Visualizador del potencial solar de los edificios en España

Paneles solares instalados en diferentes viviendas en Pozuelo de Alarcón (Madrid)

Consulta la eficiencia solar energética de tu edificio

El Instituto Geográfico Nacional, mediante la utilización de fondos PERTE (Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica), ha publicado un visualizador *web* para ofrecer información detallada del potencial solar de tejados y cubiertas para todo el territorio español. El visualizador permite introducir una ubicación para centrarse en la zona de estudio y mostrar la capacidad fotovoltaica del edificio, la media a lo largo del año y una malla puntual para identificar la mejor localización de las placas solares. Para calcular el potencial solar se han utilizado datos existentes de diferentes Organismos Públicos, tales como datos de radiación solar, edificios o modelos digitales del terreno.

- **Texto: Celia Sevilla Sánchez, CNIG**

La eficiencia energética o uso eficiente de la energía es una prioridad de interés general, no solo por motivos económicos, sino también ecológicos y de sostenibilidad. Además, la crisis energética debida a la invasión militar de Ucrania ha aumentado la demanda de la instalación de placas solares, tanto por parte de organismos públicos, como de particulares. Por otro lado, España cuenta con una ubicación geográfica privilegiada que hace que tenga una alta radiación solar a lo largo de todo el año, lo que hace que este tipo de energía limpia sea muy adecuada.

La energía solar es una energía renovable y 100% limpia, que no genera ruidos. La energía fotovoltaica se produce a través de placas solares que pueden instalarse en los edificios a nivel doméstico y que permiten el autoconsumo eléctrico.

El Instituto Geográfico Nacional (IGN), junto con el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), habían colaborado en el año 2020 con el portal *web* inmobiliario Idealista para proporcionar los datos y metodología que dieron lugar al visualizador idealista/energy. Se consideró adecuado realizar un nuevo procesado de datos con un modelo del territorio actualizado y de mayor resolución que permitiera crear un nuevo portal público y abierto, que además proporcionase nuevos servicios *web* estándar para incluir en la Infraestructura de Datos Espaciales de España. Con

El IGN ha publicado un visualizador *web* para ofrecer información detallada del potencial solar de tejados y cubiertas para todo el territorio español.

este objetivo, en 2021 se inició la contratación de un "Servicio de eficiencia energética para obtener el potencial solar de los edificios" con cargo a los fondos de Recuperación y Transformación digital del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.

En primer lugar, y con el asesoramiento del CIEMAT, se seleccionaron los datos más adecuados de edificios, radiación solar y alturas del terreno para toda España, se creó un modelo de datos adaptado al proyecto y se procesó la información. Se hizo una prueba piloto con Madrid y se verificaron los resultados por comparación con otros obtenidos con datos de mayor resolución de Alpedrete. Una vez verificado el procedimiento, se procesaron los datos para toda España. Finalmente, se diseñó un visualizador *web* para la visualización y la consulta de los datos resultantes.

Marco normativo

En los últimos años se han publicado multitud de directivas, reglamentos, reales decretos, etc., para promover las energías limpias, el autoconsumo eléctrico y la reducción de los gases de efecto invernadero, entre las que cabe destacar las siguientes:

- La Directiva 2018/844, por la que la Unión Europea se compromete a establecer un sistema energético sostenible, competitivo, seguro y descarbonizado. Para alcanzar ese objetivo, los Estados miembros y los inversores necesitan medidas destinadas a alcanzar el objetivo a largo plazo de emisiones de gases de efecto invernadero y a descarbonizar el parque inmobiliario, que es responsable de aproximadamente el 36 % de todas las emisiones de CO_2. Por ello, se compromete

Para calcular el potencial solar se han utilizado datos existentes de diferentes organismos públicos.

a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en al menos un 40 % de aquí a 2030 en comparación con 1990 y a aumentar a un 27 % la cuota de aprovechamiento de las fuentes de energía renovable.

