

LA NUEVA ARQUITECTURA DEL SOL

Fachadas fotovoltaicas. Integración en la arquitectura

TRABAJO FIN DE GRADO. EINA. UNIZAR. GRADO
EN ESTUDIOS EN ARQUITECTURA 2024

Autora:
Alejandra Pérez Viamonte

Directora:
Almudena Espinosa Fernández



**DECLARACIÓN DE
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD**

(Este documento debe remitirse a seceina@unizar.es dentro del plazo de depósito)

D./Dª. **Alejandra Pérez Viamonte**

en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de Estudios de la titulación de Grado en estudios en Arquitectura

(Título del Trabajo)

La nueva arquitectura del sol.

Fachadas fotovoltaicas y su integración en la arquitectura.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 5 de Septiembre de 2024

Fdo: **Alejandra Pérez Viamonte**

RESUMEN

La crisis energética es un tema candente del presente y del futuro. La incorporación de energías renovables en la arquitectura nos ayuda a afrontarla.

Este trabajo comienza explorando la relación entre la arquitectura y el sol, analizando cómo el ser humano ha adaptado sus construcciones a distintos climas, aprovechando o protegiéndose de la energía solar según las necesidades. En particular, se enfoca en la energía solar fotovoltaica y su potencial en España, un país privilegiado por la abundancia de horas de luz.

El trabajo revisa la normativa vigente y los objetivos establecidos tanto por Europa como por España para enfrentar la crisis energética actual. A continuación, se profundiza en el funcionamiento de la energía fotovoltaica y se describen los componentes principales de una instalación fotovoltaica. Se incluye un cálculo de un ejemplo de instalación aislada, considerando los factores que influyen en la decisión de colocar los paneles solares en la cubierta o en la fachada del edificio.

Finalmente, se presentan varios ejemplos de integración de la energía fotovoltaica en edificios europeos, analizados en función de las diferentes zonas de radiación en la que se encuentran. Este análisis permite extraer conclusiones sobre la ubicación óptima de los paneles solares, destacando que la situación específica del edificio influye significativamente en la efectividad de la instalación.

ABSTRACT

The energy crisis is a hot topic of the present and the future. The incorporation of renewable energies in architecture helps us to face it.

This work begins by exploring the relationship between architecture and the sun, analysing how human beings have adapted their constructions to different climates, taking advantage of or protecting themselves from solar energy as needed. In particular, it focuses on photovoltaic solar energy and its potential in Spain, a country privileged by the abundance of daylight hours.

The work reviews the current regulations and the objectives established by both Europe and Spain to face the current energy crisis. Next, we delve into how photovoltaics work and describe the main components of a photovoltaic installation. A calculation of an example of an isolated installation is included, considering the factors that influence the decision to place the solar panels on the roof or on the façade of the building.

Finally, several examples of the integration of photovoltaic energy in European buildings are presented, analysed according to the different radiation zones in which they are located. This analysis allows conclusions to be drawn about the optimal location of the solar panels, highlighting that the specific situation of the building significantly influences the effectiveness of the installation

MOTIVACIÓN

En el siguiente trabajo de fin de grado quiero desarrollar algunos aspectos de interés personal que además enriquecen mis conocimientos en esta última etapa de mi formación como Arquitecta, en el ámbito del uso y aplicación de las energías renovables. Voy a profundizar en la energía solar fotovoltaica, y más concretamente en los paneles fotovoltaicos ubicados en las fachadas de edificios, ya sean viviendas, oficinas, lugares comerciales...

Nuestra profesión se dirige en la actualidad hacia la construcción y rehabilitación de edificios cada vez más sostenibles y eficientes. La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía limpia y de un gran valor, sobre todo en nuestro país por las condiciones climatológicas que nos caracterizan. La radiación sobre nuestro planeta es ya 3000 veces mayor que la demanda mundial. Sin embargo, seguimos cubriendo esta demanda mayormente con energías no renovables. Además, el consumo anual de electricidad mundial sigue aumentando exponencialmente.

La integración de energía solar fotovoltaica en la construcción es una estrategia que debemos tener en cuenta no solo en los edificios del futuro, sino en los del presente. La energía solar es un recurso inagotable. Además, si tenemos en cuenta que vivimos en un país con un clima excepcional, todavía tenemos más incentivos para aprovecharla.

Sabemos que esta energía tiene un potencial enorme en la construcción y rehabilitación de nuestros edificios, pero todavía no la aprovechamos al máximo y cómo sería conveniente. Por lo que me gustaría que este trabajo sirva de referencia para que esta energía se incorpore en un mayor número de edificios.

METODOLOGÍA

El trabajo se estructura en varios capítulos y subcapítulos, comenzando por un primer análisis genérico de las zonas climáticas en el mundo y de cómo el ser humano ha planteado la arquitectura en ellas.

Después, se habla de manera más técnica de la energía solar fotovoltaica: desde las normativas y objetivos planteados en Europa y España, hasta calcular una instalación solar fotovoltaica aislada, siempre relacionando y comparando las instalaciones en cubierta o en fachada.

Tras estudiar esto, se comentan ejemplos de arquitectura que integre de manera eficiente los paneles fotovoltaicos, comparando ejemplos de varias regiones de Europa. Los ejemplos además contribuyen al desarrollo de la integración óptima de las placas en la arquitectura. Con estos ejemplos además se busca mostrar a los arquitectos las múltiples opciones de integración de energía fotovoltaica que existen, para que en el futuro consideren incorporarlas.

ÍNDICE

RESUMEN	4
MOTIVACIÓN, METODOLOGÍA	7
1. LA RELACIÓN DE LA ARQUITECTURA CON EL SOL. CLIMAS	12
1.1.- Relación sol-arquitectura	13
2. ENERGÍA SOLAR	20
2.1.- Energía renovable	21
2.2.- Antecedentes. Necesidades energéticas. Visión global de las necesidades energéticas actuales	23
2.3.- Normativas de aplicación en las Energías Renovables	26
3. ENERGÍA FOTOVOLTAICA	38
3.1.- Definición	39
3.2.- El efecto fotovoltaico	39
3.3.- La célula solar fotovoltaica	40
3.4.- Módulo solar fotovoltaico	42
3.5.- Elementos de una instalación fotovoltaica	43
4. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS	48
4.1.- Determinación de la potencia mínima a instalar	49
4.2.- Ubicación	51
4.3.- Dimensionado del generador fotovoltaico	55
4.4.- Dimensionado del sistema de acumulación	56
4.5.- Orientación e inclinación. Determinación de las pérdidas	58
5. INTEGRACIÓN ÓPTIMA DE CAPTADORES FOTOVOLTAICOS EN EDIFICIOS	60
6. CASOS DE ESTUDIO	64
6.1.- Europa: radiación y zonas solares	65
6.2. Zona 1: franja norte de Europa	67
6.3. Zona 2: franja central de Europa	72
6.4. Zona 3: franja sur de Europa	80
7. CONCLUSIONES	86
Bibliografía	91
Tabla de imágenes	94
Tabla de figuras	97

1. LA RELACIÓN DE LA ARQUITECTURA CON EL SOL. CLIMAS

1.1.- RELACIÓN SOL-ARQUITECTURA

Todos los seres vivos se deben adaptar o encontrar defensas adecuadas al hábitat en el que viven, que puede ser amable o cruel. La arquitectura, en su origen más remoto, se creó para dar refugio y protección al ser humano. Como hemos podido observar a lo largo de la historia, cada pueblo ha tenido una relación u otra con el sol.

El clima ha condicionado siempre la manera en la que habitábamos la tierra y cómo nos adaptábamos a ella. Según el libro “Arquitectura y Clima” (Olgay, 1998), Sacrobosco dividió la tierra en 5 zonas (Figura 1), en su *Sphaera Mundi*, en la que había dos zonas inhabitables: la parte central de la tierra por excesivo calor, y las partes de los polos de la tierra por excesivo frío. Definitivamente, las únicas zonas que eran aptas para vivir eran las templadas.

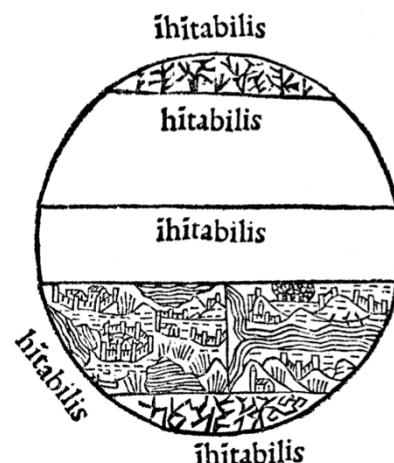


Figura 1. Regiones del mundo según Sacrobosco. Fuente: (Olgay, 1998).

En cambio, Vitruvio nombró en los “Diez libros de Arquitectura” (Vitruvio Polión, 15 a.C.) en varias ocasiones la importancia de la orientación de los edificios y cómo debíamos adaptarnos a cualquier clima, independientemente de que este fuera habitable o no. Dice:

“Los edificios privados estarán correctamente ubicados si se tiene en cuenta, en primer lugar, la latitud y la orientación donde van a levantarse. Muy distinta es la forma de construir en Egipto, en España, en el Ponto,

en Roma e igualmente en regiones o tierras que ofrecen características diferentes, ya que hay zonas donde la tierra se ve muy afectada por el curso del sol; otras están muy alejadas..." "se debe orientar la disposición de los edificios atendiendo a las peculiaridades de cada región y a las diferencias del clima..." "se irán adaptando las construcciones en otras regiones, siempre en relación con sus climas diversos y con su latitud."

(Vitruvio Polión, 15 a.C.)

En la actualidad, lo que realmente se busca conseguir con esta distribución por zonas climáticas es el equilibrio entre la expresión arquitectónica y la necesidad.

El mapa del mundo en la actualidad se distribuye por zonas frías, templadas y cálidas, y en cada una de estas zonas podemos encontrar distintos climas (polar, subpolar, boreal; templado frío y cálido; subtropical y tropical).

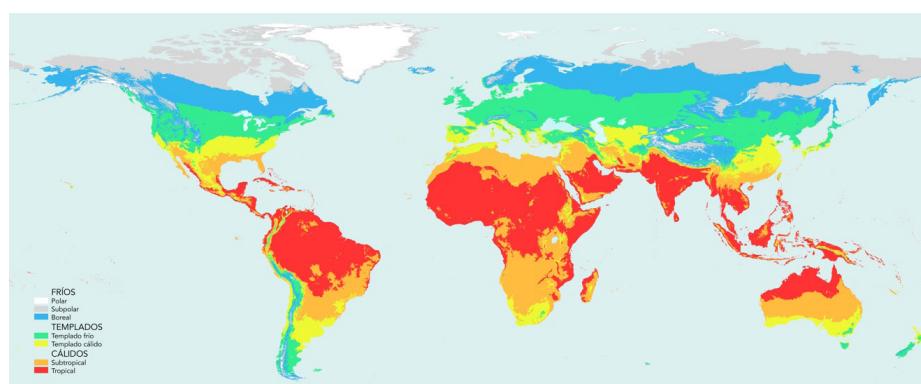


Figura 2. Mapa de las zonas climáticas del mundo. Fuente: Wikipedia y elaboración propia.

Existen diversas zonas climáticas en el mundo, cada una con características climáticas específicas que influyen en la forma en que se debe diseñar y construir un edificio para protegerse del clima. A continuación, se mencionan algunas de estas zonas y los tipos de sistemas que se utilizan para protegerse de las condiciones adversas del clima y para beneficiarse o protegerse, según el caso, de la incidencia del sol. En este caso se distinguen ejemplos de: climas fríos, climas templados, climas cálidos-secos y climas cálidos-húmedos.

CLIMAS FRÍOS

Se tratan de zonas con condiciones muy extremas. En las regiones frías, las tribus que se asentaban buscaban la mínima exposición al exterior, creando refugios muy compactos.

La nieve es el único material abundante y disponible para la construcción. La ropa solo puede hacerse con pieles de animales, por lo que la nieve, las pieles y la grasa animal han sido esenciales para la supervivencia.

Vemos arquitecturas que todavía siguen vigentes, como el iglú esquimal, construcción en forma de cúpula creada con bloques de hielo y nieve que funciona como aislante tanto de la nieve que los rodea como de los vientos. En estos lugares el invierno les priva de horas de sol, pero aún con las escasas horas de sol consiguen captar toda la radiación posible gracias a su forma geométrica en esfera. La compacidad en el diseño de estas construcciones reduce el área de ganancias y pérdidas térmicas. El clima extremo les obliga a extremar la composición formal de sus construcciones.

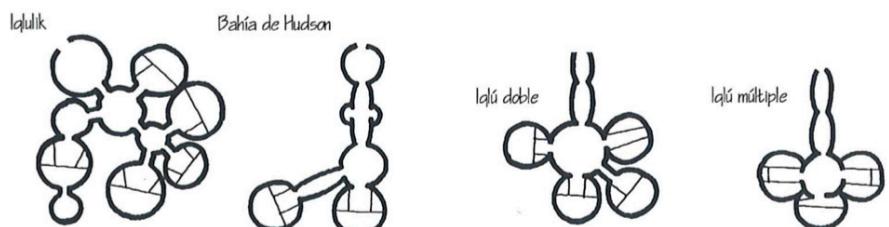


Figura 3. Tipos de iglú. Fuente: (Neila González, 2004)

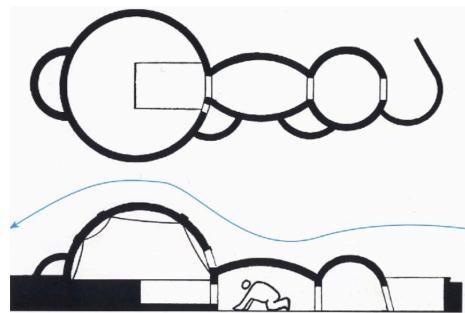


Figura 4 Planta y sección de un iglú. Fuente: (Neila González, 2004)

Otro ejemplo en este tipo de climas sería la Arquitectura vernácula de Noruega, donde se construye en su totalidad con madera. En esta clase de arquitecturas es donde podemos encontrar muchos de los sistemas pasivos que utilizamos hoy en día. Este tipo de edificios

orientaban sus espacios más frecuentados al sur, de manera que captaran la mayor parte de radiación solar. La cubierta es vegetal e inclinada para retener así la nieve en ella, y que esta sirva como aislante térmico.



Imagen 1. Cabaña en Noruega. Fuente: <https://www.nordicexperience.com/traditional-norwegian-house-with-grass-roof-the-norwegian-museum-2/?lang=et/>

CLIMAS TEMPLADOS

En las zonas donde el clima no es tan extremo (zonas templadas), el principal objetivo era conseguir la flexibilidad en el diseño, debido a los cambios drásticos que hay durante el año en comparación con otros climas donde las temperaturas son más constantes. Las principales estrategias que se utilizaban eran la de amoldar la arquitectura ante la radiación solar (captación y protección dependiendo de la estación), también en el diseño de los cerramientos y en las ventilaciones.

Un ejemplo de refugio en estas zonas serían las viviendas de los indios, una solución de vivienda comunal. Construían grandes refugios con maderas que tenían una doble piel para proporcionar una cámara de aislamiento térmico. Cuando en los meses calurosos el sol incidía fuertemente en estos, retiraban el cerramiento exterior para permitir la ventilación, pero mantenían una capa de piel para protegerse de este.

Nuestra localización mediterránea se encuentra en este caso de clima templado. El problema que presenta este tipo de ambiente es que tiene que contemplar

ambos extremos; temperaturas muy bajas en invierno, y extremadamente cálidas en verano; esto hace que la arquitectura sea mucho más compleja. Por ello, esta arquitectura ha tenido que incorporar en su diseño sistemas que sean flexibles como he comentado anteriormente, como sombreados móviles, que permitan el paso del sol en invierno y lo retengan en verano, aberturas practicables para permitir la ventilación...

Otro ejemplo de arquitectura en este tipo de climas fue el Trullo, un tipo de construcción masiva de gran inercia térmica, edificios de planta circular construidos con piedra en seco.

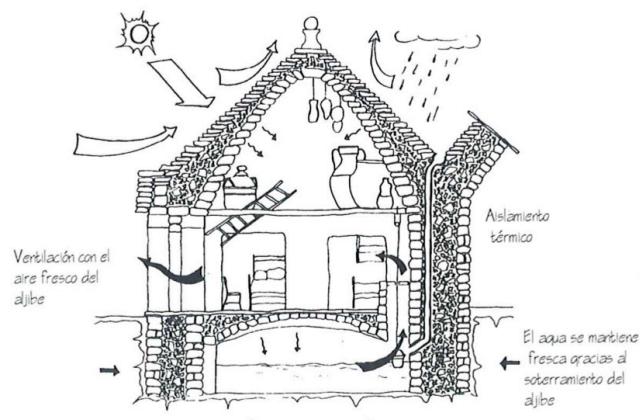


Figura 5. Trullo, típico de la región de Puglia. Fuente: (Neila González, 2004).

En estos territorios el microclima juega un papel fundamental en el diseño de los edificios, y las poblaciones lo sabían y se solían posicionar en lugares estratégicos, como en el lado sur de una colina (para aprovechar la luz solar) o cerca de algún punto de agua.

CLIMAS CÁLIDOS-SECOS

En los climas cálidos-secos, la temperatura es muy elevada durante el día, pero disminuye mucho durante la noche. La irradiancia solar durante todo el año es muy elevada. La arquitectura característica de estas regiones es una arquitectura compacta, con mucha protección solar o incluso subterránea, con una elevada masa térmica (para obtener la máxima inercia térmica) y con escasas aperturas, utilizando como principal recurso el patio, a veces con agua para refrescar el ambiente.

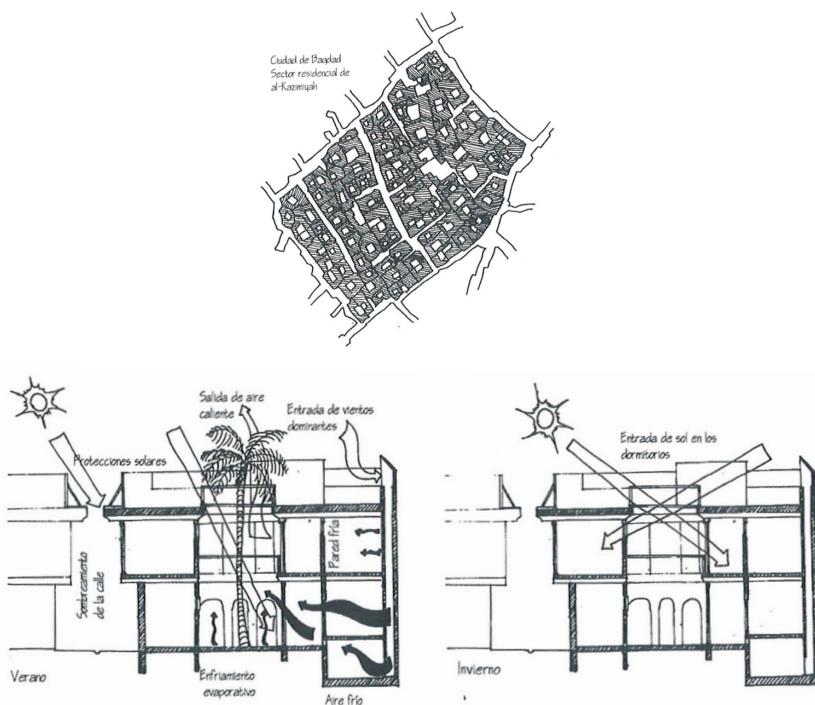


Figura 6. Ciudades compactas, con alguna aparición de patios. Fuente: (Neila González, 2004).

