



Hábitat y Sociedad

ISSN 2173-125X

Transición Energética y Ecosocial: Aprovechamiento del Potencial Solar para una Comunidad Energética en Orcasitas

ENERGY AND ECOSOCIAL TRANSITION: HARNESSING SOLAR POTENTIAL
FOR AN ENERGY COMMUNITY IN ORCASITAS

Recibido: 12-04-2024

Aceptado: 08/07/2024

Javier Domínguez Bravo

CIEMAT

javier.dominguez@ciemat.com

0000-0002-9677-7265

María Domínguez Benito

ETSAM, UPM

maria.dominguez.benito@alumnos.upm.es

0009-0006-7568-7822

Ana María Martín Ávila

CIEMAT

AnaMaria.Martin@ciemat.es

0000-0002-9692-3250

Beatriz Arranz

ETSAM, UPM

beatriz.arranz@upm.es

0000-0002-6675-0248

Resumen La conexión entre la transición energética y ecosocial, así como la relevancia para informar procesos participativos y analizar casos concretos de transición energética en comunidades específicas, definen la finalidad de las investigaciones realizadas en diferentes ámbitos. El estudio analiza la viabilidad de implementar una comunidad energética renovable, centrándose en el potencial de aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en el Poblado Dirigido de Orcasitas en Madrid. Los resultados muestran un potencial esperanzador, con más de 6,5 MWp disponibles en cubiertas que podrían generar cerca de 8.500 MWh anuales, cubriendo aproximadamente la mitad del consumo eléctrico estimado para todas las viviendas del barrio. Se destaca que, a nivel de edificio, el potencial fotovoltaico varía según el tipo de vivienda y su orientación, siendo los bloques en altura de vivienda colectiva los más afectados por esta variación. Además, se sugiere la integración de la tecnología solar desde el diseño inicial de los proyectos de construcción o rehabilitación. El estudio concluye que estos hallazgos pueden contribuir al desarrollo del autoconsumo solar y el apoyo a las comunidades energéticas, en consonancia con los objetivos de transición energética y ecosocial, promoviendo un enfoque participativo en la toma de decisiones territorial.

Abstract The connection between energy and eco-social transition, as well as the relevance for informing participatory processes and analysing concrete cases of energy transition in specific communities, define the purpose of the research carried out in different fields. The study analyses the feasibility of implementing a renewable energy community at neighbourhood level, focusing on the potential of harnessing solar photovoltaic energy in the Poblado Dirigido de Orcasitas. The results show a promising potential, with more than 6.5 MWp available on rooftops that could generate around 8,500 MWh per year, covering approximately half of the estimated electricity consumption for all dwellings in the neighbourhood. It is highlighted that, at the building level, the PV potential varies according to the type of housing and its orientation, with high-rise blocks of collective housing being the most affected by this variation. In addition, the integration of solar technology from the initial design of construction or renovation projects is suggested. The study concludes that these findings can contribute to the development of solar self-consumption and the support of energy communities, in line with the objectives of energy and eco-social transition, promoting a participatory approach to decision-making at territorial level.

Cómo citar:

Domínguez Bravo, Javier, Domínguez Benito, María, Martín Ávila, Ana María, Arranz Arranz, Beatriz. Transición Energética y Ecosocial: Aprovechamiento del Potencial Solar para una Comunidad Energética en Orcasitas. *Hábitat y Sociedad*, (17), 79-106. <https://doi.org/10.12795/HabitatySociedad.2024.i17.05>

Palabras claves Participación ciudadana, comunidades energéticas renovables, energía solar, sistemas de información geográfica.

Keywords Citizen participation, renewable energy communities, solar energy, geographic information systems.

1. Introducción

En la actualidad asistimos a un desarrollo muy importante en el aprovechamiento de las energías renovables. Este desarrollo se enmarca en la necesidad de buscar alternativas ante la crisis climática y en la propuesta de un nuevo modelo energético que ayude a transitar hacia una perspectiva más ecológica y socialmente justa. En este ámbito, la energía solar está jugando un papel relevante por su eficiencia, capacidad de integración en espacios edificados y potencial para el autoconsumo energético.