- La Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables con el objetivo de reducir las emisiones de efecto invernadero y para cumplir el Acuerdo de París de 2015 sobre el Cambio Climático.
- El Real Decreto-ley 14/2022, de 1 de agosto, de medidas de sostenibilidad económica, así como de medidas de ahorro, eficiencia energética y de reducción de la dependencia energética del gas natural.
- La Resolución de 30 de diciembre de 2020, por la que se declara el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), que consta de 78 medidas, clasificadas en descarbonización, eficiencia energética, seguridad energética, mercado interior de energía, e investigación, innovación y competitividad. Cabe destacar las medidas para el desarrollo del autoconsumo con renovables y la generación distribuida, y medidas de eficiencia energética en edificios residenciales existentes.
- Orden PCM/466/2022, de 25 de mayo, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 24 de mayo de 2022, que aprueba el Plan de medidas de ahorro y eficiencia energética de la Administración General del Estado y las entidades del sector público institucional estatal. Por el que se acometerá un despliegue masivo de instalaciones de autoconsumo. Así, se articulará un sistema de identificación de ubicaciones en los edificios e infraestructuras de la Administración General del Estado para albergar instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo e instalación de los primeros 50 MW.

Fuentes de datos y proceso de cálculo

En una primera fase del proyecto, se analizaron los datos existentes necesarios para el cálculo; todos los datos analizados proceden de datos públicos abiertos. Posteriormente, se seleccionaron los más adecuados para el proyecto, por cobertura, resolución, homogeneidad o disponibilidad, que son los siguientes:

- En cuanto a los edificios, se tuvieron que integrar y procesar datos de diferentes fuentes catastrales:
  - País Vasco: Datos de edificios generados por el Eusko Jaurlaritza / Gobierno Vasco a partir de la Base Topográfica Armonizada a escala 1:5000 (BTA5). Con esa base el Gobierno Vasco hizo una importante tarea de división de unidades con los datos de catastro, mantenidos por las Diputaciones Forales, que fue mejorada y completada con datos del Instituto Vasco de Estadística.
  - Navarra: datos de edificios obtenidos a partir del servicio estándar *Web Feature Service* (WFS) de INSPIRE proporcionados por el Nafarroako Gobernua / Gobierno de Navarra.
  - Resto de España: datos obtenidos de la base cartográfica vectorial de la Dirección General del Catastro, a través de su sede electróni-

ca. Para la descarga de edificaciones se utilizó el servicio ATOM de catastro conforme a INSPIRE (*Insfrastructure for Spatial Information in Europe*).

Esta información catastral de edificaciones satisface las necesidades, tanto geométricas como alfanuméricas, para su integración en el flujo de trabajo en la etapa de extracción de resultados requeridos tras el cálculo de la energía fotovoltaica. Los diferentes modelos de datos se integraron en un modelo único de edificios para toda España.

- Datos de elevación:
  - Los datos de elevación se emplean para construir los modelos derivados en los que se basa el cálculo de la radiación solar. A partir de los datos de elevación se construyen: el modelo de orientaciones, el modelo de pendientes, el modelo de sombras y la altura del horizonte que son las cuatro variables necesarias para el cálculo de la energía fotovoltaica.

  Tras el análisis de las fuentes de información disponibles: nube de puntos LIDAR, Modelo Digital Edificios (MDE) y MDS-Modelo Digital de Superficies (MDS) se decidió utilizar el Modelo Digital de Superficies de ancho de malla de 2 metros (MDS02) del IGN .Esta decisión se fundamenta principalmente en que es una fuente de información derivada de LIDAR que ya ha sido procesada y validada. Además, tiene una resolución suficiente y adecuada para procesar datos de toda España. La utilización del MDS02 permite tener en cuenta los árboles y sus sombras para el cálculo de la radiación solar.
- Datos de radiación solar:
  - A la hora de hablar de los datos de radiación solar nos centramos en la irradiación solar, energía por unidad de área, que puede obtenerse de diferentes fuentes en distintos periodos, horas, días, meses o todo un año.