CLIMAS CÁLIDOS-HÚMEDOS

En cambio, en los climas cálidos, pero con extremas precipitaciones y humedad, nos encontramos con variaciones de temperatura día-noche mucho menos extremas. Esto da lugar a arquitecturas en las que se necesita protección frente a la radiación solar y las lluvias, y que ventilan de manera frecuente. Sin embargo, en las zonas en las que las temperaturas se mantienen por encima de lo deseado resulta complicado alcanzar el bienestar, y se recurre a una mayor protección a la lluvia y al sol.

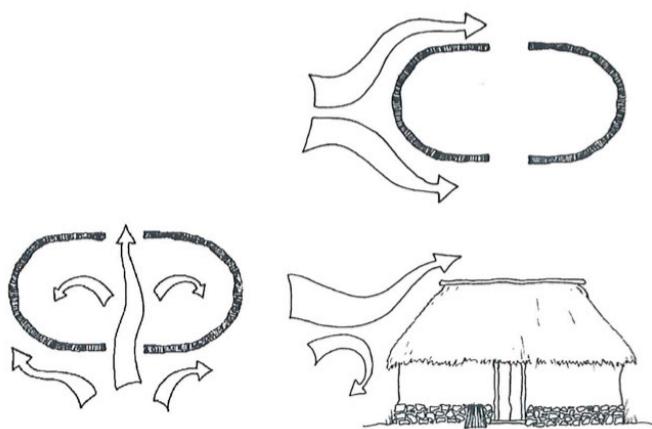


Figura 7. . Choza Maya. Ubicada estratégicamente para aprovechar los vientos frescos y esquivar los vientos cálidos. Fuente: (Neila González, 2004)

En conclusión, cada cultura se refugió de una manera u otra dependiendo de su situación y climatología, pero siempre trabajando con las fuerzas y recursos de la naturaleza, y no en contra de ellas, aprovechando sus potenciales para crear unas condiciones de refugio adecuadas.

A lo largo de los siglos, la arquitectura ha evolucionado en respuesta al sol, adaptando formas, materiales y orientaciones según las necesidades climáticas específicas de cada región. Este conocimiento acumulado nos ha permitido no solo habitar distintos entornos de manera confortable, sino también comenzar a integrar tecnologías que aprovechan el sol de manera más directa y eficiente. Con la llegada de la energía solar fotovoltaica, la arquitectura ha dado un paso significativo al transformar la relación con el sol, no solo como fuente de luz y calor, sino también como una fuente sostenible de energía. La integración de paneles solares en fachadas y techos de edificios refleja esta nueva fase, donde la arquitectura no solo responde al clima, sino que también contribuye activamente a la generación de energía limpia.

2.1.- ENERGÍA RENOVABLE

En España, el consumo de energía es un tema importante debido a las crisis energéticas que han afectado al país en los últimos años. La dependencia de España de las importaciones de combustibles fósiles, como el petróleo y el gas, ha creado vulnerabilidades en el suministro de energía, lo que ha llevado a aumentos significativos en los precios de la energía afectando a la economía del país.

En este contexto, la energía fotovoltaica ha cobrado una mayor importancia en nuestro país en los últimos años. España es uno de los países líderes en Europa en la instalación de energía fotovoltaica, y se espera que esta tendencia continúe en el futuro. El país cuenta con una gran cantidad de horas de sol al año, lo que lo convierte en un lugar ideal para la generación de energía solar (AEMET, 2018).

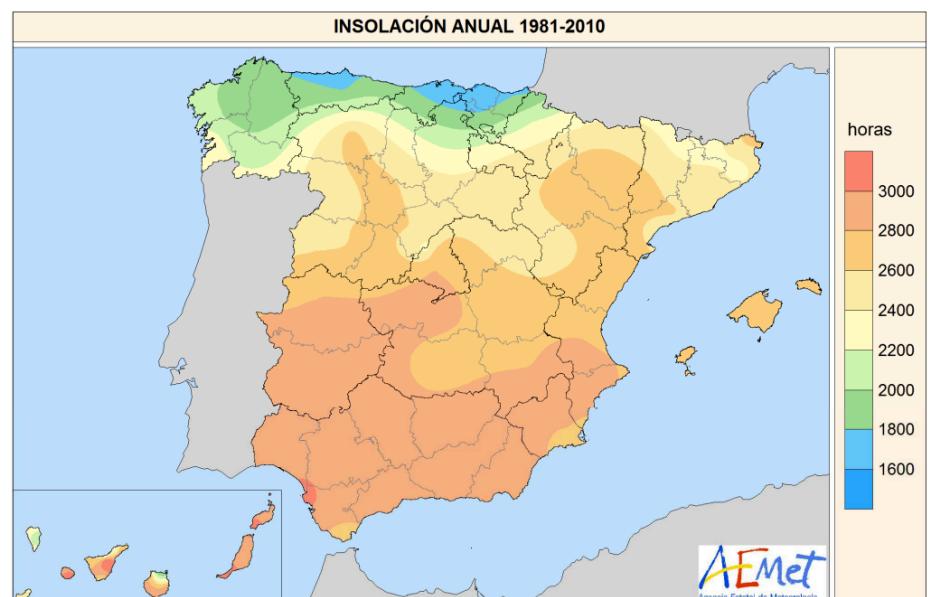


Figura 8. Mapa de insolación de España. Fuente: Aemet

Además, en los últimos años, el costo de la energía fotovoltaica ha disminuido significativamente, lo que ha hecho que sea más competitiva en comparación con otras fuentes de energía. Esto ha llevado a un aumento en la instalación de paneles solares fotovoltaicos en hogares y empresas de todo el país.

Sin embargo, a pesar de la creciente importancia de la energía fotovoltaica en España, la transición a un sistema de energía más sostenible y renovable sigue

siendo un desafío. A medida que aumenta la demanda de energía, es importante seguir invirtiendo en la investigación y el desarrollo de tecnologías renovables y en la mejora de la eficiencia energética. Además, se necesitan políticas y marcos regulatorios que fomenten la adopción de energía renovable y faciliten la transición hacia un sistema de energía más sostenible.

El porvenir de nuestro planeta depende de la manera en la que produzcamos energía: para ello es fundamental utilizar un sistema energético que sea fiable, accesible y descarbonizado.

Son energías renovables aquellas que se obtienen a partir de fuentes naturales e inagotables y generan electricidad limpia (Acciona, s.f.). Las fuentes de energía renovables son fuentes de energía limpias e ilimitadas. Se diferencian de los combustibles fósiles y de las energías a las que estamos habituados en su gran variedad, abundancia y posibilidad de uso en cualquier parte del mundo, pero su principal diferencia con los combustibles fósiles está en que no desprenden gases de efecto invernadero ni emisiones contaminantes.

2.2.- ANTECEDENTES. NECESIDADES ENERGÉTICAS. VISIÓN GLOBAL DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS ACTUALES

En primer lugar, vamos a mirar atrás para descubrir de dónde venimos y hacia dónde vamos.

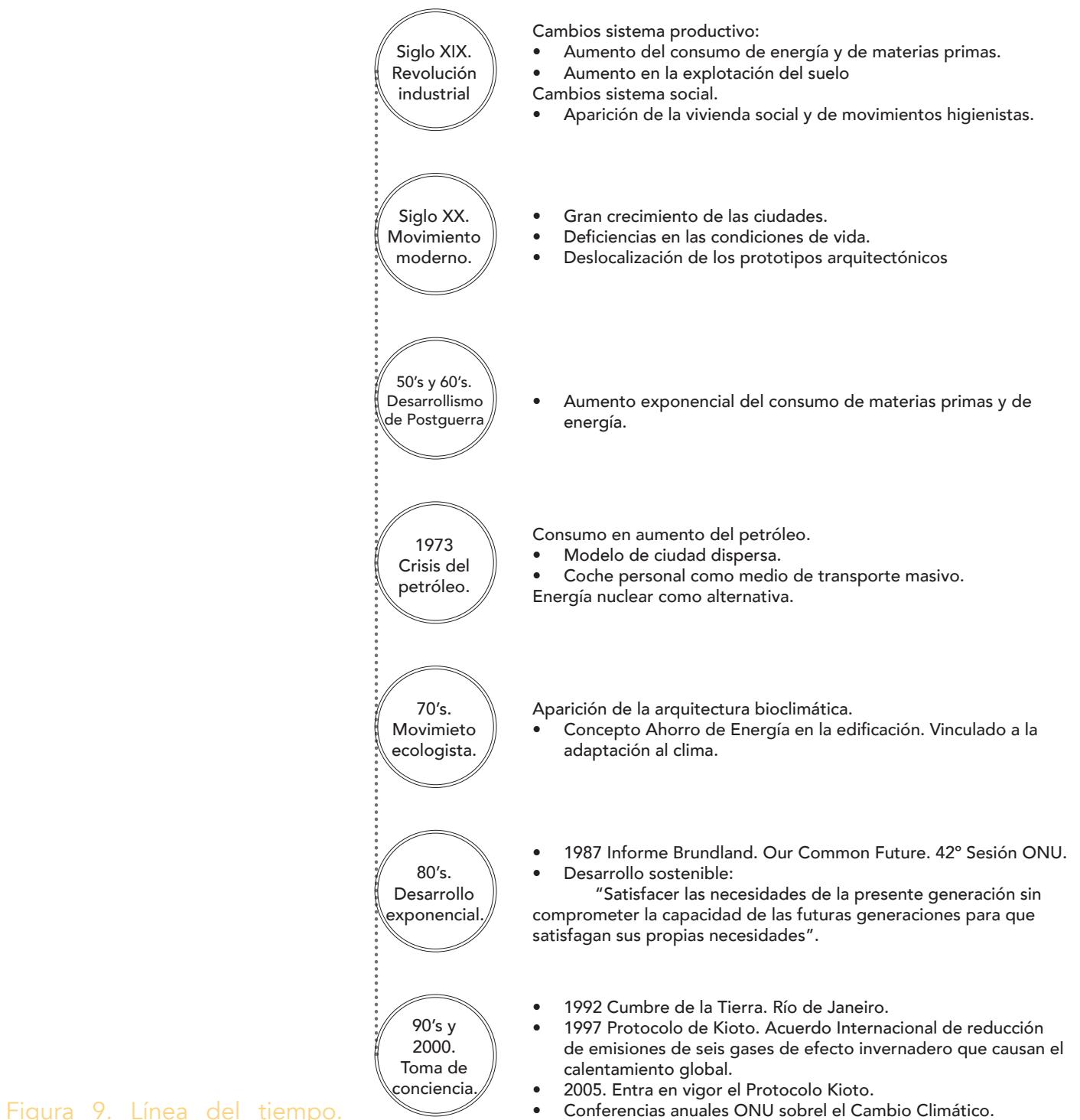


Figura 9. Línea del tiempo.
Fuente: elaboración propia.

Durante el siglo XX, el bioclimatismo comenzó a ganar relevancia como una respuesta ante la preocupación por la eficiencia energética y el impacto en la construcción.

Era de esperar que la demanda de electricidad en Europa durante la pandemia se desplomase. Según datos de International Energy Agency (IEA), cayó un 1,3% en 2019 y un 4% en 2020. Sin embargo, en 2021 la demanda de energía aumentó más de un 4%, llegando aproximadamente al nivel anterior a la pandemia. Los principales impulsores del fuerte repunte de la demanda fueron dos: en primer lugar, la economía de Europa creció con fuerza, encabezada por el sector industrial, mientras que la recuperación del sector comercial se vio frenada por las medidas de protección de la salud; en segundo lugar, las temperaturas fueron más frías de lo habitual, lo que hizo que la demanda en calefacción aumentara considerablemente: abril de 2021 fue el mes más frío desde 2003 (IEA - International Energy Agency, s.f.).

En cambio, la demanda de energía en la UE disminuyó en 2022 un -3,6% y un -2,4% en 2023, principalmente debido a la reducción de la producción industrial, y no se espera que regrese a los niveles anteriores a la crisis hasta 2026 (IEA - International Energy Agency, s.f.).

En cuanto a las necesidades energéticas actuales, la demanda de energía sigue aumentando debido al crecimiento de la población, la urbanización y el desarrollo económico. Esto ha llevado a un mayor consumo de combustibles fósiles y a una preocupación creciente por el cambio climático y la seguridad energética.

En 2024, el IEA presentó un informe IEA Electricity 2026. En él se revelan datos relacionados con la demanda de electricidad global. Según esta fuente, la demanda eléctrica mundial de 2023 se vio afectada por la caída del consumo en economías avanzadas, mientras que se pronostica un aumento del 3,4% entre 2024 y 2026, principalmente impulsado por China, India y el Sudeste Asiático (IEA - International Energy Agency, s.f.).

En resumen, en los últimos años la demanda energética en la Unión Europea ha mostrado una tendencia

al alza, impulsada por varios factores económicos, sociales y tecnológicos. Según los informes de la Agencia Internacional de la Energía, este incremento se debe principalmente a la recuperación económica postpandemia, el crecimiento de la población y la expansión de sectores industriales y tecnológicos que demandan altos niveles de energía. La Unión Europea se enfrenta al desafío de satisfacer esta creciente demanda mientras avanza hacia sus objetivos de sostenibilidad y neutralidad climática. Entre las estrategias planteadas se incluye un mayor uso de las energías renovables.

2.3- NORMATIVAS DE APLICACIÓN EN LAS ENERGGÍAS RENOVABLES

Lo que nos interesa saber ahora es: cuáles son las líneas de actuación que se siguen en Europa y en España para promover estas energías renovables, y cuáles son las normativas más técnicas que lo rigen.

En la Unión Europea aparecen una serie de Tratados que se logran a través de distintos tipos de actos legislativos. Algunos de ellos vinculantes y otros no; y algunos se aplican a todos los países de la UE y otros no. Los actos que son de obligado cumplimiento para toda la UE son los Reglamentos. Más tarde hablaremos sobre las Directivas (actos legislativos en los que se establecen objetivos) que entrarán dentro del apartado de Planes y Estrategias.

El Reglamento que nos interesa en nuestro tema es el Reglamento (UE) 2018/1999 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima. El objetivo de este Reglamento es asegurar que la Estrategia de la Unión de la Energía de la Unión Europea se implemente de manera coordinada y coherente en sus cinco dimensiones:

- La descarbonización.
- La eficiencia energética.
- La seguridad energética.
- El mercado interior de la energía.
- Investigación, innovación y competitividad.

(Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2018).

Además, tiene como objeto asegurar que la UE alcance sus objetivos, los del marco de actuación en materia de clima y energía hasta el año 2030 y los del Acuerdo de París sobre el Cambio Climático.

Este exige también que los estados miembros de la UE:

- Presenten un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima para el período de 2021 a 2030. Cada país debe tener el suyo, en el caso de nuestro país (PNIEC) fue enviado a la UE en marzo de 2020 y está aprobado.
- Preparen estrategias de reducción de emisiones

- a largo plazo (para ayudar al cumplimiento de los objetivos de la UE), con una perspectiva de cincuenta años.
- Presenten informes bienales de la situación en la que se encuentra la aplicación de los planes, para así realizar un seguimiento.

(Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2018).

Como normativas vigentes en España que sean de obligado cumplimiento, tenemos el Código Técnico de la Edificación, el cual dedica un apartado al Ahorro de Energía (DB-HE).

El objetivo del requisito básico "Ahorro de energía" consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir, asimismo, que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

(Ministerio de Vivienda y Agenda urbana, 2022).

Este documento limita el consumo energético de los edificios y además rige las condiciones de las instalaciones de energías renovables para el agua caliente sanitaria, pero el capítulo que rige la normativa de energía fotovoltaica es el HE5.

15.6. Exigencia básica HE 5: Generación mínima de energía eléctrica procedente de fuentes renovables.

Los edificios dispondrán de sistemas de generación de energía eléctrica procedente de fuentes renovables para uso propio o suministro a la red.

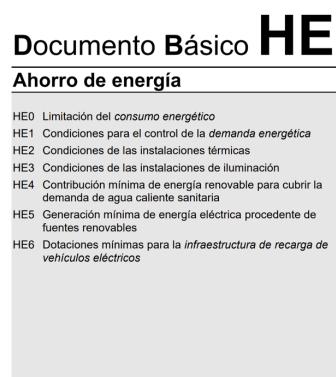


Figura 10. Portada CTE-DB-HE. Fuente: Código Técnico

Este apartado se aplica a edificios determinados, es decir, no todos deben cumplirlo. La última modificación del CTE exige que todos los edificios (no solo los de uso no residencial privado) de más de 1000m² dispongan de sistemas de generación de energía eléctrica, bien sea para consumo propio o para aportación a la red. Este cambio se ocasionó tras la aprobación de un Real Decreto en el que se redujeron los trámites administrativos para la implantación de energías renovables para autoconsumo. De este modo se ha conseguido impulsar el uso de las energías renovables dentro de las líneas que marca el PNIEC.

No se especifica qué sistema de energía renovable utilizar, pero sí que se debe instalar un mínimo de potencia que irá en función del propio uso del edificio y de lo que se vaya a consumir. Si bien, en nuestro país la energía solar fotovoltaica tiene una gran presencia.

Como novedad en esta última actualización del CTE se ha incluido un nuevo apartado (HE6) en el que se exigen unos servicios mínimos para la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos.

El CTE se encarga de traspasar Directivas europeas a nuestras exigencias constructivas. Por ejemplo, la Directiva 2010/31/UE, que se refiere a la eficiencia energética de los edificios y que obliga a revisar y actualizar los requisitos mínimos de eficiencia energética periódicamente para adaptarlos a los avances técnicos del sector de la construcción. Con cada directiva se hace necesario revisar nuestros Códigos y verificarlos.

