas superiores para entrada de luz natural.

Por otra parte, las dimensiones de los módulos seleccionados son las siguientes:

L (mm)	W (mm)	H (mm)	(m ²)
2094	1038	30	2,1736

Una vez conocidas las dimensiones de la nave y de los módulos fotovoltaicos, se procede con el cálculo de ubicación y posicionamiento de los módulos.

Para ello, el primer paso es calcular la altura solar (γ_s), definida como *“la altura angular del sol medido desde la horizontal”*.

(Honsberg & Bowden, 2018)

Este valor es de gran importancia, ya que los módulos en sistemas estáticos producen sombras sobre otros módulos, por lo que es necesario calcular la separación entre ellos.

$$\gamma_s = 90^\circ - 23.45^\circ - |\varphi|$$

Siendo:

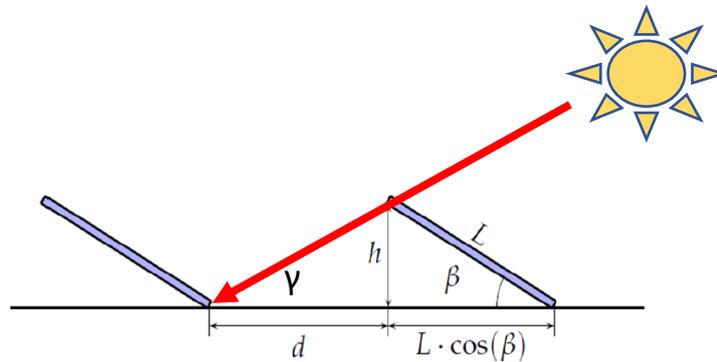
- φ la latitud del lugar de la instalación, en este caso 42°.
- 23,45° la inclinación de la tierra.

Por lo que:

$$\gamma_s = 90^\circ - 23.45^\circ - 42^\circ = 24.55^\circ$$

(Lamigueiro, 2013)

A continuación se procede con el cálculo de los parámetros indicados en la siguiente ilustración.



Fuente: (Lamigueiro, 2013)

En este caso, la variable L corresponde a la longitud del panel inclinado sobre el lado largo, por lo que es 1038 mm.

β corresponde al ángulo de inclinación del panel sobre la cubierta:

$$\beta = 34^\circ - 6^\circ = 28^\circ$$

La altura del panel inclinado es:

$$h = L \cdot \sin \beta = 487.31 \text{ mm}$$

D corresponde a la distancia de instalación entre los paneles. De manera teórica:

$$D = d + L \cos \beta = \frac{h}{\tan \gamma_s} + L \cos \beta = 2026,62 \text{ mm}$$

Una vez obtenidas estas dimensiones, se combinan los valores obtenidos para la separación de módulos y el área sobre el que se van a instalar.

Es necesario señalar que el cálculo de número de módulos por fila se realiza suponiendo que los módulos se colocan con el lado largo paralelo a la longitud más grande de la nave 1, al igual que en la nave 2.

	NAVE 1	NAVE 2
Largo (m)	380	270
Ancho (m)	155	115
Superficie total (m²)	58900	31050
Utilizable (m²)	41230	21735
Módulos (m²)	2,17	2,17
D (m)	2,04662	

La separación entre los módulos de una misma fila será de 20 mm, por lo que esa distancia es:

$$d = L + 20 \text{ mm} = 2094 + 20 = 2114 \text{ mm} = 2,114 \text{ m}$$

Una vez obtenidas la distancia entre paneles y la distancia entre las filas, se procede con el cálculo de módulos máximos por fila y el número máximo de filas necesarias.

Se realiza el cálculo tanto para la nave 1 como para la nave 2.

Nave 1

$$n^{\circ} \text{ de filas nave} = \frac{\text{Ancho de la nave}}{\text{Separación entre filas}} = \frac{155 \text{ m}}{2,02662 \text{ m}} = 76 \text{ filas}$$

$$n^{\circ} \text{ módulos por fila} = \frac{\text{Longitud de la nave}}{\text{Separación entre módulos}} = \frac{380 \text{ m}}{2,114 \text{ m}} = 179 \text{ módulos}$$

Nave 2

$$n^{\circ} \text{ de filas} = \frac{\text{Ancho de la nave}}{\text{Separación entre filas}} = \frac{115 \text{ m}}{2,02662 \text{ m}} = 56 \text{ filas}$$

$$n^{\circ} \text{ módulos por fila} = \frac{\text{Longitud de la nave}}{\text{Separación entre módulos}} = \frac{270 \text{ m}}{2,114 \text{ m}} = 127 \text{ módulos}$$

Una vez obtenidos los máximos para cada nave, se sabe cuántos módulos máximos por nave se pueden ubicar.