  En el proceso que nos ocupa, datos que hacen referencia a la irradiación solar son indispensables para el correcto cálculo del potencial fotovoltaico. Se dispone de información de diferentes bases de datos, como por ejemplo, ADRASE, PVGIS, AEMET, NASA POWER Project, Data Sets, etc,.

  Una vez analizadas las diferentes fuentes de datos, se decidió optar por la información proporcionada por PVGIS. PVGIS es una herramienta proporcionada por la Comisión Europea que permite obtener la turbidez y el coeficiente de radiación solar para Europa y África, así como para parte de Asia y América. PVGIS utiliza datos de radiación solar obtenidos de imágenes de satélite. Son datos rasterizados que pueden utilizarse en un *software* de Sistema de Información Geográfica (SIG) y que representan medias anuales y mensuales a largo plazo de determinados parámetros climáticos.

En primer lugar, se procesaron los datos para calcular el aprovechamiento de cubiertas y espacios, tanto urbanos como rurales, mediante energía fotovoltaica. Estos procesos se programaron con Python 3 y para el tratamiento de los datos ráster se utilizó GRASS GIS.

Para obtener el modelo de radiación solar a partir de los datos de elevaciones (MDS02), fue imprescindible calcular inicialmente los modelos derivados de estas elevaciones:

- Modelo digital de pendientes

- Modelo digital de orientación
- Modelo digital de altura del horizonte

Una vez obtenidos estos modelos derivados se calculan los modelos de radiación solar empleando la función "r.sun" (irradiación solar directa, difusa y reflejada en el suelo), en la cual se introducen los datos de los modelos de elevación, pendiente, orientación y altura del horizonte, generados previamente. Estos mapas se definen para un día tipo de cada mes (como referencia se toma el día 15 de cada mes) y para determinadas horas, por lo que cada mapa generado mostrará la radiación a diferentes horas del día tipo. En el siguiente gráfico se muestran las horas (tiempo solar) para las que se calculó la radiación solar en los diferentes meses del año.

Mes	Horas
Febrero - Marzo - Abril	10:30 / 11:00 / 12:00 / 13:00 / 13:30
Mayo - Junio - Julio	10:00 / 11:00 / 12:00 / 13:00 / 14:00
Agosto - Septiembre - Octubre	10:30 / 11:00 / 12:00 / 13:00 / 13:30
Noviembre - Diciembre - Enero	11:00 / 12:00 / 13:00

Horas (tiempo solar) para las que se ha realizado el cálculo de la radiación solar en los diferentes meses del año.

Los mapas ráster de irradiación solar (directa, difusa y reflejada) se calculan para estos días determinados y las variables calculadas anteriormente: la latitud, la elevación, la pendiente y los mapas ráster de aspecto.

El programa utiliza el factor de turbidez de la atmósfera de Linke, el coeficiente de albedo (0,15) del suelo, el coeficiente de radiación del haz y el coeficiente de radiación difusa para corregir los valores que calcula y aproximarlos a un valor real. Para establecer el factor de turbidez y los coeficientes de radiación del haz y difusa se emplea la información ráster que provee PVGIS.

Una vez que se calculan los valores de radiación solar anual para las zonas implicadas en elproceso se enmascaran las geometrías de los edificios rasterizados mediante GDAL paraobtener los valores de radiación solar, únicamente, sobre los edificios.

Una vez procesado los ficheros ráster de elevaciones se obtienen dos tipos de salidas:

- Ficheros en formato imagen (tif) que almacenan la radiación solar por metro cuadrado calculada para el total de la zona (hoja MTN25)
- Ficheros en formato imagen (tif) enmascarados que almacenan la radiación solar por metro cuadrado calculada sólo para las áreas ocupadas por edificaciones de catastro. Esta información se utiliza para calcular la radiación solar media por edificios.