Entre otros, el Código Técnico exige obligaciones adicionales como son el diseño y construcción de edificios que demanden poca energía, que se asegure el confort y que además intervengan las energías renovables.

Además, en España se impuso el Real Decreto 244/2019, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019). Esta normativa estatal regula las condiciones administrativas, técnicas y económicas del

Real Decreto 15/2018. Los cambios más importantes que se establecen en la nueva normativa para instalar placas solares son:

- La energía producida a partir de instalaciones de autoconsumo quedaba completamente libre de impuestos. Con ello, quedó derogado de forma definitiva el conocido como impuesto al sol.
- Se reconoce el derecho al autoconsumo colectivo.
- Se simplifican los trámites administrativos y técnicos, especialmente para instalaciones de pequeña potencia.
- Se elimina el límite de potencia. Antes, únicamente se podía instalar una potencia fotovoltaica igual o inferior a la contratada. Con la entrada en vigor del RD 244/2019 no existe esta limitación.
- Se posibilita el alquiler de tejados y/o cubiertas para que terceros puedan producir electricidad.

(Haro, 2024).

FONDOS NEXT GENERATION

Los Fondos Next Generation son un paquete de estímulo económico aprobado por la Unión Europea en respuesta a la crisis económica provocada por la pandemia de COVID-19. Este fondo es el mayor paquete financiado en Europa, con un total de 750.000 millones de euros destinados a ayudar a los países miembros a recuperarse de los efectos económicos y sociales de la pandemia, así como a prepararse para desafíos futuros como la transición ecológica y digital (Comisión Europea, 2024).



**Financiado por
la Unión Europea**
NextGenerationEU

Figura 11. Logotipo de los fondos europeos. Fuente: Comisión Europea.

España es uno de los beneficiarios de estos fondos, recibiendo alrededor de 140.000 millones de euros. Estos fondos están destinados a impulsar reformas y

proyectos en áreas clave, como la transición ecológica, la digitalización, la cohesión social y territorial, y la igualdad de género.

Para gestionar estos fondos, el Gobierno español desarrolló el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, que establece las prioridades y estrategias para la implementación de los fondos.

Los Fondos Next Generation EU, gestionados en España a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), están alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Este plan impulsa la transición ecológica, digitalización, cohesión social y la igualdad de género, todos contribuyendo a los ODS. En el ámbito de la energía solar fotovoltaica, el PRTR apoya varios ODS clave:

- ODS 7 (Energía Asequible y No Contaminante): Fomenta el uso de energía renovable, mejorando el acceso a energía limpia y sostenible.
- ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura): Moderniza infraestructuras y promueve la innovación en tecnologías solares.
- ODS 13 (Acción por el Clima): Reduce emisiones de carbono, combatiendo el cambio climático.
- ODS 8 (Trabajo Decente y Crecimiento Económico): Genera empleo en el sector de energías renovables, promoviendo un crecimiento económico sostenible.

(Naciones Unidas, s.f.).

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Figura 12. ODS. Fuente: Naciones Unidas.

PLAN DE RECUPERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y RESILIENCIA.

Este plan se centra en cuatro ejes principales: transición ecológica, transformación digital, cohesión social y territorial, e igualdad de género.

(Gobierno de España, s.f.)



Figura 13. Logotipo del plan.

Fuente: Gobierno de España

Este plan se articula en torno a cuatro ejes principales:

1. Transición Ecológica: Este eje se enfoca en impulsar un modelo económico más sostenible, basado en la reducción de emisiones de carbono, la eficiencia energética y el uso de energías renovables. El objetivo es cumplir con los compromisos de España en el marco del Pacto Verde Europeo y el Acuerdo de París.

2. Transformación Digital: Se busca digitalizar la economía y la sociedad española, con inversiones en infraestructuras digitales, la mejora de las competencias digitales de la población, y la modernización de la administración pública y las empresas.

3. Cohesión Social y Territorial: Este eje se centra en reducir las desigualdades sociales y económicas, promoviendo el desarrollo de regiones menos favorecidas y fortaleciendo el estado de bienestar. También incluye políticas activas de empleo y la mejora de la educación y la formación profesional.

4. Igualdad de Género: Se promueve la igualdad de oportunidades entre hombres y mujeres, especialmente en el acceso al empleo y la conciliación de la vida laboral y familiar, además de combatir la violencia de género.

(Gobierno de España, s.f.)



Figura 14. Principales objetivos del plan. Fuente: planderecuperacion.gob.es

Estos cuatro ejes orientan las diez políticas palanca que determinan la evolución futura del país (figura 7, recuadros del I al X). El Plan de Recuperación se divide en 30 componentes específicos que detallan las reformas y proyectos que se llevarán a cabo en cada área. Entre estos, destacan los proyectos relacionados con la movilidad sostenible, la rehabilitación de viviendas, la modernización de la industria, la digitalización del sistema educativo, y, muy importante, la promoción de energías renovables.

Dentro del componente 7 Despliegue e integración de energías renovables, se estimó una inversión total de 3.165 millones €. Algunos de los objetivos que se buscan con esto, tanto de inversiones como de reformas, ya centrandonos en la energía solar fotovoltaica, fueron:

- Financiación de Proyectos Solares: Se destinan importantes recursos para la construcción de nuevos parques solares y la mejora de los existentes. Esto incluye tanto grandes instalaciones conectadas a la red como proyectos de menor escala orientados al autoconsumo.
- Incentivos al Autoconsumo y Eficiencia Energética: El plan fomenta la instalación de paneles solares en viviendas, edificios públicos y empresas, con subvenciones y deducciones fiscales. También se apoya la creación de comunidades energéticas que permitan a los ciudadanos compartir la energía

- generada.
- Mejora de la Infraestructura de Red: Para integrar de manera eficiente la creciente producción de energía solar, se están modernizando las redes eléctricas.
- Innovación y Desarrollo Tecnológico: Se impulsa la investigación en nuevas tecnologías solares, como paneles más eficientes o sistemas de almacenamiento de energía, para hacer que la energía solar sea aún más competitiva y fiable.
- Creación de Empleo y Desarrollo Local: Las inversiones en energía solar generan empleo, tanto en la construcción y mantenimiento de infraestructuras como en la industria asociada. Además, estas inversiones contribuyen al desarrollo de regiones rurales.

Algunas de las reformas que se implementan en este plan son:

- Ley de Cambio Climático y Transición Energética.
- Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030.
- Programa de Rehabilitación Energética de Edificios.
- ...

(Gobierno de España, s.f.)

Las ayudas más destacables en lo que se refiere a energía fotovoltaica fueron: Ayudas directas a CCAA. Programas de incentivos ligados al autoconsumo y al almacenamiento. Estas ayudas se repartieron por comunidades autónomas, ayudando al sector residencial a impulsar el uso de la energía solar fotovoltaica en las viviendas. (Gobierno de España. PRTR., s.f.)

Políticas palanca y componentes	
	I. Agenda urbana y rural, lucha contra la despoblación y desarrollo de la agricultura <ul style="list-style-type: none"> 1. Plan de choque de movilidad sostenible, segura y conectada en entornos urbanos y metropolitanos 2. Plan de rehabilitación de vivienda y regeneración urbana 3. Transformación ambiental y digital del sistema agroalimentario y pesquero
	II. Infraestructuras y ecosistemas resilientes <ul style="list-style-type: none"> 4. Conservación y restauración de ecosistemas y su biodiversidad 5. Preservación del espacio litoral y los recursos hídricos 6. Movilidad sostenible, segura y conectada
	III. Transición energética justa e inclusiva <ul style="list-style-type: none"> 7. Despliegue e integración de energías renovables 8. Infraestructuras eléctricas, promoción de redes inteligentes y despliegue de la flexibilidad y el almacenamiento 9. Hoja de ruta del hidrógeno renovable y su integración sectorial 10. Estrategia de Transición Justa
	IV. Una Administración para el siglo XXI <ul style="list-style-type: none"> 11. Modernización de las Administraciones públicas
	V. Modernización y digitalización del tejido industrial y de la pyme, recuperación del turismo e impulso a una España nación emprendedora <ul style="list-style-type: none"> 12. Política Industrial España 2030 13. Impulso a la pyme 14. Plan de modernización y competitividad del sector turístico 15. Conectividad Digital, impulso de la ciberseguridad y despliegue del 5G
	VI. Pacto por la ciencia y la innovación. Refuerzo a las capacidades del Sistema Nacional de Salud <ul style="list-style-type: none"> 16. Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial 17. Reforma institucional y fortalecimiento de las capacidades del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación 18. Renovación y ampliación de las capacidades del Sistema Nacional de Salud
	VII. Educación y conocimiento, formación continua y desarrollo de capacidades <ul style="list-style-type: none"> 19. Plan Nacional de Competencias Digitales (<i>digital skills</i>) 20. Plan estratégico de impulso de la Formación Profesional 21. Modernización y digitalización del sistema educativo, incluida la educación temprana de 0 a 3 años
	VIII. Nueva economía de los cuidados y políticas de empleo <ul style="list-style-type: none"> 22. Plan de choque para la economía de los cuidados y refuerzo de las políticas de inclusión 23. Nuevas políticas públicas para un mercado de trabajo dinámico, resiliente e inclusivo
	IX. Impulso de la industria de la cultura y el deporte <ul style="list-style-type: none"> 24. Revalorización de la industria cultural 25. España hub audiovisual de Europa (<i>Spain AVS Hub</i>) 26. Plan de fomento del sector del deporte
	X. Modernización del sistema fiscal para un crecimiento inclusivo y sostenible <ul style="list-style-type: none"> 27. Medidas y actuaciones de prevención y lucha contra el fraude fiscal 28. Adaptación del sistema impositivo a la realidad del siglo XXI 29. Mejora de la eficacia del gasto público 30. Sostenibilidad a largo plazo del sistema público de pensiones en el marco del Pacto de Toledo

Figura 15. Políticas y componentes, destacando las energías renovables. Fuente: planderecuperacion.gob.es

PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA (PNIEC, 2021-2030).

Se trata de un documento que define los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, de incorporación de energías renovables y de eficiencia energética (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, 2020). Se trata de una serie de iniciativas que persiguen los siguientes objetivos:

- 40% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.
- 32% de renovables sobre el consumo total de energía final bruta.
- 32,5% de mejora de la eficiencia energética.
- 15% interconexión eléctrica de los Estados miembros.

Este documento define las líneas de actuación necesarias para cumplir estos objetivos.



Figura 16. PNIEC. Fuente: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.html>

HOJA DE RUTA PARA LA DESCARBONIZACIÓN.

El documento "Hoja de ruta para la descarbonización de la edificación en todo su ciclo de vida" destaca la importancia de reducir las emisiones de carbono asociadas al sector de la construcción, tanto las operativas como las embobendas, para alcanzar la neutralidad climática en 2050. El sector de la edificación es responsable de una gran parte del consumo energético y de las emisiones de CO₂ (Green Building Council España, s.f.).

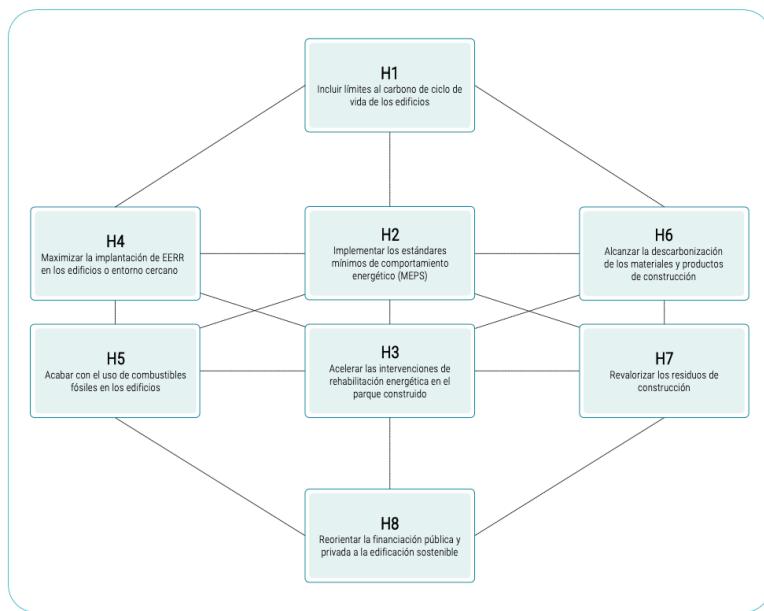


Figura 17. Políticas y componentes, destacando las energías renovables. Fuente: planderecuperacion.gob.es

El documento enfatiza la necesidad de abordar no solo el carbono operativo (emisiones generadas durante el uso del edificio), sino también el carbono embebido, que incluye las emisiones derivadas de la producción, transporte, construcción y fin de vida de los materiales de construcción.

La hoja de ruta propone varios hitos clave para descarbonizar el sector, incluyendo la mejora de la eficiencia energética, el incremento en el uso de energías renovables, y la transformación de los materiales y procesos de construcción para reducir las emisiones embebidas. Estos esfuerzos deben ser coordinados entre todos los actores del sector, incluyendo gobiernos, empresas constructoras, y la ciudadanía. La incorporación de tecnologías solares fotovoltaicas en el diseño y construcción de edificios puede reducir el carbono operativo al generar energía limpia y renovable in situ.

En conclusión, existen una serie de normativas de obligado cumplimiento que debemos seguir sin excepción. Además, los documentos y planes nombrados anteriormente, tanto a nivel Estatal, Europeo y Global, ayudan a fomentar la integración de las energías renovables en la edificación.

3.1.- DEFINICIÓN

La energía fotovoltaica es una tecnología que genera corriente continua (potencia medida en Watios o Kilowatios) a través de un semiconductor cuando es iluminado por un haz de fotones. Las células solares (nombre que se le da a los elementos fotovoltaicos individuales) generan electricidad cuando les alcanza la luz. Cuando se extingue la luz, se acaba la electricidad. Este es el principal inconveniente de esta energía: no hay luz, no hay energía; y su difícil almacenamiento. Sin embargo, presenta numerosas ventajas en comparación con las energías no renovables: utiliza una fuente ilimitada como es el sol, no genera emisiones peligrosas para el medio ambiente, sus costes no tienden a aumentar, puede producir plantas de diferentes tamaños y es una fuente muy confiable y con varios años de experiencia (Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, 2002).

3.2.- EL EFECTO FOTOVOLTAICO

El proceso fotovoltaico funciona por el efecto fotovoltaico en materiales semiconductores. Cuando la luz choca con la célula, una parte de ella se absorbe dentro del material semiconductor y "suelta" los electrones, lo que permite que la carga eléctrica fluya por el material libremente (las células fotovoltaicas tienen un campo eléctrico incorporado que actúa para forzar a los electrones, liberados por la absorción de luz, a fluir en una dirección determinada). El campo se crea de manera forzada, mediante dopaje (introducción controlada de impurezas) en silicio con elementos como el fósforo o el boro, para crear zonas tipo n y p. El sol, al incidir sobre la célula fotovoltaica transfiere a los electrones de la zona n la suficiente energía como para saltar ese campo eléctrico y llegar a la zona p.

- Tipo n: semiconductores dopados con impurezas pentavalentes (donadoras), como son el fósforo, el antimonio y el arsénico.
- Tipo p: semiconductores dopados con impurezas

- Tipo p: semiconductores dopados con impurezas trivalentes (aceptoras), entre ellos se encuentran el boro, el galio y el indio.

3.3.- EL EFECTO FOTOVOLTAICO

El silicio es el material semiconductor más utilizado para la construcción de células solares fotovoltaicas, es el segundo material más abundante en la tierra después del oxígeno, y en función de la ordenación de los átomos en la célula puede presentarse como silicio amorfo, policristalino o monocristalino. En su estado natural puede existir en cuatro formas (cristobalita, tridimita, cuarzo y lechatelierita). Otros materiales semiconductores son el germanio, el arseniuro de galio o el teluro de cadmio.

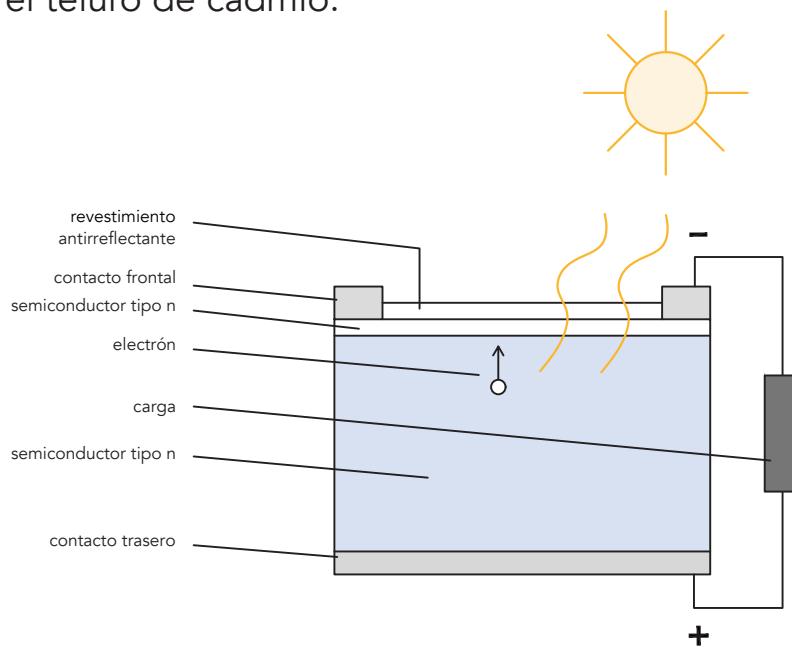


Figura 18. Sistema de célula solar. Fuente: elaboración propia.

La creación de zonas con distintos tipos de dopado en un mismo cristal da lugar a lo que se conoce como uniones p-n (zonas explicadas en el punto anterior). Entre ambas zonas se establece un campo eléctrico que evita el movimiento de electrones de una zona a otra.

El sol, al incidir sobre la célula fotovoltaica transfiere a los electrones de la zona n la suficiente energía como para saltar ese campo eléctrico y llegar a la zona p.

Ese electrón sólo podrá volver a su zona por el circuito exterior al que se conecta la célula generando una corriente eléctrica.

Los contactos eléctricos que tienen lugar en ambas caras de la célula solar recogen esa corriente eléctrica. La cara que no recibe luz solar se recubre totalmente mientras que la cara que se expone al sol sólo se cubre de manera parcial, con una rejilla metálica. Esto permite recolectar de forma eficiente los electrones que se generan en el interior de la célula, además de permitir que los rayos solares incidan sobre un porcentaje alto del área del material semiconductor.

Así obtenemos una especie de pila que funciona únicamente cuando recibe luz solar. Esa "pila", cuando incide sobre ella la luz solar, ofrece una diferencia de tensión de 0,5 V si es de silicio.