	NAVE 1	NAVE 2
nº filas	76	56
nº módulos por fila	179	127

Para calcular la superficie que ocupa la instalación en función la superficie que ocupa cada módulo, primero se debe conocer la superficie de cada módulo.

Para ello, se va a contabilizar como superficie del módulo, la superficie bajo el módulo más la sombra que produce.

$$A_{\text{módulo}} = (L \cos \beta + d) \cdot L_{\text{módulo}} = \frac{(1038 \text{ mm} \cdot \cos 28) \cdot 2114 \text{ mm}}{1000000} = 4,284 \text{ m}^2$$

Se obtiene que el área que ocupa cada módulo es de $4,284 \text{ m}^2$. El Área máxima de los módulos por cada nave se calcula dividiendo el área utilizable de la nave entre el área que ocupa cada módulo.

Nave 1

$$n^{\circ} \text{ máximo módulos} = \frac{\text{Área utilizable}}{\text{Área de módulo}} = \frac{41230 \text{ m}^2}{4,284 \text{ m}^2} = 9623 \text{ módulos}$$

Nave 2

$$n^{\circ} \text{ máximo módulos} = \frac{\text{Área utilizable}}{\text{Área de módulo}} = \frac{21735 \text{ m}^2}{4,284 \text{ m}^2} = 5073 \text{ módulos}$$

Anteriormente, se ha obtenido el número de módulos necesarios para la instalación, siendo este número 10370.

Como los módulos no se pueden ubicar en una sola nave, es necesario repartirlos entre las dos naves. La configuración seleccionada se muestra en la siguiente tabla.

	Filas	Módulos	Total
Nave 1	60	146	8760
Nave 2	35	46	1610

El área de ocupación de la instalación seleccionada es el número de filas con su distancia por el número de módulos por fila con su separación.

$$A_{\text{instalación } 1} = (60 \cdot 2,026 \text{ m}) \cdot (146 \cdot 2,114) = 37518,76 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{instalación } 2} = (35 \cdot 2,026 \text{ m}) \cdot (46 \cdot 2,114) = 6895,57 \text{ m}^2$$

En ambos casos se cumple con el requerimiento de cliente debido a que, el área necesaria para instalar los módulos es menor que la utilizable.

7.6. Cálculos ambientales

Toneladas CO₂ equivalentes

Para obtener el beneficio ambiental de la instalación en estudio, se calculan las toneladas de CO₂ equivalentes.

Para ello, se utiliza la aplicación de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, Environmental Protection Agency).

El consumo total de la instalación del presente proyecto es 3.432.987,109 kWh, lo que equivale a 1.637 toneladas equivalentes de CO₂.

Esta equivalencia se puede trasladar también al día a día, correspondiendo a:

- 330 vehículos consumiendo combustible durante un año.
- 632.573 litros de gasolina consumidos.
- 187 hogares con el consumo energético de un año.
- Carga de 180,5 millones de teléfonos.

Secuestro de carbono

Además de hacer una equivalencia al uso diario, se compara con el secuestro de carbono o sumidero de CO₂. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA o más conocido por su término en inglés FAO (Food and Agriculture Organization), definen este término como *“el proceso o la actividad que implica la remoción de gases de invernadero de la atmósfera”*.

(FAO, 2023)

Mediante la fotosíntesis, las plantas capturan el CO₂, por lo que son un sistema natural de secuestro de CO₂.

Según la Fundación Aquae, cada árbol captura entre 10 y 30 kg de CO₂ por año (20 kg de media). Por lo tanto, el ahorro de emisión de la instalación del estudio corresponde a aproximadamente a 80.000 árboles. También corresponde a la reforestación de más de 700 hectáreas.

8. COSTES

Para calcular la amortización, lo primero es conocer el coste de la instalación de los paneles.

El coste principal de la instalación son los módulos fotovoltaicos, de los cuales han de instalarse 10370 módulos. A su vez, incluida en el material necesario, se encuentran el coste de material eléctrico y el de las estructuras necesarias para la instalación de los módulos.

Una vez cuantificados los materiales, es necesario establecer el coste que le supone al cliente final la instalación y puesta en marcha de los módulos fotovoltaicos.