Para cada edificio se calcula y almacena la siguiente información:

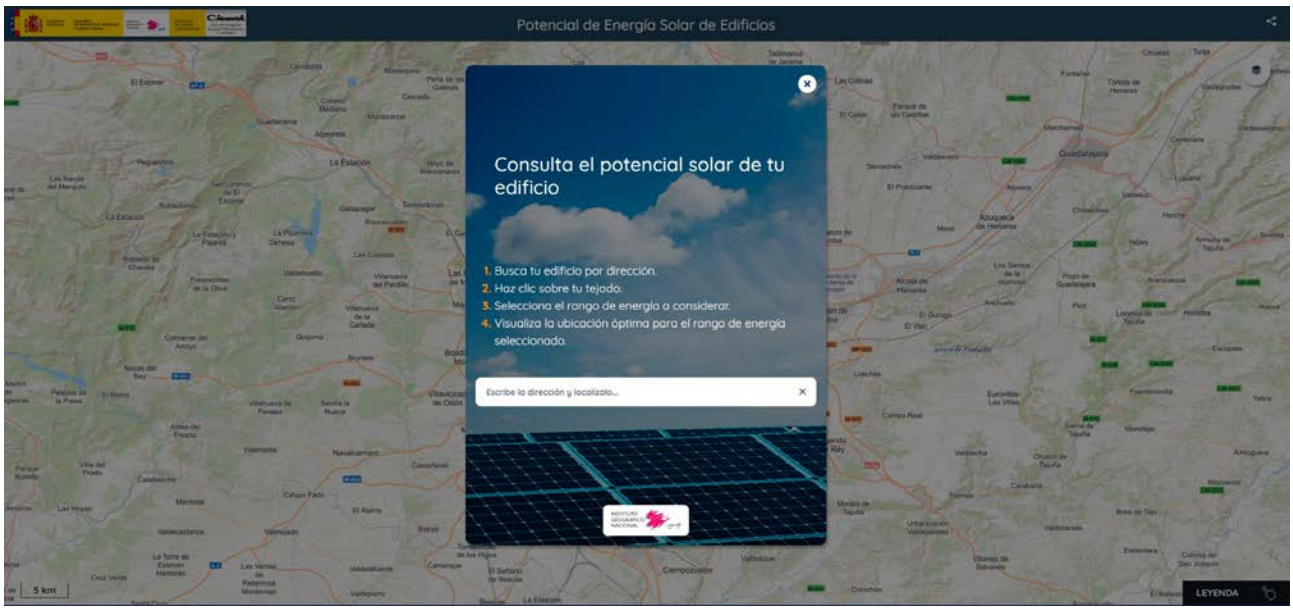
- Valor medio anual: Media aritmética de los kilovatios hora por metro cuadrado del tejado del edificio seleccionado.

- Valor mínimo anual: Mínimo valor de kilovatios hora por metro cuadrado para todo el edificio.
- Valor máximo: Máximo valor de los calculados de kilovatios hora por metro cuadrado para todo el edificio.
- Energía solar acumulada: Suma de los valores de todos los kilovatios hora sobre la cubierta de cada edificio.

Con los datos resultantes se hizo un proyecto piloto en la ciudad de Madrid; los resultados fueron validados por el CIEMAT a partir de datos obtenidos con otras herramientas, así como mediante datos de mayor resolución obtenidos en Alpedrete. Una vez validado el conjunto de resultados y la metodología empleada se procesar los datos para el resto de España.

Visualizador

Los datos que se han obtenido se han puesto a disposición de los usuarios para su consulta mediante un visualizador *web* que se ha diseñado que muestra diferentes capas con la información. El acceso al visualizador dispone de unas pequeñas instrucciones para guiar a los usuarios en el que se indica:



Página de inicio del visualizador de Potencial Solar de Edificios.