El cociente entre la potencia eléctrica que suministra la célula y la potencia de la radiación que incide sobre la misma en ese momento, se denomina eficiencia de la célula. Las primeras células, desarrolladas en 1954, alcanzaban una eficiencia de un 6%. En los actuales procesos de fabricación de células se consiguen eficiencias entre 10 y 18%. En laboratorio se alcanzan rendimientos del 22-26%. Dado que las eficiencias prácticas están en el rango de 5 a 20%, el 80% o más de la energía de la luz incidente se convierte en calor (Fig. 3.2). En 2006, el 95% del mercado fotovoltaico mundial era silicio cristalino. Por otra parte, la rejilla metálica que recoge los electrones provoca que parte de la superficie de captación se vea tapada por estos contactos eléctricos. Las pérdidas relacionadas a este concepto dependen del diseño de la célula.

En el mercado actual se pueden conseguir módulos solares cuyas células tienen los contactos eléctricos enterrados en la superficie, consiguiendo así más superficie expuesta al sol y más eficiencia en cuanto al funcionamiento.

Eficiencias típicas de las células solares en el mercado son:

- Silicio amorfo: 2-7%
- Célula Ce-Te: 6-10%
- Silicio policristalino: 10-14%
- Silicio monocristalino: 11-15%

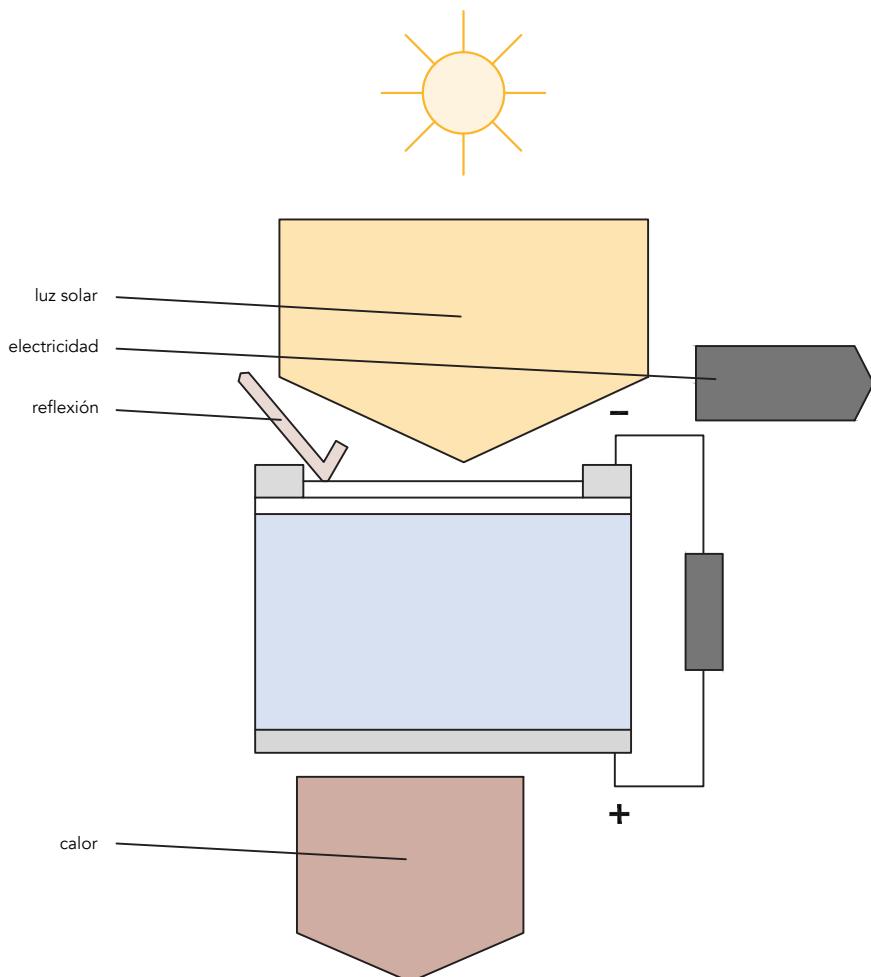


Figura 19. Funcionamiento de la célula solar. Fuente: elaboración propia.

3.4.- MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO

Los principales materiales que se utilizan en las células fotovoltaicas se pueden clasificar como:

- Silicio monocristalino.
- Silicio policristalino
- Silicio amorfo.

Imagen 2. Tipos de células solares. Fuente: <https://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>

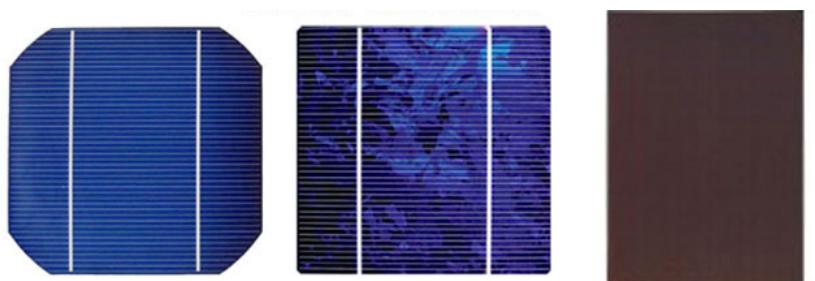
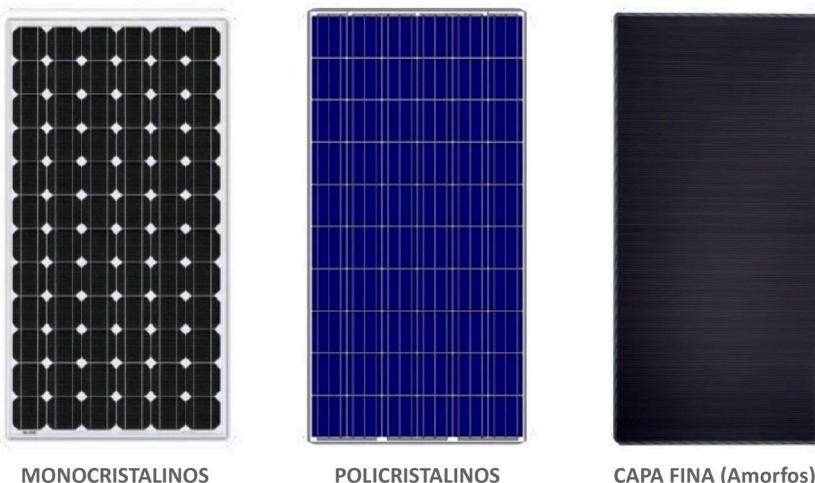


Imagen 3. Tipos de células solares. Fuente: <https://ecofener.com/blog/tipos-de-paneles-solares/>



La energía que proporciona una célula solar es muy pequeña y a muy poca tensión, y una célula individual es muy frágil. Los fabricantes agrupan las células para garantizar que funcionen como un todo, buscando suministrar niveles de tensión y potencia adecuados a cada aplicación, y las protege de los agentes climatológicos adversos. Es lo que se llama panel o módulo solar fotovoltaico. En el panel se asocian eléctricamente un determinado número de células solares y se protege todo el compacto sellándolo al vacío.

3.5.- ELEMENTOS DE UNA INSTALACIÓN

En primer lugar, debemos tener en cuenta los tipos de instalaciones solares fotovoltaicas más comunes que existen:



Figura 20. Esquema de los tipos de instalaciones fotovoltaicas. Fuente: elaboración propia.

Eficiencias típicas de las células solares en el mercado son:

- Silicio amorfo: 2-7%
- Célula Ce-Te: 6-10%
- Silicio policristalino: 10-14%
- Silicio monocristalino: 11-15%

Nos centraremos en desarrollar los sistemas integrados en la arquitectura.

SISTEMAS AISLADOS

Estos sistemas no están conectados a la red eléctrica y dependen completamente de la energía solar para su funcionamiento, por lo que precisan normalmente de baterías para asegurar la electricidad durante todo el día. Son comunes en lugares donde la red eléctrica no está disponible, lugares de difícil acceso. Los elementos que comúnmente tiene un sistema aislado fotovoltaico son:

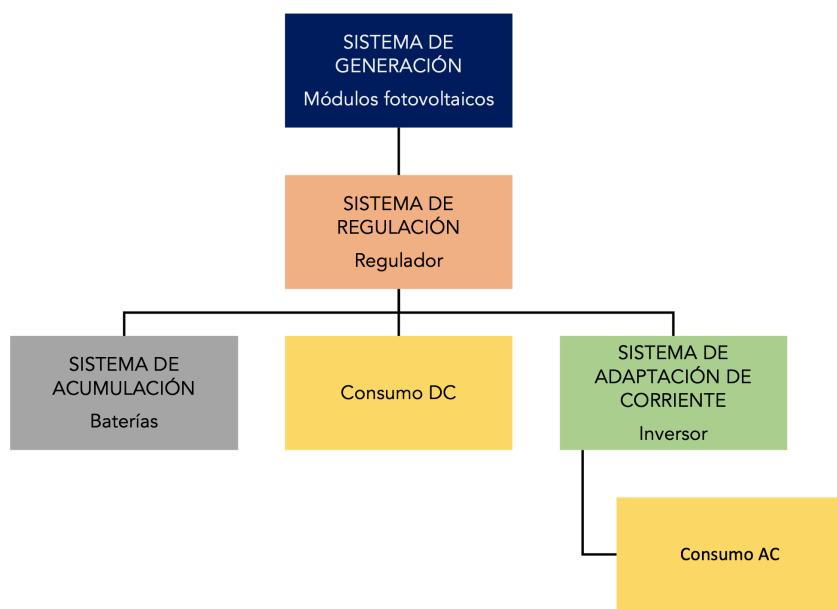


Figura 21. Esquema de sistemas aislados fotovoltaicos. Fuente: elaboración propia.

Características clave de este sistema:

- Independencia Total de la Red Eléctrica: Estos sistemas operan sin conexión a la red eléctrica pública, haciéndolos ideales para ubicaciones remotas o sin acceso a la red.
- Almacenamiento Necesario: Dependencia de las baterías para asegurar el suministro continuo de electricidad.
- Costes Iniciales: Más elevado debido a la necesidad de baterías y reguladores.

SISTEMAS CONECTADOS A RED

Estos sistemas están conectados a la red eléctrica pública. Generan energía solar para su consumo y el exceso se puede vender a la red para recibir compensaciones económicas por ello. Además, cuando el sistema no esté generando energía, se puede servir de la red.

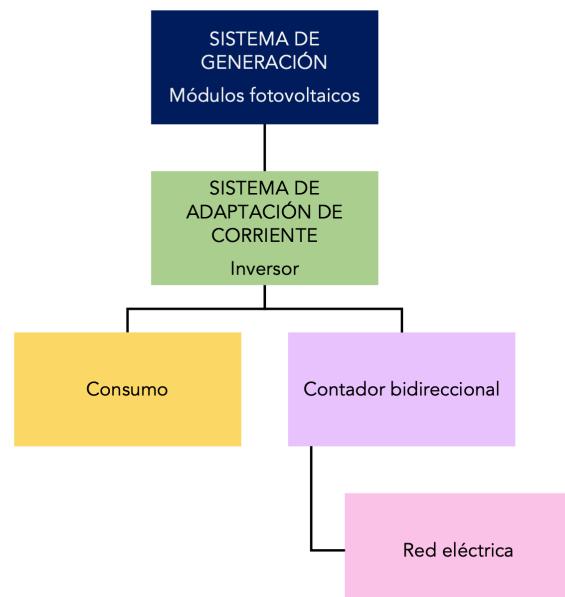


Figura 22. Esquema de sistemas conectados a red. Fuente: elaboración propia.

- Dependencia de la Red: funciona en conjunto con la red eléctrica, sin necesidad de almacenamiento en baterías.
- Coste Menor: al no requerir baterías, el coste inicial es generalmente más bajo.
- Balance Neto: permite a los usuarios vender el exceso de energía generada a la red, reduciendo las facturas eléctricas.

SISTEMAS HÍBRIDOS

Estos sistemas combinan elementos de los sistemas aislados y conectados a la red. Pueden funcionar tanto conectados a la red eléctrica como de manera independiente a través de las baterías.

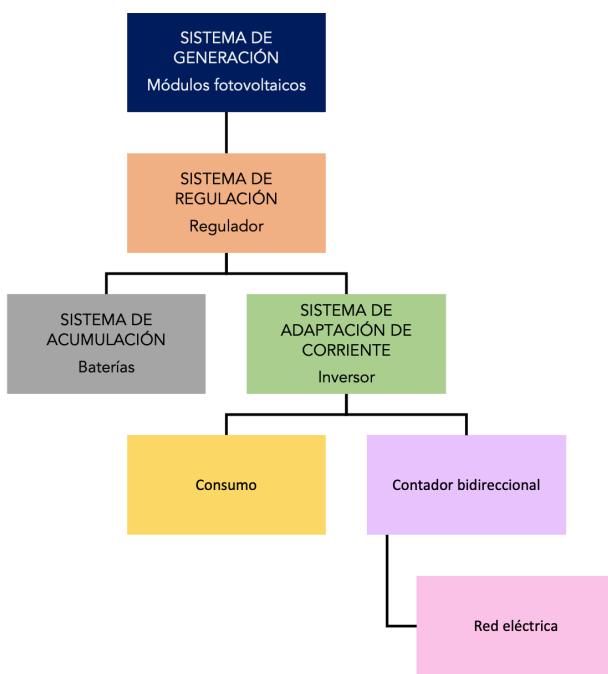


Figura 23. Esquema de sistemas híbridos. Fuente: elaboración propia.

Las características clave son:

- Flexibilidad: combina ambos sistemas, permitiendo operar tanto conectado a la red como de manera aislada en caso de cortes.
- Almacenamiento y Respaldo: incluye baterías y conexión a red para asegurar un suministro ininterrumpido de energía.
- Coste Elevado: al combinar elementos de ambos tipos de sistemas, suele tener un coste inicial más alto.

A continuación, se van a describir más en profundidad cada uno de los elementos de estas instalaciones.

- El generador solar fotovoltaico. Compuesto por un conjunto de módulos fotovoltaicos interconectados (a definir según la demanda energética), dispuestos de tal forma que reciban sobre su superficie la energía solar necesaria para la generación

- fotovoltaica calculada en cada aplicación.
- El sistema de acumulación (batería). Su función principal es almacenar la energía generada en exceso durante períodos de baja demanda o alta radiación solar, para luego suministrarla cuando el consumo es elevado o la insolación es insuficiente o nula.
- El acondicionamiento de la potencia. Incluye un conjunto de dispositivos eléctricos y electrónicos que gestionan la generación, acumulación y consumo de electricidad, proporcionando además control y protección para la instalación. Entre ellos, los más comunes son el regulador (su labor principal es evitar sobrecargas y descargas en las baterías) y el inversor (regulan el valor de la tensión de salida, ya sea autónomo o conectado a la red).
- Los consumos. Se pueden clasificar en dos grandes categorías: consumos en corriente continua (DC) y consumos en corriente alterna (AC).
- La red eléctrica convencional. En algunos casos, el sistema solar funciona en conjunto con la red eléctrica, mientras que en otros, se instala para inyectar la energía generada directamente en la red.

4. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Las instalaciones fotovoltaicas se calculan en primer lugar determinando la potencia necesaria de la vivienda o edificio que vayamos a diseñar; después, se deben tener en cuenta una serie de criterios como la ubicación, las dimensiones, la orientación e inclinación y las pérdidas que las placas fotovoltaicas puedan tener. Dependiendo del tipo de edificio para el que vaya destinada la instalación fotovoltaica, se determinará de una manera u otra, vamos a centrarnos en determinar un ejemplo de vivienda unifamiliar aislada común, situada en Zaragoza. Estudiaremos el caso en el que se instala un sistema aislado, en el cual necesitaremos el máximo número de baterías. Además, en cada fase de cálculo se estudiará si el parámetro calculado influye en la decisión de instalar un panel en la cubierta o en la fachada.

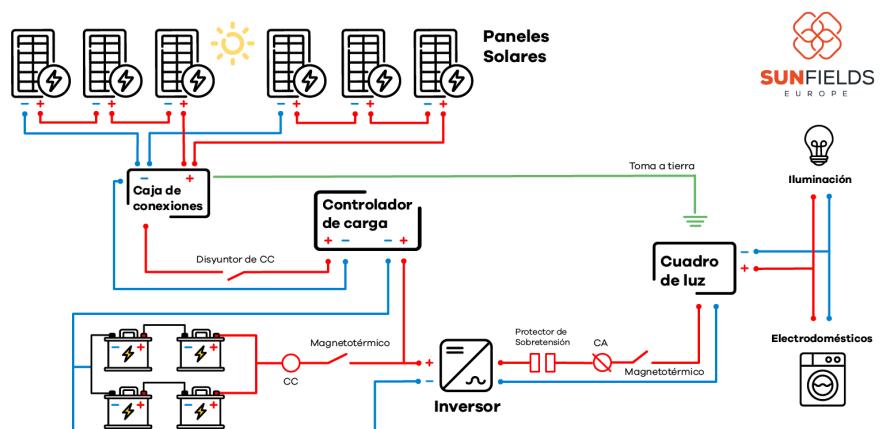


Figura 24. Esquema de una instalación fotovoltaica aislada.
Fuente: Sunfields.

4.1.- DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA MÍNIMA A INSTALAR

Para comenzar, las baterías de la instalación deben ser lo suficientemente grandes como para satisfacer las necesidades energéticas, pero también lo suficientemente pequeñas como para reducir el coste total del sistema. Para ello, necesitamos dos datos clave: el consumo de energía y los días de autonomía.