	Coste
Módulos	1.958.884,70 €
Estructura	209.013,00 €
Material eléctrico	245.644,14 €
Estudio	43.200,00 €
Instalación	369.600,00 €
Puesta en marcha	210.600,00 €
Otros	45.000,00 €
TOTAL	3.081.941,84 €

Para poder comprobar si la inversión requerida será amortizable en el transcurso de la actividad económica, se calcula el beneficio económico. Para ello, el primer paso es conocer la previsión de coste de MWh a medio y largo plazo.

Esta previsión de coste de MWh se ha obtenido de dos fuentes diferentes, siendo estas la OMIE OMIP y EXX, obteniendo los siguientes valores.

Año	€/MWh
2023	152,8
2024	149
2025	74,73
2026	64,28
2027	56,89
2028	50,96
2029	47,56
2030	48,11
2031	47,18

2032	46,43
2033	45,96
2034	44,88
2035	44,68
2036	44,61
2037	44,39

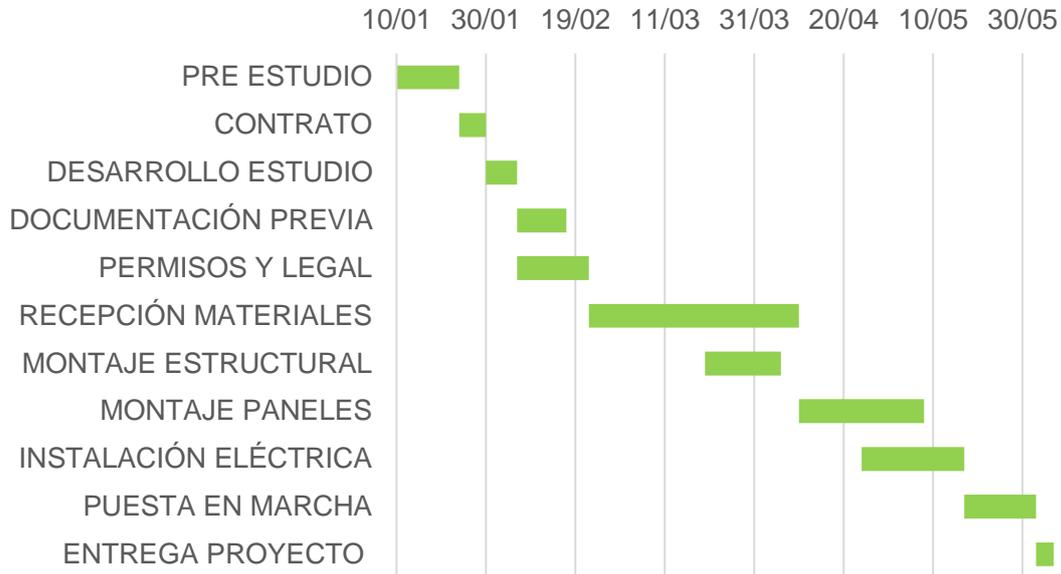
Sabiendo que el consumo medio anual de la instalación es de 3432987,109 kWh, se obtiene el ahorro anual.

Año	€/MWh	Ahorro
2023	152,8	524.560,43 €
2024	149	511.515,08 €
2025	74,73	256.547,13 €
2026	64,28	220.672,41 €
2027	56,89	195.302,64 €
2028	50,96	174.945,02 €
2029	47,56	163.272,87 €
2030	48,11	165.161,01 €
2031	47,18	161.968,33 €
2032	46,43	159.393,59 €
2033	45,96	157.780,09 €
2034	44,88	154.072,46 €
2035	44,68	153.385,86 €
2036	44,61	153.145,55 €
2037	44,39	152.390,30 €
TOTAL		3.304.112,77 €

La instalación se amortizaría en 15 años con la evolución de precios prevista.

9. DIAGRAMA DE GANTT

A continuación se muestra un diagrama de Gantt con el resumen de las actividades y tareas del proyecto.



En él se incluyen todas las actividades desde la solicitud recibida sobre la necesidad de realizar una instalación fotovoltaica. A su vez, se incluyen las actividades relacionadas con la preparación de documentación, solicitud de permisos ambientales, permisos de obra, solicitud de punto de conexión y resto de tareas relacionadas con entidades públicas.

Por otra parte, se incluye el montaje de todas las estructuras sobre las que se montan los paneles, así como el montaje de estos y toda la instalación eléctrica y de compuestos electrónicos.