- Busca tu edificio por dirección
- Haz clic sobre su tejado
- Selecciona el rango de energía a considerar
- Visualiza la ubicación óptima para el rango de energía seleccionado

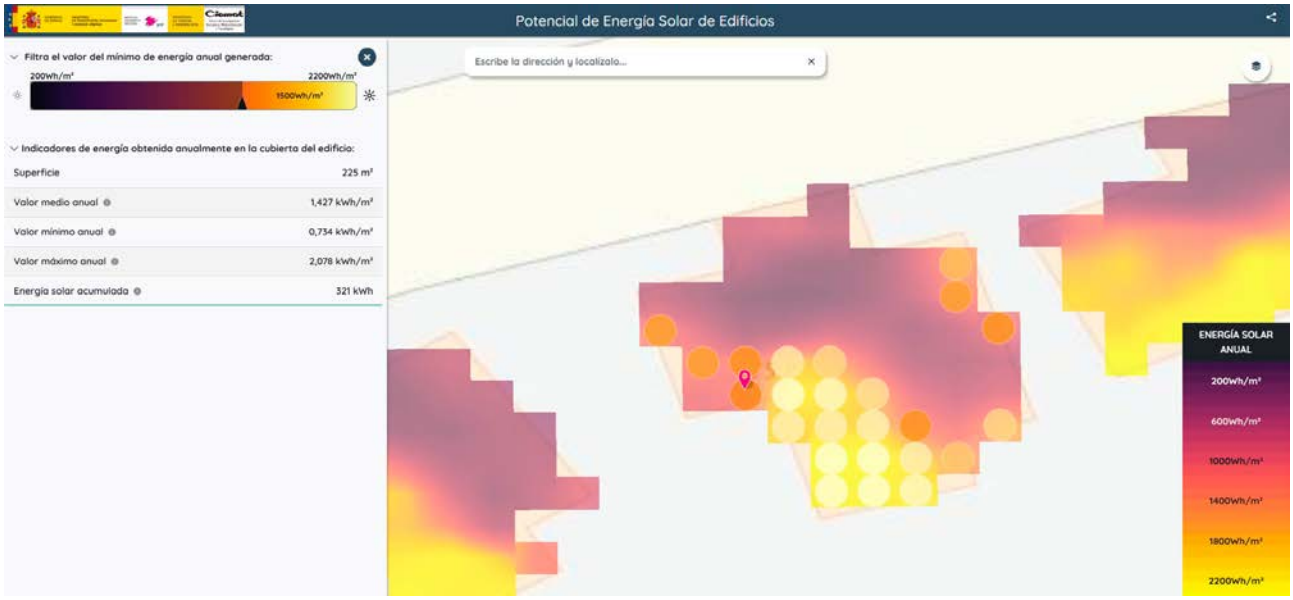
Por ejemplo, si introducimos la calle de Comunidad de Madrid 75 de Boadilla del Monte, nos ubicaríamos en la zona y veríamos la radiación solar y, en la leyenda,se indicase indica la correspondencia en kilovatios hora anuales por metro cuadrado.

Al pulsar sobre el tejado del e dificio aparece una malla de puntos con el potencial de cada uno de ellos y se despliega un menú que nos permite configurar el rango de energía para seleccionar la ubicación óptima de las

Potencial solar de un edificio según la radianza recibida a lo largo del año.

placas. Por ejemplo, si queremos seleccionarlos puntos con una energía superior a 1500 Wh/m^{2}desplazamos la flecha hacia la derecha hasta el valor deseado, y únicamente se visualizan los puntos con ese valor o superior.

Herramienta que filtra los puntos con la energía solar mayor o igual a la indicada al desplazar la flecha.