Podemos definir la energía solar como aquella que utiliza la radiación del sol para generar electricidad (fotovoltaica) o calor (térmica). Es inagotable y renovable, y se aprovecha mediante la utilización de diferentes tecnologías como paneles fotovoltaicos (FV), captadores térmicos o espejos que permiten concentrar la radiación incidente. En función de su aprovechamiento, existen tres tipos de energía solar: térmica, fotovoltaica e híbrida. La energía solar térmica puede ser utilizada en edificios e instalaciones para calefacción y agua caliente sanitaria.

Se puede definir la energía solar fotovoltaica como aquella que transforma la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Esta tecnología se basa fundamentalmente en células de silicio, que se agrupan en módulos de diferentes intensidades, dimensiones y características. Estas instalaciones pueden estar aisladas o conectadas a la red eléctrica (Luque y Hegedus, 2011; Pareja Aparicio, 2016; Wenham et al., 2013). Cuando hablamos de energía solar integrada o BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*), nos referimos a que los paneles solares sustituyen a un elemento constructivo, generalmente del acabado. Comúnmente se dan en cubiertas o en fachadas (parasoles, fachadas ventiladas, acristalamientos, muros cortina, etc.) (Farkas et al., 2013). También se dan ejemplos fuera de los edificios, como en pérgolas, aparcamientos o mobiliario urbano.

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) contempla en su medida 1.4 el desarrollo del autoconsumo con renovables y la generación distribuida. Define que “el autoconsumo con renovables permite acercar la generación al consumo y, por tanto, reducir pérdidas, incrementar la implicación de los consumidores en la gestión de su energía y reducir el impacto de la producción renovable sobre el territorio. Asimismo, convertir al consumidor en productor supone un mecanismo para ampliar las posibles fuentes de financiación del desarrollo de renovables” (MITERD, 2020, p. 92). Igualmente, considera el autoconsumo colectivo como punto de partida para las comunidades energéticas locales.

En su forma colectiva, el autoconsumo es desarrollado en el Real Decreto 244/2019 y permite que diversos consumidores de una misma comunidad (comunidad de

propietarios, barrio, polígono industrial, etc.) puedan beneficiarse colectivamente de las mismas instalaciones de generación situadas en su entorno. Esta proximidad conlleva un mejor aprovechamiento de la capacidad de generación y, por tanto, de la inversión a realizar.

Junto al autoconsumo, las comunidades energéticas constituyen una estrategia de aprovechamiento de la energía solar con un alto potencial en nuestras ciudades y pueblos. Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2024a) las comunidades energéticas locales se caracterizan por la implicación de sus miembros en el desarrollo de las energías renovables para la producción y consumo de energía dentro de la propia comunidad. La utilización de los recursos locales contribuye a disminuir la dependencia de energía externa. La legislación europea emplea dos denominaciones distintas: Comunidad Ciudadana de Energía y Comunidad de Energía renovable (Directiva (UE) 2018/2011; Directiva (UE) 2019/944), mientras que el IDAE, alude en su estudio al fomento de las Comunidades Energéticas Locales (AIGUASOL, 2019), sin que estas distinciones impliquen una diferencia relevante en su motivación, ya que el objetivo de las comunidades energéticas no es directamente un beneficio económico, sino un valor social y medioambiental. Para gestionarlas de manera eficiente se tiene en cuenta que hay “picos” de producción energética (cuando más se produce) y valles (cuando menos se produce).

Estos conceptos se combinan junto a la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024 [Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO), 2019] y la Estrategia Nacional de Autoconsumo (MITERD, 2021) para tratar de dar respuesta a la actual crisis energética y climática y a los problemas sociales y ambientales asociados a la misma. Podemos afirmar, en definitiva, que detrás de todos estos planes y estrategias existe una apuesta por la participación de la sociedad en la definición de un nuevo modelo energético, basado en la sostenibilidad ambiental y en la adecuación más efectiva entre eficiencia, consumo y generación de energía; así como, el posicionamiento, al menos de una parte de los agentes implicados, por una visión más social y territorial de la energía como bien comunitario.