CONSUMO DE ENERGÍA

Para calcular el consumo de energía, se puede realizar una estimación. Teniendo en cuenta los aparatos que hay en la vivienda, y el tiempo que se utilizan. El consumo de energía de los aparatos se mide en W. Para calcular el consumo total de energía, se multiplica los KW por las horas de uso. Se aporta una tabla donde se desglosa esta información:

APARATO	POTENCIA	TIEMPO DE USO	ENERGÍA
	W	h	W*h
COCINA			
Lavavajillas	1600	0,5	800
Horno	1300	0,1	130
Microondas	1500	0,2	300
Inducción	2000	1,5	3000
Nevera	250	0,5	125
Lavadora	1700	0,12	204
BAÑO			
Secador	1200	0,1	120
Plancha de pelo	200	0,1	20
SALÓN			
Televisión	200	2	400
DORMITORIO			
Flexo	5	2	10
CARGADORES			
Ordenador	60	4	240
Móvil	0,005	4,5	0,0225
CASA			
Calentador de agua	1200	2	2400
Aire acondicionado	1800	0,1	180
Calefacción eléctrica	1000	0,1	100
Plancha de ropa	1600	0,1	160
Total (AC)	15615,005		8189,0225

APARATO	POTENCIA	TIEMPO DE USO	ENERGÍA
	W	h	W*h
Iluminación	100	3	300
Total (DC)	100		300

*Vivienda de 4 personas

Todos estos consumos son en corriente alterna. Sin embargo, se estima la iluminación en corriente continua. Así, sumamos todos los valores de W*hora para saber cuánta energía consume diariamente la vivienda. También podríamos usar la factura mensual de electricidad para estimar el consumo por día. Se aplica también un coeficiente de seguridad del 20%:

$$\text{TOTAL AC} = 8189,0225 + 20\% = 9.826,83 \text{ Wh (AC)}$$

$$\text{TOTAL DC} = 300 + 20\% = 360 \text{ Wh (DC)}$$

Así pues, para el cálculo de los consumos medios diarios (Lmd) consideramos la siguiente expresión:

$$L_{md} = \frac{L_{md,DC} + \frac{L_{md,AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} \times \eta_{con}} = \frac{360 + \frac{9.826,83}{0,90}}{0,95 \times 1} = 11.872,32 \text{ Wh/día}$$

Siendo (Lmd) el consumo medio de energía diario, (Lmd,DC) el consumo medio de energía diario de las cargas en continua y (Lmd,AC) el de las cargas en alterna. Generalmente, para el buen dimensionamiento, tomaremos un rendimiento de la batería de un 95% (nbat), del inversor un 90% (ninv), y de los conductores un 100% (ncon).

DÍAS DE AUTONOMÍA

Debemos tener en cuenta cuántos días funcionará el sistema sin luz solar. Si la ubicación es un área donde hay muchos días nublados, las baterías deben tener la suficiente capacidad para alimentar durante varios días a la vivienda. Los días de autonomía estándar son generalmente de dos a cinco.

4.2.- UBICACIÓN

Para averiguar la inclinación óptima de los paneles solares, se puede realizar de las siguientes dos maneras:

- Criterio del mes crítico: se busca optimizar la relación entre consumo y radiación cada mes, seleccionando los datos del mes menos favorable.
- Criterio de máxima captación de energía anual: se busca optimizar la relación entre consumo y radiación a lo largo del año, considerando la radiación solar global media anual.

Se opta por aplicar el “criterio del mes crítico”. Esta decisión se basa en que, al seleccionar el peor mes, se garantiza que la demanda de la vivienda se cubra en todo momento, ya que se considera el escenario más desfavorable en términos de irradiación (dado que el consumo se considera constante cada mes). Por otro lado, si se utilizara el criterio de captación máxima anual, se cubriría la demanda casi con total seguridad, pero esto podría requerir la instalación de más paneles o baterías de mayor capacidad (se sobredimensiona). Por ello, se considera que el criterio del mes crítico es más adecuado para lograr una instalación optimizada.

Debemos recopilar datos sobre dónde se ubicará la instalación para saber la irradiación de la que dispondremos. En este caso vamos a utilizar los datos de la web PVGIS. Esta web es una aplicación creada por la Unión Europea que recopila diferentes datos para una instalación fotovoltaica en zonas geográficas determinadas (en Europa, Asia o América). Utilizamos los valores para diferentes inclinaciones en nuestra ubicación, Zaragoza (41.637° , -0.944°). Esta web dispone de datos recopilados desde 2005 hasta 2020, vamos a utilizar los valores de irradiación solar del último año disponible (2020), ya que serán los que más se aproximen a la actualidad.

IRRADIANCIA SOLAR H (kWh/m²):

MES	INCLINACIÓN					
	0° (HORIZONTAL)	10°	30°	40°	60°	90° (VERTICAL)
ENERO	62,46	77,92	103,23	112,23	121,45	111,57
FEBRERO	103,8	125,85	160,26	171,45	179,85	156,16
MARZO	127,43	141,79	160,68	164,49	159,96	124,13
ABRIL	158,17	166,5	172,36	169,64	152,76	102,84
MAYO	210,31	214,97	209,99	200,47	168,36	94,34
JUNIO	218,79	221,13	211,49	199,46	163,12	84,06
JULIO	235,65	239,61	231,39	218,86	181,14	96,11
AGOSTO	203,04	212,44	216,43	210,74	185,06	114,14
SEPTIEMBRE	154,33	168,72	185,72	187,61	177,45	129,85
OCTUBRE	112,41	131,04	158,88	167,09	170,51	142,73
NOVIEMBRE	68,83	84,99	111,1	120,19	128,9	116,73
DICIEMBRE	58,47	74,9	102,23	112,23	123,27	115,32

A partir de estos valores, se calculará el consumo medio mensual o la irradiación solar mensual media. Dividiremos los valores obtenidos de esta tabla por el consumo medio Lmd (dato obtenido del punto anterior).

Así, obtenemos esta tabla:

MES	IRRADIACIÓN SOLAR MEDIA L_{md}/H :						INCLINACIÓN 90° (VERTICAL)
	INCLINACIÓN 0° (HORIZONTAL)	INCLINACIÓN 10°	INCLINACIÓN 30°	INCLINACIÓN 40°	INCLINACIÓN 60°		
ENERO	190,08	152,37	115,01	105,79	97,75	97,75	106,41
FEBRERO	114,38	94,34	74,08	69,25	66,01	66,01	76,03
MARZO	93,17	83,73	73,89	72,18	74,22	74,22	95,64
ABRIL	75,06	71,31	68,88	69,99	77,72	77,72	115,44
MAYO	56,45	55,23	56,54	59,22	70,52	70,52	125,85
JUNIO	54,26	53,69	56,14	59,52	72,78	72,78	141,24
JULIO	50,38	49,55	51,31	54,25	65,54	65,54	123,53
AGOSTO	58,47	55,89	54,86	56,34	64,15	64,15	104,02
SEPTIEMBRE	76,93	70,37	63,93	63,28	66,91	66,91	91,43
OCTUBRE	105,62	90,60	74,73	71,05	69,63	69,63	83,18
NOVIEMBRE	172,49	139,69	106,86	98,78	92,10	92,10	101,71
DICIEMBRE	203,05	158,51	116,13	105,79	96,31	96,31	102,95

Procedemos a la selección del ángulo óptimo. En primer lugar, tomamos los cocientes máximos para cada inclinación, para después elegir el mes más desfavorable.

MES	INCLINACIÓN						INCLINACIÓN 90° (VERTICAL)
	0° (HORIZONTAL)	10°	30°	40°	60°		
ENERO	190,08	152,37	115,01	105,79	97,75	97,75	106,41
FEBRERO	114,38	94,34	74,08	69,25	66,01	66,01	76,03
MARZO	93,17	83,73	73,89	72,18	74,22	74,22	95,64
ABRIL	75,06	71,31	68,88	69,99	77,72	77,72	115,44
MAYO	56,45	55,23	56,54	59,22	70,52	70,52	125,85
JUNIO	54,26	53,69	56,14	59,52	72,78	72,78	141,24
JULIO	50,38	49,55	51,31	54,25	65,54	65,54	123,53
AGOSTO	58,47	55,89	54,86	56,34	64,15	64,15	104,02
SEPTIEMBRE	76,93	70,37	63,93	63,28	66,91	66,91	91,43
OCTUBRE	105,62	90,60	74,73	71,05	69,63	69,63	83,18
NOVIEMBRE	172,49	139,69	106,86	98,78	92,10	92,10	101,71
DICIEMBRE	203,05	158,51	116,13	105,79	96,31	96,31	102,95

Se puede observar en la tabla que el mes más crítico es diciembre, lo aislamos y podemos seleccionar el ángulo óptimo:

MES	INCLINACIÓN						INCLINACIÓN 90° (VERTICAL)
	0° (HORIZONTAL)	10°	30°	40°	60°		
DICIEMBRE	203,05	158,51	116,13	105,79	96,31	96,31	102,95

Por tanto, el ángulo óptimo será 60° , obteniendo así la siguiente tabla de irradiaciones H (kWh/m²):

MES	INCLINACIÓN
	60°
ENERO	121,45
FEBRERO	179,85
MARZO	159,96
ABRIL	152,76
MAYO	168,36
JUNIO	163,12
JULIO	181,14
AGOSTO	185,06
SEPTIEMBRE	177,45
OCTUBRE	170,51
NOVIEMBRE	128,9
DICIEMBRE	123,27

Seleccionando los ángulos a estudiar, se tiene en cuenta la facilidad a la hora de construir la subestructura de los paneles, puesto que, si son inclinaciones aproximadas "no redondas", la ejecución de estos sería más complicada.

Como podemos observar, los valores de radiación con la inclinación de 90° (placas totalmente en vertical, en fachada), no varía en gran valor, exceptuando los meses de mayor radiación solar (mayo, junio, julio y agosto). Además, teniendo en cuenta la gran variedad de opciones que nos ofrecen las fachadas fotovoltaicas, se podrían incorporar paneles en la fachada inclinándolos 60° (por ejemplo, a través de lamas solares).

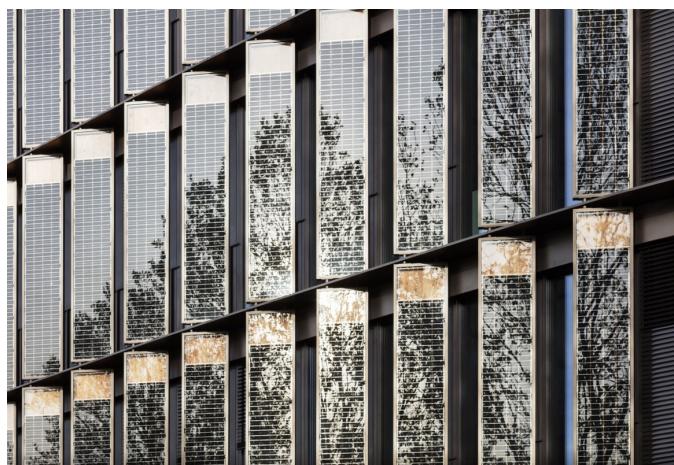


Imagen 5. Lamas fotovoltaicas.
Fuente: <https://www.archdaily.com/885885/freiburg-town-hall-ingenhoven-architects>.

4.3.- DIMENSIONADO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO

Se procede ahora a calcular el número de paneles fotovoltaicos necesarios para la vivienda unifamiliar, teniendo en cuenta lo calculado hasta ahora:

- El consumo medio de energía $L_{md} = 11.872,31 \text{ kWh/m}^2$
- La inclinación óptima: 60°

Así, el número de paneles necesario para la instalación será de:

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} \times HPS_{crit} \times PR}$$

Donde:

- L_{mdcrit} es el consumo medio diario para el mes crítico, en este caso siempre es el mismo ya que hemos considerado el consumo constante todo el año. $L_{md} = 11.872,31 \text{ kWh/m}^2$
- P_{MPP} es la potencia pico de los módulos solares. En este caso, se utilizan los paneles: A-450M GS 144, de la casa comercial Atersa. Se incluye en Anexos la ficha técnica del producto. Por lo tanto, la potencia pico será de 450W.
- HPS_{crit} son las horas de sol pico del mes crítico. Esto se calcula a partir de la tabla de irradiaciones. Al disponer de las irradiaciones en kWh/m^2 , debemos utilizar factores de conversión para convertirlo $\text{Wh/m}^2 \cdot \text{día}$:

$$ENERO: \frac{121,45 \text{ kWh}}{\text{m}^2 \times \text{mes}} \cdot \frac{1000 \text{ Wh}}{1 \text{ kWh}} \cdot \frac{1 \text{ mes}}{31 \text{ días}} = 3.917,74 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \times \text{día}}$$

$$HPS: \frac{3.917,74 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \times \text{día}}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 3,92$$

- PR es el factor global de soleamiento, que varía desde 0,65 hasta 0,90. Se utiliza 0,90 por defecto.

Número de paneles:

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} \times HPS_{crit} \times PR} = \frac{11.872,31}{450 \times 3,92 \times 0,90} = 7,48 \approx \mathbf{8 \, PANELES}$$

El dato que influiría en la colocación de paneles en cubierta o en fachada será "HPS", las horas de sol pico del mes crítico. En el caso de que los paneles se colocaran de manera totalmente vertical (90°), ese dato sería mucho menor, por lo que nos saldría un mayor número de paneles por cálculo. En cambio, como se ha comentado anteriormente, podrían colocarse paneles en fachada con la inclinación óptima (60°).



Imagen 6. Fachada fotovoltaica con paneles integrados, con inclinación. Fuente: <https://tectonica.archi/articles/fachadas-solares-optimizadas-parametricamente-por-architektur-innovation-labor/>

Paneles solares utilizados para el dimensionado:
<https://atersa.shop/panel-solar-455w-a-455m-atersa-gs-m6x24-perc/>

4.4.- DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN

Tras calcular el número de paneles necesarios en la vivienda, debemos pensar en el sistema de acumulación que utilizaremos. Debemos tener en cuenta que los dos parámetros importantes para el dimensionado de las baterías son la máxima profundidad de descarga (estacional y diaria) y el número de días de autonomía. En general, se toman los siguientes parámetros:

- Profundidad de Descarga Máxima Estacional (PD_{max,e}) = 70% = 0,7
- Profundidad de Descarga Máxima Diaria (PD_{max,d}) = 15% = 0,15
- Número de días de Autonomía (N) = 6

Tenemos el consumo de energía medio Ah/día (teniendo en cuenta que las baterías serán de 24V):

$$Q_{Ah} = \frac{L_{md}}{V_{bat}} = \frac{11.872,31}{24} = 494,68 \text{ Ah/día}$$

Por lo que la corriente que debería generar las placas fotovoltaicas en total en condiciones de radiación solar del mes crítico será:

$$I_{GFV,MPP} = \frac{Q_{Ah}}{HPS_{crit}} = \frac{494,68}{3,92} = 126,19 \text{ A}$$

Ahora calculamos la capacidad nominal necesaria de una batería solar considerando tanto la profundidad de descarga diaria como la estacional. Seleccionaremos la mayor de estas dos para evitar posibles insuficiencias, ya sea a nivel diario o estacional.

Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria (C_{nd}):

$$C_{nd}(Wh) = \frac{L_{md}}{P_{D,max,d} \times FC_T} = \frac{11.872,31}{0,15 \times 1} = 79.148,75 \text{ Wh}$$

$$C_{nd}(Ah) = \frac{C_{nd}(Wh)}{V_{BAT}} = \frac{79.148,75}{24} = 3.297,86 \text{ Ah}$$

Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacionaria (C_{ne}):

$$C_{ne}(Wh) = \frac{L_{md} \times N}{P_{D,max,e} \times FC_T} = \frac{11.872,31 \times 8}{0,7 \times 1} = 135.683,57 \text{ Wh}$$

$$C_{ne}(Ah) = \frac{C_{nd}(Wh)}{V_{BAT}} = \frac{135.683,57}{24} = 5.653,48 \text{ Ah}$$

Escogeremos la mayor capacidad nominal, en este caso la capacidad nominal estacionaria Cne, 5.653,48 Ah.

La batería que usaremos será la estacionaria OPzS Solar 1410. Por lo tanto, el número de baterías necesario será de 48 vasos.

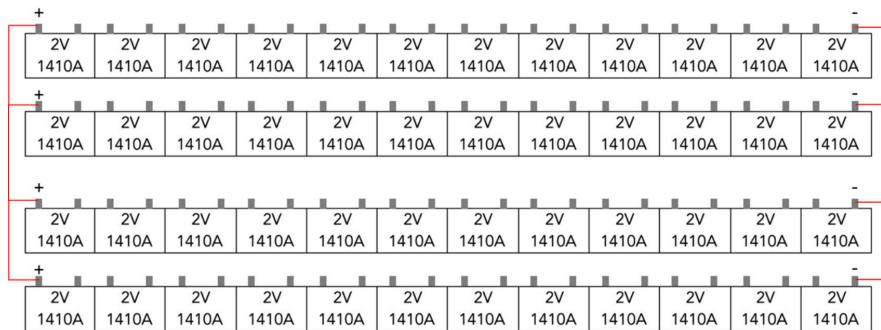


Figura 25. Esquema de las baterías. Fuente: elaboración propia.

El sistema de acumulación no influye en la decisión de colocar paneles en cubierta o en fachada, no obstante sí influye el número de paneles a utilizar.

4.5.- ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN. DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS

INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN MÓDULOS FOTOVOLTAICA

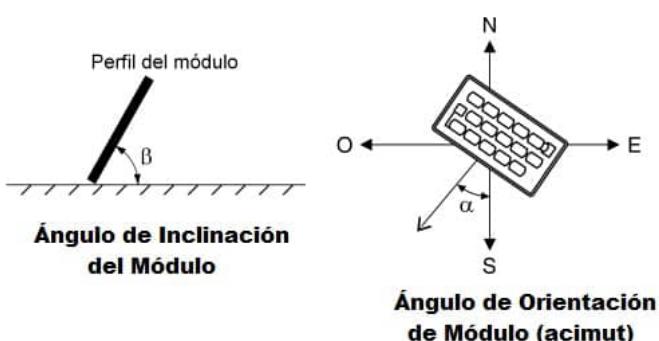


Figura 26. Inclinación y orientación. Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/calculo-fotovoltaica.html>

Al abordar la orientación e inclinación en un sistema fotovoltaico, es fundamental optimizar estos parámetros para maximizar la captación de energía solar. Ya hemos calculado la inclinación óptima anteriormente (60°). La orientación ideal de los paneles solares es hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur.

En algunas ocasiones, los paneles funcionan mejor si se desvían unos grados de la orientación sur. Este ángulo de desvío (α), se llama azimut. En este caso, vamos a orientar los paneles al Sur, sin ninguna desviación. Por lo que, si no hay ninguna desviación, las pérdidas se consideran nulas. Esto garantiza que los paneles reciban la mayor cantidad de radiación solar a lo largo del día.

El estudio realizado en __ obtiene las siguientes afirmaciones:

Incluso con una orientación e inclinación óptimas, el sistema puede sufrir pérdidas que afectan la cantidad de energía producida. Estas pérdidas pueden ser de varios tipos:

- Pérdidas por temperatura: a medida que la temperatura de los paneles solares aumenta, su eficiencia disminuye.
- Pérdidas por reflexión: Parte de la luz solar se refleja en la superficie de los paneles en lugar de ser absorbida.
- Pérdidas eléctricas: pérdidas que ocurren en los cables, conexiones, inversores y otros componentes del sistema, que pueden reducir la cantidad de energía utilizable.