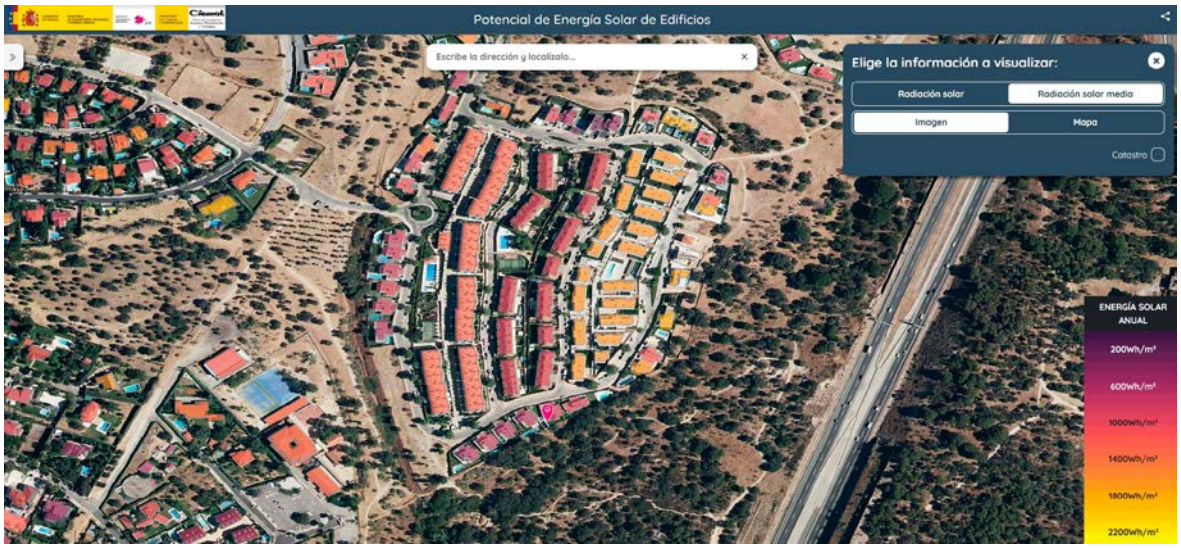


Localización de los puntos en los que la energía solar es mayor de 1500 Wh/m^2.

Además, en el menú se muestra el resumen de la energía solar para el edificio seleccionado en el que se indica:

- Superficie (m²) del tejado o cubierta.
- Valor medio de energía solar al año (kWh/m²)
- Valor mínimo de energía solar al año (kWh/m²)
- Valor máximo de energía solar al año (kWh/m²)
- Valor acumulado de energía solar al año (kWh) sobre la cubierta del edificio.

También es posible visualizar la energía media del edificio activando la capa correspondiente en el panel de capas, que se despliega en el botón superior derecho. De este modo, se pueden visualizar aquellos edificios que tendrían una mayor o menor energía solar.



Radiación solar media de la cubierta o tejado para todo el año.

El visualizador también permite activar la capa de Catastro para ver la cartografía de la Oficina Virtual del Catastro, que está superpuesta y que contiene información, por ejemplo, de las diferentes cubiertas y plantas.

Radiación solar media de los edificios junto con la capa de Catastro.

Futuro

Este visualizador es una primera versión que irá mejorando en el futuro, incluyendo más herramientas que permitan explotar los datos existentes. Entre ellas, podrían incluirse las siguientes:

- Ubicación óptima de paneles solares. Uno de los objetivos de la herramienta consiste en proveer de funcionalidades que permitan la optimización en la ubicación de instalaciones fotovoltaicas. La herramienta calculará y ofrecerá la ubicación óptima aproximada de los paneles solares en función de la irradiancia.
- Configuración de la potencia a instalar en cubiertas: A partir de las ubicaciones determinadas para el emplazamiento de paneles solares, la herramienta permitirá configurar la potencia a instalar, seleccionando de forma automática de entre todas las ubicaciones aquéllas que permitan el rendimiento óptimo de la instalación para la potencia seleccionada.
- Cálculo del coste de instalación: La herramienta contará con una configuración por defecto del coste de instalación de paneles fotovoltaicos. Esta configuración será editable por el usuario para adaptarla a sus características particulares. De esta forma, en función de la configuración que el usuario realice, la herramienta podrá estimar: coste de instalación, energía generada y periodo de amortización de la instalación. Sería una herramienta similar a los simuladores de hipotecas en la que se pueden configurar los diferentes parámetros.
- Determinación de las vías con mayor insolación, permitiendo establecer una categorización de éstas en función de la radiación solar asociada.