Por último, es necesario poner en marcha la instalación y entregar el proyecto en las condiciones correctas de funcionamiento ya que, al ser un proyecto "llave en mano" o Turnkey Project, se debe listo para su uso y evitar costes adicionales. Se entrega como un producto terminado y disponible para la venta.

10. CONCLUSIONES

Actualmente, las energías renovables solo representan un 20% del mix energético global. Sin embargo, su desarrollo y evolución está al alza en la mayoría de los países desarrollados, con nuevas instalaciones y desarrollo de nuevas tecnologías y materiales.

El coste de los materiales ha ido descendiendo a lo largo de los años con los avances en el mundo de la energía fotovoltaica, lo que hace a las instalaciones una opción más económica con cada avance.

A través del desarrollo de los cálculos, se ha obtenido el objetivo principal de la instalación, marcado en el autoconsumo de la misma, generando ahorro al cliente y amortizándolo en un periodo admisible de 15 años. Sin embargo, esta amortización podría realizarse en un periodo más corto si la instalación se ubicase en zonas en las que se pudiera obtener más energía del sol.

Por último, es necesario aumentar y pujar, no solo por la energía fotovoltaica, sino por todas las energías renovables para poder alcanzar los objetivos de la agenda 2030 y 2050. Con esto, se puede combatir en gran medida las condiciones que provocan el cambio climático, a la vez que se respetan los ecosistemas animales y vegetales.

11. BIBLIOGRAFÍA

- AttolonLaw. (2022). La normativa solar en España (legislación fotovoltaica). *AttolonLaw*.
- Barrero, A. (2023). Estos son los hitos de los 40 años de historia de las renovables en España. *Energías Renovables*.
- DPVEnergy. (2023). La evolución de las células fotovoltaicas: del selenio a la 3ª Generación. *DPVEnergy*.
- España, G. d. (2010). *PLAN DE ACCIÓN NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES DE ESPAÑA (PANER) 2011 - 2020*.
- FAO. (2023). ¿Qué es el Secuestro de Carbono? *Portal de Suelos de la FAO*.
- Fraunhofer, I. (2023). *PHOTOVOLTAICS REPORT*. Freiburg: Fraunhofer ISE.
- Honsberg, C., & Bowden, S. (2018). El ángulo de elevación. *PVEducation*.
- Iberdrola. (2023). Radiación solar: ¿cuál es su impacto sobre el planeta y el ser humano? *Compromiso social Iberdrola*.
- Innovaspain. (2020). Las ventajas económicas de la energía solar fotovoltaica. *Innovaspain*.
- IRENA. (2022). *Renewable power generation costs in 2022*,. Abu Dhabi: IRENA.
- KPNEnergy. (2022). Sistemas fotovoltaicos: tipos y características. *KPN Energy Solutions*.
- Lamigueiro, O. P. (2013). *ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica*. Creative Commons.
- LOSTAU, J. (31 de Julio de 2023). Castilla y León lidera la 'energía verde' con el 96% de la potencia en renovables. *Diario de Castilla y León El Mundo*.
- Martínez, E. (2021). Orientación e inclinación de los paneles solares. *Sunalizer*.
- Montesinos, M. J. (2022). ¿Cuánta energía produce el sol y de dónde proviene? *Eltiempo*.
- Ojeda, G. (2022). ¿Qué es impuesto al sol? Derogación, explicación e historia. *Selectra*.
- Planas, O. (2020). Historia de la energía solar. *Solar Energía*.
- REE. (2023). *Informe resumen de energías renovables*. Red eléctrica.
- Roca, J. A. (2020). Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo: India manda en el ranking y España entra en el Top 20. *Qenergy*.
- Sebastian, E. (2022). Evolución de las células fotovoltaicas. *Eliseo Sebastian Energía Solar*.
- Smil, V. (2023). *Global primary energy consumption by source*. :Energy Institute Statistical Review of World Energy.
- Solarama. (2019). 4 Tipos de sistemas fotovoltaicos y sus principales características. *Solarama*.
- Soria, A. (2021). Legislación fotovoltaica en España (2021). *Censolar*.
- UNEF. (2023). El autoconsumo es una herramienta clave para implicar a la ciudadanía en la lucha contra el cambio climático: en 2022 evitó en España la emisión de 2.718.982 Toneladas de CO2. *UNEF Unión Española Fotovoltaica*.

WOLFE, P. (2021). Especial: las 14 mayores plantas solares del mundo. *PV Magazine*.