También existen factores que generan sombras y que debemos tener presentes. Las sombras son uno de los factores más significativos que pueden provocar pérdidas adicionales en un sistema fotovoltaico. Elementos que pueden causar sombras a los paneles:

- Vegetación: árboles y plantas cercanas pueden proyectar sombras sobre los paneles.
- Edificios circundantes: estructuras cercanas pueden generar sombras en ciertos momentos del día, particularmente en áreas urbanas.
- Altura de los paneles: la altura a la que se instalan los paneles también influye en la cantidad de sombra recibida. Si los paneles están instalados a una altura baja, pueden verse más afectados por sombras generadas por elementos cercanos.
- Sombras entre los propios paneles.

5. INTEGRACIÓN ÓPTIMA DE CAPTADORES FOTOVOLTAICOS EN EDIFICIOS

La placa solar fotovoltaica está pensada en su origen para una posición concreta. Cuando estas placas salen de su “zona de confort” y se sitúan en otros lugares o posiciones distintos, su rendimiento puede variar.

Según un estudio publicado por la Universidad de Burgos (Díez-Mediavilla, Rodríguez-Amigo, Dieste-Velasco, García-Calderón, & Alonso-Tristán, 2019), en el que se recogieron conjuntos de datos desde varias orientaciones (las no óptimas) para calcular el potencial fotovoltaico:

Los resultados pusieron de manifiesto la viabilidad económica de las instalaciones de placas solares fotovoltaicas integradas (Building Integrated Photovoltaics, BIPV, en inglés), incluso en las fachadas orientadas al norte, en comparación con la instalación horizontal en la misma ubicación.

Por tanto, confirmamos que si se dispone de una sola fachada ubicada a Norte, será más eficiente colocar las placas fotovoltaicas en ella que colocarlas en la cubierta.

Datos obtenidos de este trabajo, con datos obtenidos durante 45 meses:

- GHI, Global Horizontal Insolation. – Radiación global horizontal.
- DHI, Diffuse Horizontal Insolation. – Radiación difusa horizontal.
- BHI, Beam Horizontal Insolation. – Radiación haz de luz horizontal
- GVI, Vertical Global Insolation (Wh/m²). – Radiación vertical global.

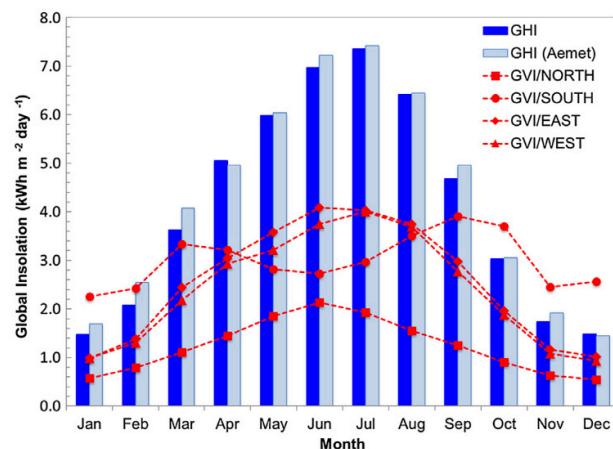


Figura 27. Tabla de radiaciones.
Fuente: (Díez-Mediavilla, Rodríguez-Amigo, Dieste-Velasco, García-Calderón, & Alonso-Tristán, 2019)

A través de estos datos, se obtienen varias conclusiones: una fachada vertical orientada al sur es más eficiente entre octubre y enero que una superficie horizontal (marcado en verde en la Figura 12). Además, la suma de la energía recogida de las fachadas orientadas al este y al oeste puede ser igual al valor de la instalación orientada al sur (Díez-Mediavilla, Rodríguez-Amigo, Dieste-Velasco, García-Calderón, & Alonso-Tristán, 2019).

La fachada orientada al sur solo supera a la superficie horizontal en otoño e invierno (de octubre a enero). Durante estos meses, la altitud solar es menor que el resto del año, por lo que la incidencia solar en la superficie vertical orientada al sur es mayor que la recibida por la horizontal en la misma ubicación. En verano, la altitud solar es mayor y la incidencia sobre la superficie vertical es menor (Díez-Mediavilla, Rodríguez-Amigo, Dieste-Velasco, García-Calderón, & Alonso-Tristán, 2019).

Otro trabajo donde se experimentó con las orientaciones no óptimas de paneles fotovoltaicos es en el de la Universidad de Salamanca (Sanchez & Izard, 2015), en el que se estudiaron dos prototipos: uno de ellos, una fachada fotovoltaica orientada al Suroeste; el otro, un modelo arquitectónico cubierto de fachadas fotovoltaicas orientadas a los puntos cardinales (Norte, Sur, Este, Oeste, Horizontal).

Aunque la producción anual de energía para las fachadas y la cubierta se sitúa entre el 50% y el 76% de una instalación en ángulo óptimo, las fachadas tienen una producción más estable a lo largo del año: la producción mensual puede variar en un factor 2 frente a una variación del factor 4 para la irradiancia.

Un factor importante que comenta también este artículo es que en latitudes más altas (países ubicados más al norte), la producción de energía de la cubierta es menor, pero la producción de las superficies verticales es mayor que en latitudes más bajas. Por lo tanto, las fachadas fotovoltaicas tendrán un mejor funcionamiento en las áreas frías de Europa (Sanchez & Izard, 2015).

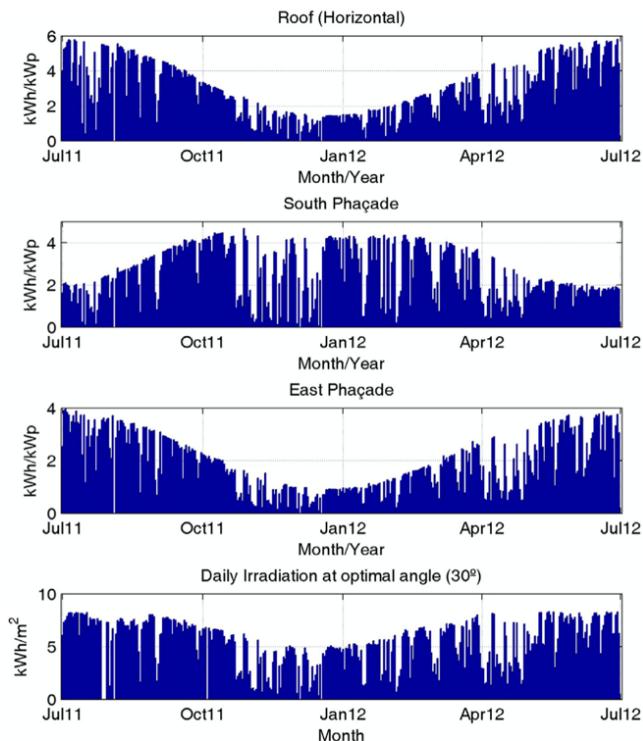


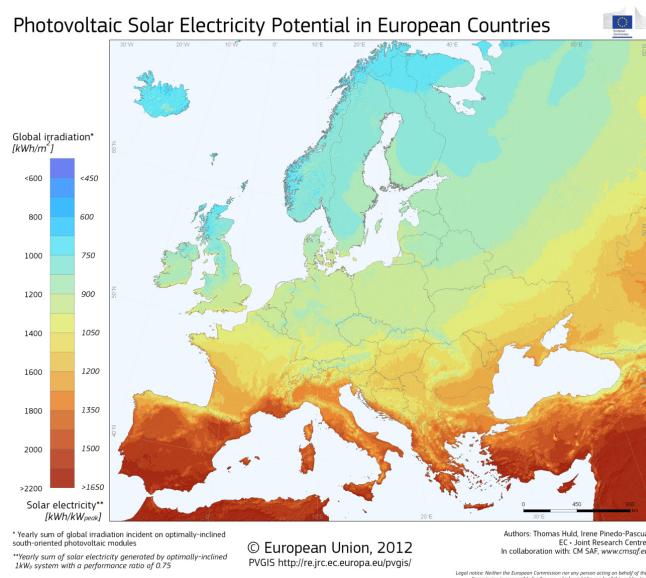
Figura 28. Datos de radiación solar. Fuente: (Sanchez & Izard, 2015).

Este tipo de estudios de colocación de fotovoltaica en orientaciones no óptimas se han realizado en otros lugares como Serbia (Pantić, y otros, 2016), donde se calculó el porcentaje de diferencia de energía que puede generar un sistema colocado de manera óptima, del que no. También se han realizado en Taiwán, donde se visualizó y simuló la distribución de la insolación y la sombra mediante la cuantificación de edificios con cuadrículas en el Distrito Central Oeste de la ciudad de Tainan, útil para evaluar después la acción de las sombras en las placas fotovoltaicas en ciudades densas (Hsieh, Chen, Tan, & Lo, 2013).

A través de estos estudios se deduce que la orientación, inclinación, y la ubicación de las placas fotovoltaicas puede reducir o aumentar la viabilidad económica de estas. Dependiendo del lugar en el que nos encontremos, las características solares y la ubicación concreta del edificio (edificio aislado o edificio en una ciudad compacta, sombras), podemos llegar a deducir cuál será la ubicación y orientación óptima de las placas solares fotovoltaicas, para así mejorar la eficiencia energética del edificio.

6.1.- EUROPA: RADIACIÓN Y ZONAS SOLARES

Figura 29. Mapa radiación solar en Europa. Fuente: PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM.



He optado por estudiar y analizar proyectos de 3 franjas de Europa diferenciadas, donde el sol incide de menor a mayor potencia. La primera se sitúa en Noruega, Suecia, Finlandia, Dinamarca, norte de Reino Unido...; en la segunda franja, Francia, Alemania, Países Bajos, Bélgica...; y por último, en la tercera franja y en la que mayor irradiación solar aparece, España e Italia. De estas tres franjas, analizaré proyectos que innoven en la integración de tecnologías fotovoltaicas en edificios. En este análisis, exploraremos ejemplos destacados donde los paneles se han integrado de manera estética y eficiente, dejando atrás la manera convencional de colocar los paneles en cubierta, ya sea inclinada o plana.

Zonas de radiación solar	Ejemplos en integración de paneles fotovoltaicos	Tipo de sistema
Zona norte - Nórdica	Vertical Rooftop PV / Over Easy Solar / Oslo, Noruega	Paneles ligeros verticales con las cubiertas ajardinadas.
	Copenhagen International School Nordhavn / C.F. Møller / Copenhague, Dinamarca	Fachada ventilada.
Zona central Centroeuropa	- Palacio de Justicia de Sistemas de protección París / Renzo Piano solar. Building Workshop / París, Francia	
	EPFL QUARTIER NORD Sistemas de protección SwissTech Convention solar. Center Retail and Student Housing / Richter Dahl Rocha / Ecublens, Suiza	
	Solar Shell / Architektur innovation labor (ai:L) / Alemania	Módulos prefabricados integrados.
Zona sur - España	Pabellón Endesa, Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña (IAAC) / Rodrigo Rubio y Miguel Guerrero / Barcelona, España.	Prototipo solar.
	Edificio Smart 22@ / GCA / Barcelona, España.	Vidrio fotovoltaico.

6.2.- ZONA 1: FRANJA NORTE DE EUROPA

En primer lugar, estudiaremos ejemplos donde la captación solar es menor, en el norte de Europa.

Vertical Rooftop PV / Over Easy Solar / Oslo, Noruega

Integración: paneles fotovoltaicos totalmente verticales, ligeros, para colocación en cubierta, respetando así las cubiertas ajardinadas.



Imagen 7. Paneles fotovoltaicos verticales en cubierta. Fuente: <https://www.overeasy.no/green-roof-solar>

Este proyecto destaca por su enfoque innovador en la colocación de paneles fotovoltaicos en una configuración vertical en lugar de la tradicional instalación en cubiertas inclinadas o planas. Esta disposición permite un mejor aprovechamiento del espacio en entornos urbanos densos donde las áreas de cubierta pueden ser limitadas o donde la orientación e inclinación tradicionales no son óptimas.



Imagen 8. Cubierta ajardinada extensiva con los paneles. Fuente: <https://www.overeasy.no/green-roof-solar>



Imagen 9. Las plantas pueden dar sombra a los paneles convencionales. Fuente: <https://www.overeasy.no/green-roof-solar>

Adaptación al clima nórdico.

En Oslo, donde el ángulo de incidencia solar varía considerablemente a lo largo del año debido a su ubicación geográfica, la orientación vertical de los paneles permite capturar la luz solar de manera más efectiva durante los meses de invierno, cuando el sol está más bajo en el horizonte. Además, esta disposición minimiza la acumulación de nieve sobre los paneles, un problema común en las instalaciones horizontales o inclinadas en regiones con fuertes nevadas, lo que garantiza un rendimiento más consistente durante todo el año.



Imagen 10. Estos paneles evitan la acumulación de nieve. Fuente: <https://www.pv-magazine.com/2023/03/28/high-latitude-tests-show-vertical-rooftop-pv-yields-30-more-energy-in-winter/>

Beneficios para las cubiertas ajardinadas

Esta configuración permite que las cubiertas ajardinadas reciban más luz solar y agua de lluvia, mejorando el crecimiento de la vegetación. De esta manera, ambos sistemas pueden coexistir.



Imagen 11. Vegetación entre los paneles solares. Fuente: <https://www.overeasy.no/green-roof-solar>

Copenhagen International School Nordhavn /
C.F. Møller / Copenhague, Dinamarca
Integración: revestimiento de fachada.



Imagen 12. Fachada principal. Fuente: <https://www.archdaily.cl/c1/c1/880272/escuela-internacional-de-copenhague-nordhavn-cf-moller>

La Copenhagen International School Nordhavn, diseñada por C.F. Møller Architects en Copenhague, Dinamarca, es un ejemplo de la integración de paneles solares fotovoltaicos en la arquitectura moderna. Este proyecto no solo destaca por su diseño innovador, sino también por su enfoque técnico, planificado para maximizar la eficiencia energética.



Imagen 13. Exterior del edificio. Fuente: <https://www.archdaily.cl/c1/880272/escuela-internacional-de-copenhague-nordhavn-cf-moller>

El edificio está ubicado en el distrito de Nordhavn, una zona portuaria en desarrollo que se está transformando en un área urbana sostenible. La ubicación del edificio fue elegida estratégicamente para aprovechar al máximo la luz solar disponible en una ciudad como Copenhague, donde la radiación solar varía considerablemente a lo largo del año. La orientación de la escuela, con sus largas fachadas orientadas hacia el este y el oeste, permite una captación óptima de la energía solar durante todo el día. De esta forma, compensa la menor cantidad de luz solar directa que se recibe en los meses de invierno.

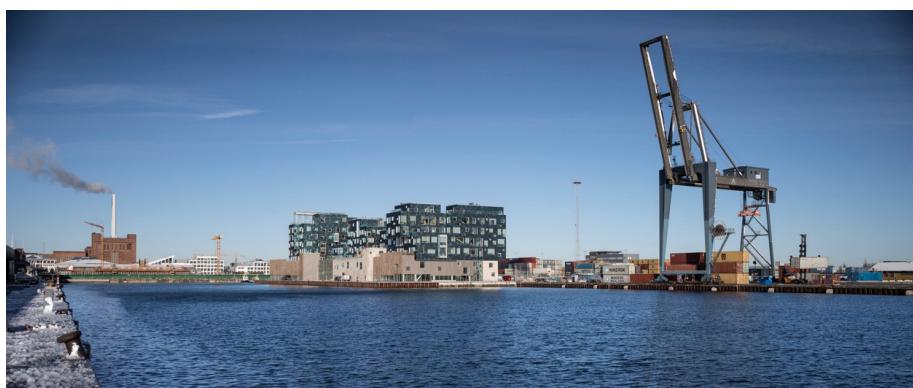


Imagen 14. Integración del edificio en la zona portuaria. Fuente: <https://www.archdaily.cl/c1/880272/escuela-internacional-de-copenhague-nordhavn-cf-moller>

Una de las características de este proyecto es su fachada, compuesta por aproximadamente 12.000 paneles solares fotovoltaicos de color azul verdoso, que cubren más de 6.000 metros cuadrados del edificio. Estos paneles además de cumplir una función estética, están diseñados para generar alrededor de 300 MWh de electricidad al año, lo que representa aproximadamente el 50% del consumo energético anual de la escuela. Los paneles están cuidadosamente inclinados para maximizar la captación de luz solar, y su color ha sido seleccionado tanto por su eficiencia como por su capacidad para integrarse visualmente en el entorno urbano.

Imagen 15. Detalle de fachada. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/880272/escuela-internacional-de-copenhague-nordhavn-cf-moller>



Imagen 16. Detalle de fachada. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/880272/escuela-internacional-de-copenhague-nordhavn-cf-moller>



Además, la disposición de los paneles en la fachada responde a las limitaciones espaciales y las condiciones urbanas del lugar. Esta integración vertical es particularmente efectiva en un clima como el de Copenhague, donde la luz solar directa no es tan abundante como en otras latitudes. Los paneles están diseñados para funcionar en condiciones de baja radiación, lo que maximiza su rendimiento incluso en días nublados.

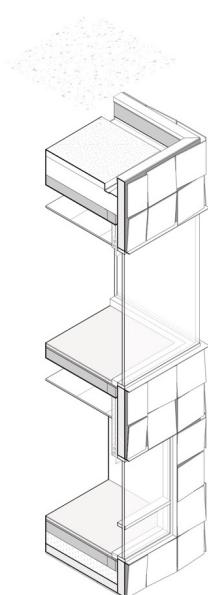


Figura 30. Detalle constructivo, axonometría. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/880272/escuela-internacional-de-copenhague-nordhavn-cf-moller>

6.3.- ZONA 2: FRANJA CENTRAL DE EUROPA

En esta zona, la radiación solar incide de manera más directa, por lo que el aprovechamiento para la energía solar fotovoltaica puede ser mayor.

Palacio de Justicia de París / Renzo Piano
Building Workshop / París, Francia
Integración: protección solar.

Imagen 17. Edificio y su integración. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/884179/palacio-de-justicia-paris-renzo-piano-building-workshop>



Ubicado en el distrito de Batignolles, en el norte de París, este edificio se demuestra cómo la integración de paneles solares fotovoltaicos puede ser tanto funcional como estéticamente coherente en un edificio de gran envergadura.

Imagen 18. El edificio integrado en el conjunto de la ciudad. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/884179/palacio-de-justicia-paris-renzo-piano-building-workshop>



El edificio, que se eleva a 160 metros, está compuesto por tres bloques escalonados que disminuyen en tamaño a medida que ascienden. Esta disposición ayuda en la optimización de la captación solar. Los bloques están orientados y escalonados para minimizar las sombras y maximizar la exposición solar.