- Cálculo de las características de irradiancia zonal: El usuario podrá seleccionar una zona mediante herramientas de dibujo libre y obtener el potencial solar de la zona seleccionada. Así mismo, se obtendrá la ubicación óptima de paneles solares en el área seleccionada, permitiendo el cálculo de costes de una instalación de acuerdo con los parámetros de configuración seleccionados.
- Cálculo de la irradiancia asociada a una capa vectorial poligonal: La herramienta permitirá la carga de información vectorial poligonal en distintos formatos de información geográfica (geojson, geopackage, shapefile, gml) y el cálculo automatizado del potencial solar asociado y la ubicación óptima de paneles. Igualmente, se podrá obtener el cálculo de costes de una instalación conforme a configuración.
- Potencial solar de comunidades energéticas: Se realizará un cálculo sobre el potencial solar para el establecimiento de comunidades energéticas de acuerdo con la legislación vigente, permitiendo establecer los criterios geoespaciales necesarios según la legislación y ofreciendo el cálculo del potencial solar asociado.
- Potencial solar de edificios a partir de la referencia catastral. La herramienta permitirá a partir de un listado de edificios identificados por su referencia catastral, mostrar la radiación solar de cada uno de ellos, así como el posicionamiento óptimo de paneles solares fotovoltaicos. Esta funcionalidad será de propósito general, pero se implementará de forma particular para identificar el potencial solar de los edificios públicos. Sólo para este caso, se realizará un servicio de visualización estándar WMS (Web Map Service) asociado para su publicación en los portales de infraestructuras de datos.
- Curva anual de potencia de edificios: Se realizará el cálculo de la curva anual de potencia en los distintos edificios, permitiendo visualizar de manera gráfica la evolución del potencial solar a lo largo de un periodo de un año.

- Recopilación de potencial solar instalado en municipios: Se realizará una recopilación de información del potencial solar instalado a partir de diversas fuentes y se procederá a crear una capa de Potencial Solar Instalado que permitirá la consulta de esta información. Actualmente, no se dispone de esa información a nivel nacional.
- Cuadro de mando de potencial solar del territorio que permita realizar el análisis de las fuentes de información disponibles del territorio en función de distintos parámetros y con especial relevancia para la representación de la realidad territorial. En este sentido, el cuadro de mando deberá contar con capacidad de representación de la información espacial y generación de visualizadores derivados que muestren la información de manera interactiva e intuitiva al usuario.
- Visualizador 3D: La herramienta deberá contar con una orientación al concepto de gemelo digital, donde presente la información para comprender, predecir y optimizar el rendimiento de su homólogo en el mundo físico. Para ello, se desarrollará un visualizador 3D que permitirá la carga de la información relativa a potencial solar de forma eficiente e intuitiva, pudiendo extenderse a otros casos de uso.

Finalmente, será necesario mantener el sistema actualizado mediante procesos de actualización de datos de nuevo el potencial fotovoltaico.

Conclusiones

Este visualizador es más necesario que nunca debido al aumento del autoconsumo fotovoltaico con placas solares en el último año. Según las últimas estimaciones, en el año 2022 ha habido un crecimiento exponencial de instalación de placas solares, que ha desbordado las expectativas más optimistas que ha tenido mucho que ver con el aumento de los precios de la luz.

Además, el Gobierno acaba de aprobar la ampliación del radio para el autoconsumo compartido hasta 2 kilómetros, lo que promoverá aún más este tipo de instalaciones.

Este tipo de visualizadores permitirá a las empresas instaladoras y a los usuarios públicos y privados hacer una estimación del potencial solar, previo a la instalación, y ayudar a la toma de decisiones en cuanto a la ubicación de las placas, si es que se considera que el edificio tiene una buena disposición para la colocación de placas solares en base a los resultados obtenidos.

Referencias

Huld, T., Müller, R. y Gambardella, A., 2012. "A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa". Solar Energy, 86, 1803-1815.

Domínguez-Bravo, J.; Martín-Ávila, A.M., 2022. “Desarrollo de un modelo geográfico de alta resolución para la estimación de la energía solar en entornos urbanos e industriales. Análisis de resultados e idoneidad de las fuentes de datos”. In Proceedings of the XXVII Congreso de la Asociación Española de Geografía, Universidad de La Laguna, 2022; pp.71-88.