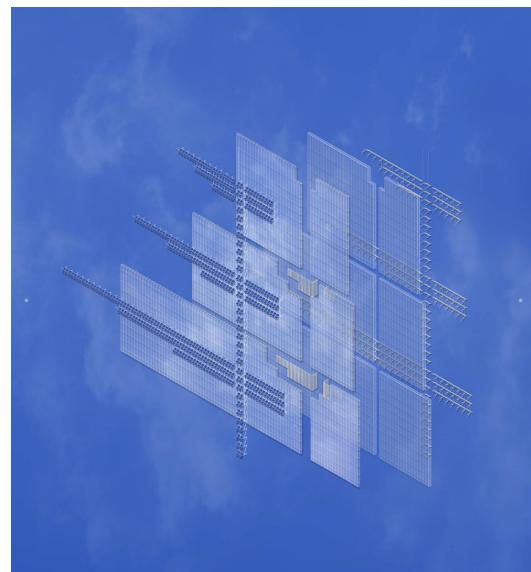
Uno de los aspectos técnicos más destacados del Palacio de Justicia es su integración de paneles solares fotovoltaicos en la estructura de las fachadas. Estos paneles están dispuestos para aprovechar al máximo la luz solar, a pesar de las limitaciones impuestas por la latitud de París y las variaciones estacionales en la radiación solar. Los paneles se encuentran orientados al Este-Oeste del edificio, en las fachadas principales. Esto hace que los paneles orientados al este capturen la luz solar desde las primeras horas de la mañana, mientras que los paneles orientados al oeste aprovechan el sol de la tarde hasta el ocaso. Esto permite una distribución más uniforme de la generación de energía a lo largo del día, evitando picos concentrados solo al mediodía.



Imagen 19. Detalle de las placas fotovoltaicas. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/884179/palacio-de-justicia-paris-renzo-piano-building-workshop>

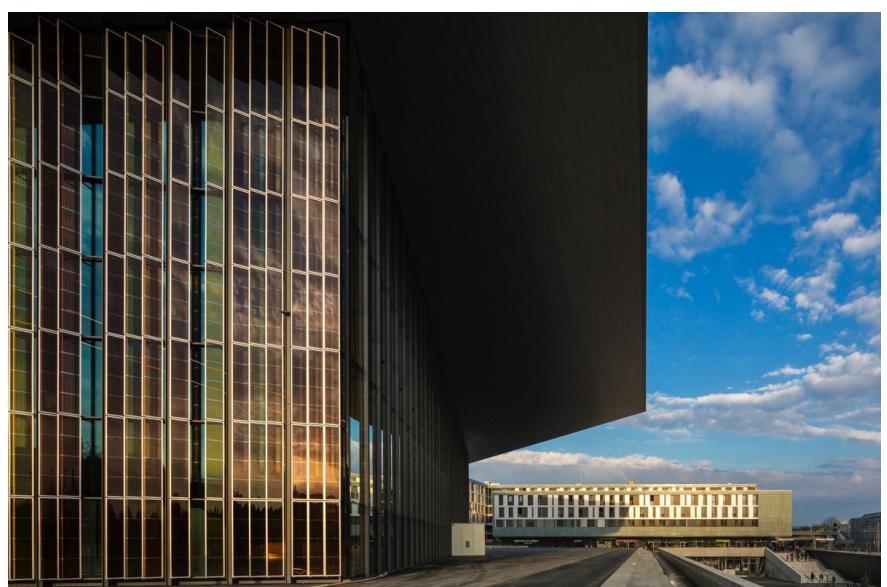
Además de la energía solar, el Palacio de Justicia también incorpora otras tecnologías sostenibles, como sistemas de recuperación de agua de lluvia y una fachada ventilada que mejora el aislamiento. Estas características, junto con los paneles solares, hacen que el edificio sea un modelo de construcción sostenible en un contexto urbano denso.

Imagen 20. Sistema de fachada. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/884179/palacio-de-justicia-paris-renzo-piano-building-workshop>



EPFL QUARTIER NORD SwissTech Convention Center Retail and Student Housing / Richter Dahl Rocha / Ecublens, Suiza
Integración: sistemas de protección solar.

Imagen 21.. Fachada integrada en el edificio. Fuente: <https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center-retail-and-student-housing-richter-dahl-rocha-and-associes>



El SwissTech Convention Center y los edificios de vivienda y comerciales se encuentran en el campus de la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), en la región de Ecublens, cerca de Lausana. Este edificio tiene una ubicación estratégica que permite aprovechar al máximo la radiación solar disponible en Suiza, que experimenta variaciones estacionales significativas en la luz solar.

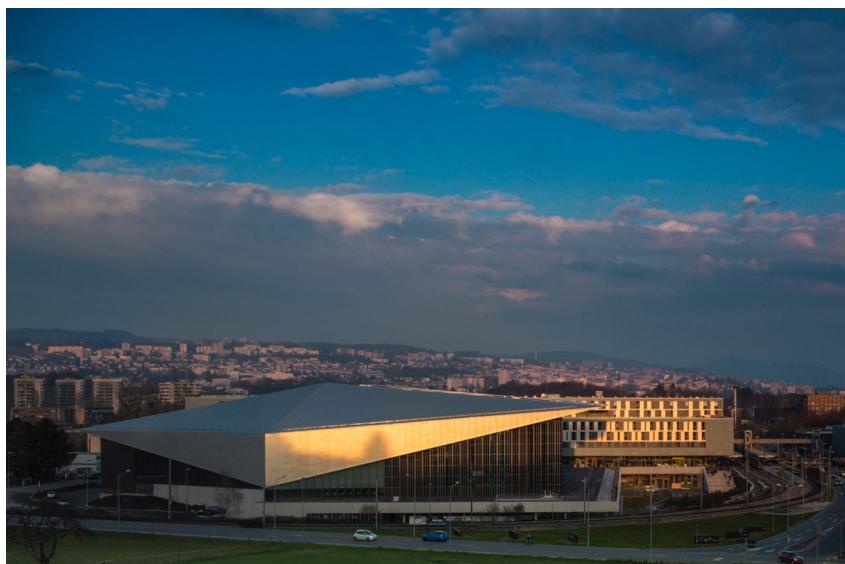


Imagen 22. El edificio y su entorno. Fuente: <https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center-retail-and-student-housing-richter-dahl-rocha-and-associes>

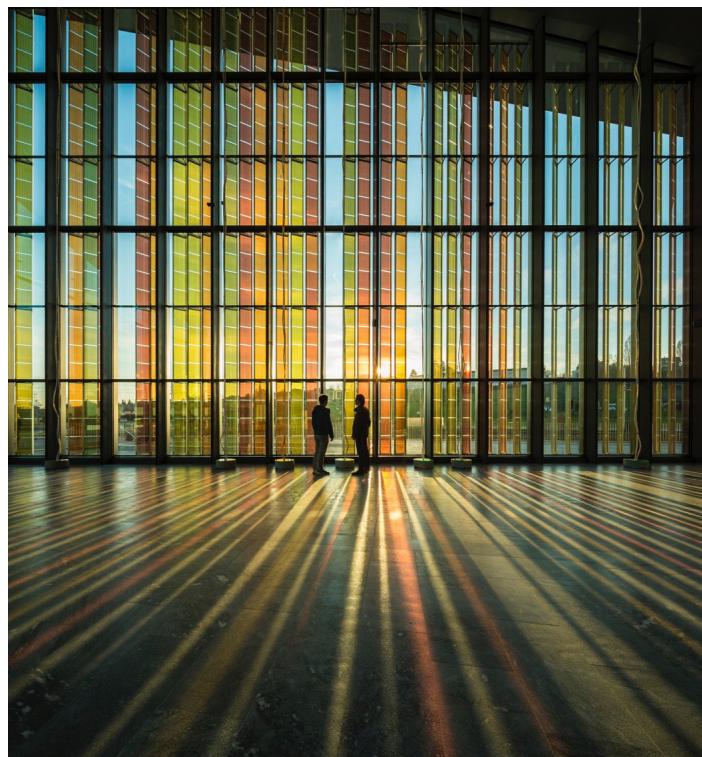
El diseño del proyecto considera la orientación solar para optimizar la eficiencia energética. Los paneles fotovoltaicos están ubicados en la fachada del edificio con una inclinación y orientación que maximizan la captación de luz solar durante todo el año. Esta fachada incluye paneles solares integrados estéticamente con el diseño del edificio.



Imagen 23. Detalle de los paneles en fachada. Fuente: <https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center-retail-and-student-housing-richter-dahl-rocha-and-associes>

Los paneles utilizados presentan una gama de colores cuidadosamente seleccionados para integrarse con el diseño arquitectónico del edificio. Como las lamas están fabricadas con vidrio fotovoltaico, permiten que se cuele parte de la radiación solar al interior. Esto hace que la gama de colores impregne el hall del edificio. Estos colores más claros tienen una reflectancia solar más alta que los colores oscuros, lo que significa que absorben menos calor del sol. Esto ayuda a mantener una temperatura más baja en las superficies de las lamas, lo que ayuda al funcionamiento de las placas fotovoltaicas.

Imagen 24. Luz que dejan pasar las lamas. Fuente: <https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swiss-tech-convention-center-retail-and-student-housing-richter-dahl-rocha-and-associes>



Las lamas están orientadas al oeste para controlar la radiación solar directa durante la tarde, cuando el sol está más bajo y podría penetrar en el edificio, causando calor excesivo y deslumbramiento. Esta orientación permite que las lamas actúen como un protector solar pasivo, bloqueando la luz directa mientras dejan entrar luz difusa, optimizando así la iluminación interior, reduciendo la ganancia térmica, y mejorando la eficiencia energética del edificio.

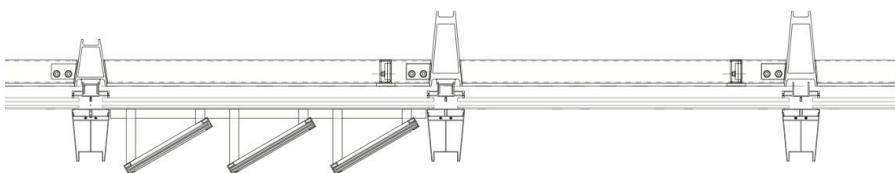


Figura 31. Sección constructiva de las láminas fijas. Fuente: <https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center-retail-and-student-housing-richter-dahl-rocha-and-associes>

Solar Shell / Architektur innovation labor (ai:L) / Alemania

Integración: módulos prefabricados integrados.



Imagen 25. Fachada oeste. Edificio ubicado en Alemania. Fuente: <https://tectonica.archi/articles/fachadas-solares-optimizadas-parametricamente-por-architektur-innovation-labor/>

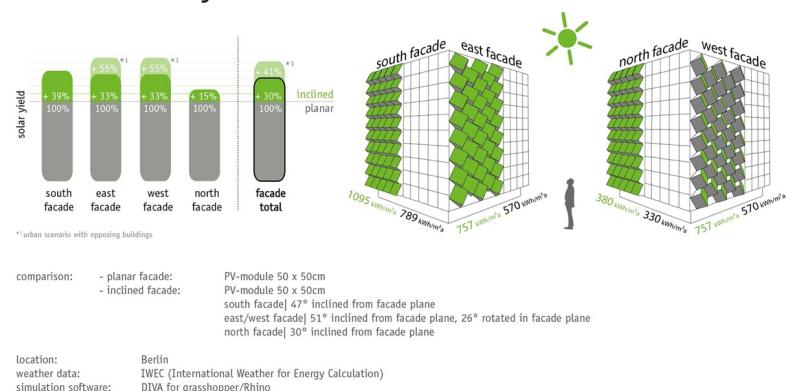
El proyecto Solar Shell, desarrollado por Architektur innovation labor (ai:L) en Alemania, es un ejemplo destacado de cómo la integración de paneles solares fotovoltaicos puede ir más allá de la simple funcionalidad energética para convertirse en un elemento arquitectónico central. Este proyecto crea un elemento central de fachada donde integrar las placas fotovoltaicas.



Imagen 26. Fachada sur. Fuente: <https://tectonica.archi/articles/fachadas-solares-optimizadas-parametricamente-por-architektur-innovation-labor/>

El Solar Shell se caracteriza por su estructura envolvente, que actúa tanto como un protector solar como un generador de energía. La forma del edificio y la disposición de los paneles solares han sido cuidadosamente diseñadas para maximizar la captación de energía solar a lo largo del día. La estructura se adapta a la trayectoria del sol, con superficies inclinadas que permiten una exposición óptima a la radiación solar en todas las estaciones del año. Esta orientación precisa es clave en un clima como el alemán, donde la eficiencia energética debe ser maximizada para compensar los días nublados y la variabilidad estacional.

Figura 32. Estudios realizados por ai:L para maximizar la radiación solar en sus módulos prefabricados. Fuente: <https://tectonica.archi/articles/fachadas-solares-optimizadas-parametricamente-por-architektur-innovation-labor/>



Mediante Rhinoceros y Grasshopper, los diseñadores optimizaron la geometría de la fachada en función de la orientación solar y minimizaron el autosombreado de los módulos. La geometría final se digitalizó y se transfirió automáticamente para la mecanización de los paneles compuestos de aluminio. Estos paneles pueden tener diversos acabados, en función de la arquitectura que se requiera.

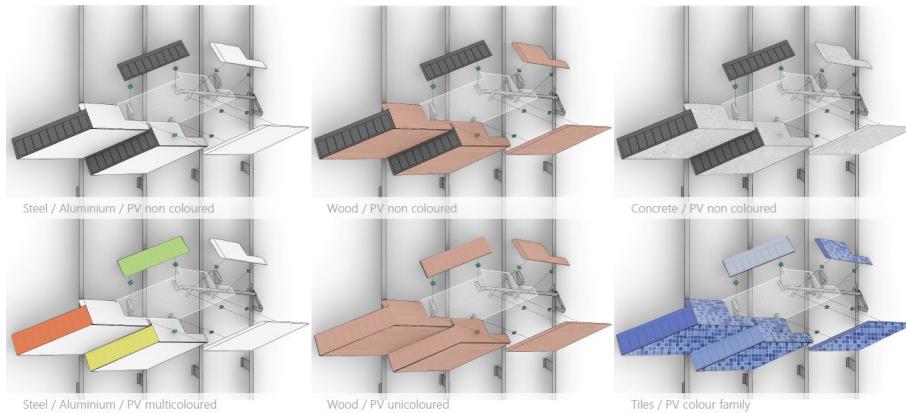


Figura 33. Gamas de colores y acabados del módulo. Fuente: <https://tectonica.archi/articles/fachadas-solares-optimizadas-parametricamente-por-architektur-innovation-labor>

6.4.- ZONA 3: FRANJA SUR DE EUROPA

Pabellón Endesa, Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña (IAAC) / Rodrigo Rubio y Miguel Guerrero / Barcelona, España.

Integración: módulos fotovoltaicos en diversas orientaciones e inclinaciones.



El Pabellón Endesa, diseñado por Rodrigo Rubio y Miguel Guerrero del Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña (IAAC), es un ejemplo innovador de la integración de tecnología solar en la arquitectura contemporánea. Ubicado en Barcelona, España, este proyecto es un prototipo de vivienda autosuficiente que explora las posibilidades de la energía solar fotovoltaica.

Imagen 27. Paneles fotovoltaicos en distintos ángulos. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/627994/pabellon-endesa-margen-lab>

además de fuente de energía, como un elemento central en el diseño arquitectónico.



Imagen 28. Una de las fachadas del edificio. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/627994/pabellon-endesa-margen-lab>

El pabellón se caracteriza por su estructura modular, que permite una adaptación óptima a las condiciones climáticas locales. Utilizando una metodología paramétrica, cada punto del edificio está estudiado para ser eficiente energéticamente hablando. Cada uno de los módulos que conforman la estructura está orientado y dimensionado para captar la mayor cantidad de radiación solar posible a lo largo del día.

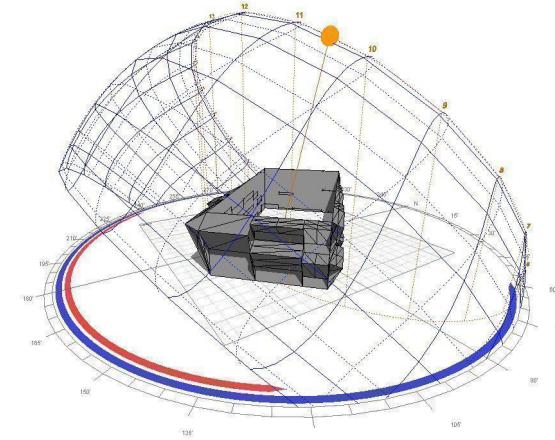


Figura 34. Radiación en el edificio a lo largo del día. Fuente: <https://arqa.com/arquitectura/endesa-pavilion-barcelona.html>

La fachada se abre siguiendo la trayectoria del sol, abriéndose al sur y manteniéndose cerrado al norte. El comportamiento de esta fachada revela los procesos ambientales y climáticos que influyen en el prototipo.



Imagen 29. De “la forma sigue a la función” (declaración clásica del siglo XX) a “la forma sigue a la energía”. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/627994/pabellon-endesa-margen-lab>

Este proyecto, desarrollado por el IAAC, también tiene un componente experimental y educativo. El pabellón se utilizó como un laboratorio vivo para investigar nuevas formas de integrar tecnología solar en la arquitectura, proporcionando datos y experiencias que pueden ser aplicados en futuros proyectos de vivienda sostenible. Además, al estar ubicado en Barcelona, el pabellón sirve como un ejemplo tangible de cómo las ciudades mediterráneas pueden aprovechar su clima soleado para desarrollar soluciones arquitectónicas autosuficientes.

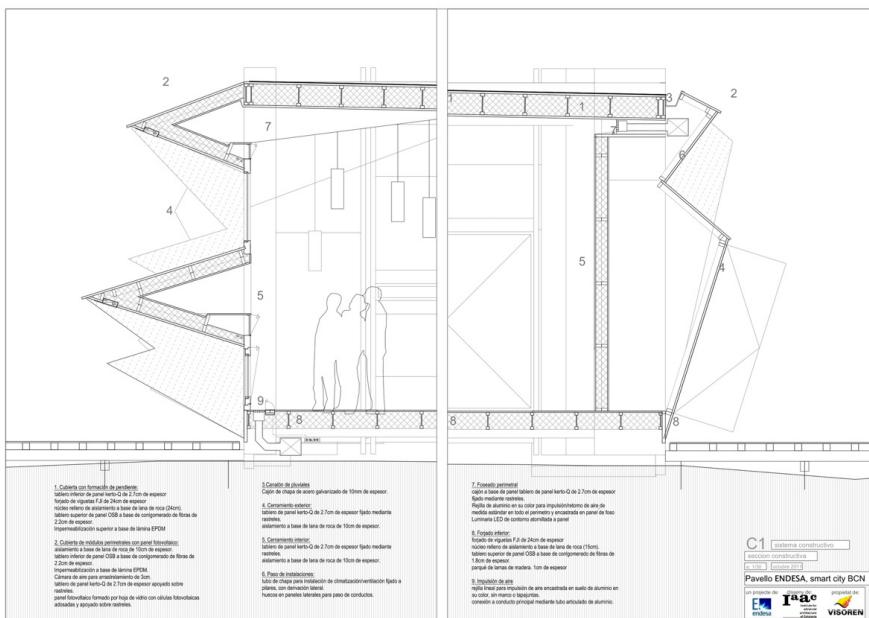


Figura 35. Sección constructiva. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/627994/pabellon-endesa-margen-lab>

Edificio Smart 22@ / GCA / Barcelona, España.
Integración: vidrio solar.



Imagen 30. El edificio y sus inmediaciones. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/997721/edificio-smart-22-at-gca-architects>

El Edificio Smart 22@ en Barcelona, diseñado por GCA Architects, es un ejemplo de cómo la tecnología fotovoltaica puede integrarse en la arquitectura moderna. Uno de los aspectos más destacados de este edificio es el uso de vidrio fotovoltaico en su fachada, pasando casi desapercibido.



Imagen 31. Fachada sur.
Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/997721/edificio-smart-22-at-gca-architects>

La fachada se abre siguiendo la trayectoria del sol, abriéndose al sur y manteniéndose cerrado al norte. El comportamiento de esta fachada revela los procesos ambientales y climáticos que influyen en el prototipo.

La fachada sur del edificio integra vidrio fotovoltaico de silicio amorfo. La instalación abarca 948 m² y consta de 641 unidades de vidrio fotovoltaico en diversas dimensiones. Cada panel tiene un espesor de 4T + 3,2 + 4T mm e incluye un frit de color en la parte frontal, lo que le da un aspecto colorido, además de cumplir con los requisitos de acabado, ópticos y estructurales del proyecto.



Imagen 32. Integración con el entorno. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/997721/edificio-smart-22-at-gca-architects>

En este caso, la fachada sur es la idónea para incorporar esta tecnología, puesto que va a ser la que más horas de luz solar capte. Esta orientación permite que el vidrio fotovoltaico funcione a su máxima capacidad, captando la luz del sol desde la mañana hasta la tarde. La inclinación y disposición de los paneles de vidrio también están diseñadas para minimizar el autosombreado y maximizar la exposición solar.

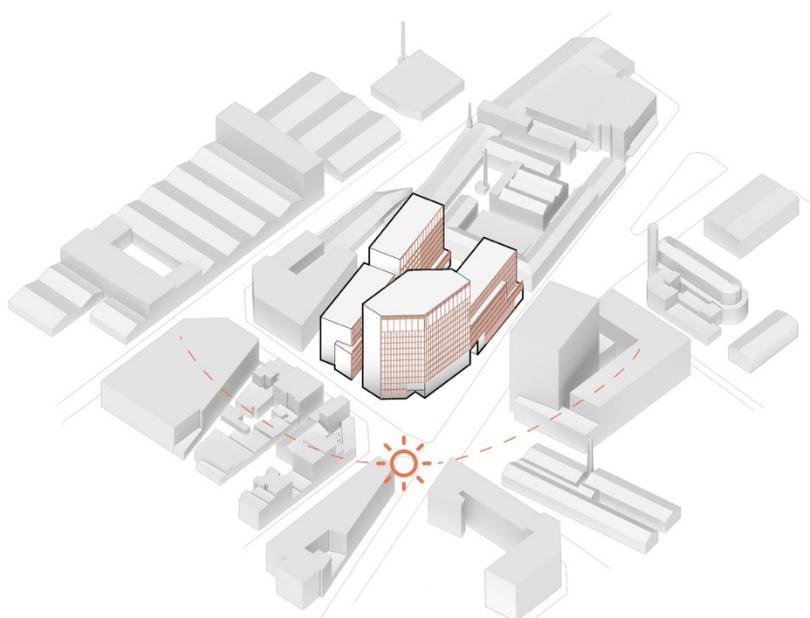


Figura 36. Esquema con el recorridodelsol. Fuente: https://www.archdaily.cl/cl/968533/gca-architects-construye-edificio-de-oficinas-que-reune-artesania-e-innovacion-tecnologica-en-barcelona?ad_campaign=normal-tag

El análisis de diversos edificios con integración de paneles fotovoltaicos en diferentes regiones de Europa —norte, centro y sur— revela que la ubicación geográfica y las condiciones climáticas específicas de cada zona son determinantes para optimizar la eficiencia de las instalaciones fotovoltaicas. Sin embargo, se sigue experimentando para conseguir captar la mayor radiación posible.

En la zona norte de Europa, caracterizada por menores niveles de radiación solar y climas más fríos, los paneles fotovoltaicos deben maximizar la captación de la luz disponible. En este contexto, los paneles con inclinaciones más pronunciadas, alrededor de 60° a 90° (verticales), son los más adecuados, ya que permiten captar mejor la luz solar en ángulos bajos, especialmente durante los meses de invierno.

En la zona central de Europa, donde la radiación solar es moderada y las estaciones están bien definidas, las inclinaciones de los paneles pueden ser más suaves, en torno a los 30° a 40°, para equilibrar la captación solar durante todo el año. Aquí, tanto la cubierta como la fachada pueden ser opciones viables, dependiendo del diseño del edificio y de la orientación de la fachada principal. Las fachadas orientadas al sur pueden albergar paneles fotovoltaicos que contribuyan significativamente a la producción de energía, complementando a los paneles en la cubierta. Sin embargo, se debe considerar que las fachadas pueden ser menos eficientes en invierno debido a la menor incidencia solar en ángulos verticales.

En la zona sur de Europa, y particularmente en España, donde la radiación solar es abundante durante la mayor parte del año, los paneles fotovoltaicos pueden funcionar eficientemente con inclinaciones más bajas, entre 15° y 30°. Esto permite un mayor aprovechamiento de la luz solar directa durante las horas de mayor insolación. En esta región, tanto la cubierta como la fachada pueden

ser altamente efectivas. Las cubiertas inclinadas ofrecen la ventaja de captar más energía durante todo el día, mientras que las fachadas, especialmente aquellas orientadas al sur, pueden aprovechar la elevada radiación directa, proporcionando una solución estética y funcional en la integración arquitectónica.

En resumen, la eficiencia de los paneles fotovoltaicos depende en gran medida de su inclinación y de si se colocan en la cubierta o en la fachada, y estas decisiones deben estar alineadas con las características climáticas del lugar donde se ubica el edificio. La correcta integración de estas soluciones fotovoltaicas no solo optimiza la producción de energía, sino que también contribuye a una arquitectura más sostenible y adaptada a su entorno, y además contribuye estéticamente al funcionamiento del edificio.

**BIBLIOGRAFÍA
TABLA DE IMÁGENES
TABLA DE FIGURAS**

BIBLIOGRAFÍA

- Acciona. (s.f.). Obtenido de https://www.accion.com/es/energias-renovables/?_adin=11734293023
- AEMET, A. e. (2018). Mapas climáticos de España. Madrid.
- Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. (2002). COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN. Obtenido de https://www.coit.es/sites/default/files/informes/pdf/energia_solar_fotovoltaica.pdf
- Comisión Europea. (2024). Next Generation EU. Obtenido de <https://nexteugeneration.com/>
- Díez-Mediavilla, M., Rodríguez-Amigo, M., Dieste-Velasco, M., García-Calderón, T., & Alonso-Tristán, C. (2019). The PV potential of vertical façades: A classic approach using experimental data from Burgos, Spain. *Solar Energy*, 177, 129-199.
- Givoni, B. (1969). Man, Climate and Architecture. Elsevier architectural science series.
- Gobierno de España. (s.f.). Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Obtenido de <https://planderecuperacion.gob.es/>
- Gobierno de España. PRTR. (s.f.). Ayudas directas a CCAA Programas de incentivos ligados al autoconsumo y al almacenamiento. Obtenido de <https://planderecuperacion.gob.es/como-acceder-a-los-fondos/convocatorias/BDNS/620666/ayudas-directas-a-ccaa-programas-de-incentivos-ligados-al-autoconsumo-y-al-almacenamiento>
- Granell i March, J. (2002). La arquitectura del sol = Sunland architecture. Barcelona: Colegio de Arquitectos de Cataluña.
- Green Building Council España. (s.f.). GBC España. Obtenido de <https://gbce.es/>
- Haro, I. (Septiembre de 2024). Selectra. Obtenido de <https://selectra.es/autoconsumo/info/normativa>
- Hernández Pezzi, C. (2007). Un Vitruvio ecológico : principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible. Gustavo Gili.

Hsieh, C.-M., Chen, Y.-A., Tan, H., & Lo, P.-F. (2013). Potential for installing photovoltaic systems on vertical and horizontal building surfaces in urban areas. *Solar Energy*, 93, 312-321.

IEA - International Energy Agency. (s.f.). Obtenido de <https://www.iea.org/>

Issa, M. F., Al-Hamdani, A. H., Kasim, N. K., Mahdi, R. A., & Dawood , A. F. (2024). The performance of photovoltaic system with different orientation-a review. *2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGY (ICRE2022)* . 2885 (1), pág. 020004. Kirkuk, Iraq: AIP Conference Proceedings.

Lee, H. M., Yoon, J. H., Kim, S. C., & Shin, U. C. (2017). Operational power performance of south-facing vertical BIPV window system applied in office building. *Solar Energy*, 145, 66-77.

Ministerio de Vivienda y Agenda urbana. (Junio de 2022). Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html>

Ministerio para la Transición Ecológica. (Abril de 2019). BOE. Obtenido de <https://www.boe.es/boe/dias/2019/04/06/pdfs/BOE-A-2019-5089.pdf>

Naciones Unidas. (s.f.). ODS. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Neila González, J. (2004). Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. Madrid: Munilla-Lería.

Olgay, V. (1998). Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili.

Pantić, L., Pavlović, T., Milosavljević, D., Mirjanić, D., Radonjić, I., & Radović, M. (2016). Electrical energy generation with differently oriented photovoltaic modules as façade elements. *THERMAL SCIENCE*, 20(4), 1377-1386.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2018). REGLAMENTO (UE) 2018/1999. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/governance-of-the-energy-union.html>

Plan Nacional Integrado de Energía y Clima. (Enero de 2020). Obtenido de Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.html>

Sanchez, E., & Izard, J. (2015). Performance of photovoltaics in non-optimal orientations: An experimental study. *Energy And Buildings*, 87, 211-219.

Vitruvio Polión, M. (15 a.C.). Los diez libros de Arquitectura.

TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1. Cabaña en Noruega. Fuente: <https://www.nordicexperience.com/traditional-norwegian-house-with-grass-roof-the-norwegian-museum-2/?lang=et/>

Imagen 2. Tipos de células solares. Fuente: <https://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>

Imagen 3. Tipos de paneles solares. Fuente: <https://ecofener.com/blog/tipos-de-paneles-solares/>

Imagen 5. Lamas fotovoltaicas. Fuente: <https://www.archdaily.com/885885/freiburg-town-hall-ingenhoven-architects>

Imagen 6. Fachada fotovoltaica con paneles integrados, con inclinación. Fuente: <https://tectonica.archi/articles/fachadas-solares-optimizadas-parametricamente-por-architektur-innovation-labor/>

Imagen 7. Paneles fotovoltaicos verticales en cubierta. Fuente: [https://www.overeeasy.no/green-roof-solar](https://www.overeasy.no/green-roof-solar)

Imagen 8. Cubierta ajardinada extensiva con los paneles. Fuente: <https://www.overeeasy.no/green-roof-solar>

Imagen 9. Las plantas pueden dar sombra a los paneles convencionales. Fuente: <https://www.overeeasy.no/green-roof-solar>

Imagen 10. Estos paneles evitan la acumulación de nieve. Fuente: <https://www.pv-magazine.com/2023/03/28/high-latitude-tests-show-vertical-rooftop-pv-yields-30-more-energy-in-winter/>

Imagen 11. Vegetación entre los paneles solares. Fuente: <https://www.overeeasy.no/green-roof-solar>

Imagen 12. Fachada principal. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/880272/escuela-internacional-de-copenhague-nordhavn-cf-moller>

Imagen 13. Exterior del edificio. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/880272/escuela-internacional-de-copenhague-nordhavn-cf-moller>

Imagen 14. Integración del edificio en la zona portuaria. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/880272/escuela-internacional-de-copenhague-nordhavn-cf-moller>

Imagen 15. Detalle de fachada. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/880272/escuela-internacional-de-copenhague-nordhavn-cf-moller>

Imagen 16. Detalle de fachada. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/880272/escuela-internacional-de-copenhague-nordhavn-cf-moller>

Imagen 17. Edificio y su integración. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/884179/palacio-de-justicia-paris-renzo-piano-building-workshop>

Imagen 18. El edificio integrado en el conjunto de la ciudad. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/884179/palacio-de-justicia-paris-renzo-piano-building-workshop>

Imagen 19. Detalle de las placas fotovoltaicas. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/884179/palacio-de-justicia-paris-renzo-piano-building-workshop>

Imagen 20. Sistema de fachada. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/884179/palacio-de-justicia-paris-renzo-piano-building-workshop>

Imagen 21. Fachada integrada en el edificio. Fuente: <https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center-retail-and-student-housing-richter-dahl-rocha-and-associes>

Imagen 22. El edificio y su entorno. Fuente: <https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center-retail-and-student-housing-richter-dahl-rocha-and-associes>

Imagen 23. Detalle de los paneles en fachada. Fuente: <https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center-retail-and-student-housing-richter-dahl-rocha-and-associes>

Imagen 24. Luz que dejan pasar las lamas. Fuente: <https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center-retail-and-student-housing-richter-dahl-rocha-and-associes>

Imagen 25. Fachada oeste. Edificio ubicado en Alemania. Fuente: <https://tectonica.archi/articles/fachadas-solares-optimizadas-parametricamente-por-architektur-innovation-labor/>

Imagen 26. Fachada sur. Fuente: <https://tectonica.archi/articles/fachadas-solares-optimizadas-parametricamente-por-architektur-innovation-labor/>

Imagen 27. Paneles fotovoltaicos en distintos ángulos. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/627994/pabellon-endesa-margen-lab>

Imagen 28. Una de las fachadas del edificio. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/627994/pabellon-endesa-margen-lab72>

Imagen 29. De “la forma sigue a la función” (declaración clásica del siglo XX) a “la forma sigue a la energía”. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/627994/pabellon-endesa-margen-lab>

Imagen 30. El edificio y sus inmediaciones. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/997721/edificio-smart-22-at-gca-architects>

Imagen 31. Fachada sur. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/997721/edificio-smart-22-at-gca-architects>

Imagen 32. Integración con el entorno. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/997721/edificio-smart-22-at-gca-architects>

TABLA DE FIGURAS

- Figura 1. Regiones del mundo según Sacrobosco. Fuente: (Olgay, 1998).
- Figura 2. Mapa de las zonas climáticas del mundo. Fuente: Wikipedia y elaboración propia.
- Figura 3. Tipos de iglú. Fuente: (Neila González, 2004)
- Figura 4. Planta y sección de un iglú. Fuente: (Neila González, 2004)
- Figura 5. Trullo, típico de la región de Puglia. Fuente: (Neila González, 2004)
- Figura 6. Ciudades compactas, con alguna aparición de patios. Fuente: (Neila González, 2004)
- Figura 7. Choza Maya. Ubicada estratégicamente para aprovechar los vientos frescos y esquivar los vientos cálidos. Fuente: (Neila González, 2004)
- Figura 8. Mapa de isolación de España. Fuente: Aemet
- Figura 9. Línea del tiempo. Fuente: elaboración propia.
- Figura 10. Portada CTE-DB-HE. Fuente: Código Técnico.
- Figura 11. Logotipo de los fondos europeos. Fuente: Comisión Europea.
- Figura 12. ODS. Fuente: Naciones Unidas.
- Figura 13. Logotipo del plan. Fuente: Gobierno de España.
- Figura 14. Principales objetivos del plan. Fuente: planderecuperacion.gob.es
- Figura 15. Políticas y componentes, destacando las energías renovables. Fuente: planderecuperacion.gob.es
- Figura 16. PNIEC. Fuente: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.html>
- Figura 17. Los 8 hitos propuestos. Fuente: GBC España
- Figura 18. Sistema de célula solar. Fuente: elaboración propia
- Figura 19. Funcionamiento de la célula solar. Fuente: elaboración propia
- Figura 20. Esquema de los tipos de instalaciones fotovoltaicas. Fuente: elaboración propia

Figura 21. Esquema de sistemas aislados fotovoltaicos.

Fuente: elaboración propia

Figura 22. Esquema de sistemas conectados a red.

Fuente: elaboración propia

Figura 23. Esquema de sistemas híbridos. Fuente: elaboración propia

Figura 24. Esquema de una instalación fotovoltaica aislada. Fuente: Sunfields

Figura 25. Esquema de las baterías. Fuente: elaboración propia

Figura 26. Inclinación y orientación. Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/calcu-fotovoltaica.html> 47

Figura 27. Tabla de radiaciones. Fuente: (Díez-Mediavilla, Rodríguez-Amigo, Dieste-Velasco, García-Calderón, & Alonso-Tristán, 2019)

Figura 28. Datos de radiación solar. Fuente: (Sanchez & Izard, 2015)

Figura 29. Mapa radiación solar en Europa. Fuente: PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

Figura 30. Detalle constructivo, axonometría. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/880272/escuela-internacional-de-copenhague-nordhavn-cf-moller>

Figura 31. Sección constructiva de las lamas fijas. Fuente: <https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center-retail-and-student-housing-richter-dahl-rocha-and-associes>

Figura 32. Estudios realizados por ai:L para maximizar la radiación solar en sus módulos prefabricados. Fuente: <https://tectonica.archi/articles/fachadas-solares-optimizadas-parametricamente-por-architektur-innovation-labor/>

Figura 33. Gamas de colores y acabados del módulo. Fuente: <https://tectonica.archi/articles/fachadas-solares-optimizadas-parametricamente-por-architektur-innovation-labor/>

Figura 34. Radiación en el edificio a lo largo del día. Fuente: <https://arqa.com/arquitectura/endesa-pavilion-barcelona.html>

Figura 35. Sección constructiva. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/627994/pabellon-endesa-margen-lab>

Figura 36. Esquema con el recorrido del sol. Fuente: https://www.archdaily.cl/cl/968533/gca-architects-construye-edificio-de-oficinas-que-reune-artesania-e-innovacion-tecnologica-en-barcelona?ad_campaign=normal-tag