En este contexto, el Poblado Dirigido de Orcasitas en Madrid, objeto de este estudio, reúne una serie de características que lo hacen especialmente vulnerable, entre ellas, la afección como isla de calor por sus características urbanas y la abundancia de casos de pobreza energética. Además, el barrio tiene una larga trayectoria en el movimiento vecinal que busca favorecer su renovación y rehabilitación energética.

Como ya señalaba la profesora Dolores Brandis (1983) en la década de los 80 del pasado siglo, muchos barrios de promoción oficial, como el que nos ocupa, de escasa calidad y planificación, y con una rápida degradación, se ven hoy en día enfrentados a una nueva realidad que combina la ineficiencia energética de sus viviendas con unas nuevas condiciones climáticas caracterizadas, entre otras, por recurrentes olas de calor. Esta afirmación, sigue plenamente vigente cuarenta años después, con unos efectos que se ven claramente agravados con el paso del tiempo.

Frente al modelo neoliberal, que ha imperado en ciudades como Madrid desde finales del pasado siglo, dirigido a la promoción inmobiliaria como un motor fundamental de desarrollo económico (Romero et al., 2015) se presenta un modelo urbano basado en la participación vecinal, cuyo principal valor es la convivencia y el sentido de pertenencia. Se plasma, una vez más, la respuesta colectiva por mejorar las condiciones habitacionales, como hemos señalado, agravadas por la crisis climática y ambiental.

El derecho a la ciudad formulado por Lefebvre (1978) en la década de los 60, y entendido como el acceso a la calidad de vida urbana de acuerdo al criterio y deseo de sus pobladores (Cervero-Sanchez, 2020), debe de entroncar, en el momento actual, con el derecho a la energía (Varo Barranco, 2019) y a la calidad de vida en las viviendas entendida también como confort climático. La continuación del concepto de Lefebvre por parte de autores como (Ortiz, 2010), pone en valor la necesidad de la participación activa de la población en el ejercicio de estos derechos. Del mismo modo, el derecho de la energía, tomando como base los principios de seguridad del suministro, de eficiencia económica y de sostenibilidad medioambiental (Del Guayo Castiella, 2020), tiene una plasmación explícita en el desarrollo de comunidades energéticas promovidas por la participación ciudadana como estrategia de mejora en su calidad habitacional.

De acuerdo con Noelia Cervero-Sanchez (2020), “La remodelación del Poblado Dirigido de Orcasitas (1976-1986) supone una conquista del espacio urbano cuyo verdadero motor es la participación” (p. 291). Este proyecto de remodelación, que primaba la calidad material del cambio físico, no llegó a favorecer un cambio social capaz de mejorar el nivel de vida de la población. Y es en este aspecto de la mejora del nivel de vida de la población, donde numerosos autores han puesto de manifiesto la multidimensionalidad conceptual de la justicia energética (Heffron y McCauley, 2017), en el ámbito de la ciudad (Tirado-Herrero, 2018) o en el del acceso a la energía en el medio rural y en espacios de cooperación al desarrollo (Page-Arias y Domínguez, 2018).

De este modo, si bien las comunidades energéticas no son la solución al problema descrito, si pueden formar parte de una respuesta colectiva ante una realidad acuciante que, no siempre, es conciliable con la peculiar idea de sostenibilidad de otros agentes energéticos, alejados de la dinámica urbana y social donde se desarrollan estas nuevas comunidades.

Aunque desde hace unos años números ayuntamientos están apoyando proyectos enfocados al fomento del autoconsumo solar por parte de sus ciudadanos, como Valdecasas en Salamanca (VACOE Sociedad Cooperativa, 2023) o Manzanares el Real en la Comunidad de Madrid (Manzaenergía, 2020), aún son escasos los desarrollos en España (Figura 1), sobre todo tomando en consideración el enorme potencial de estas iniciativas para mejorar la vida de los ciudadanos. Sin duda, un mejor conocimiento de los recursos solares a escala urbana puede contribuir a mejorar esta situación.

En esa línea, el conocimiento del potencial solar de las ciudades tiene una gran importancia de cara a la promoción y planificación de estrategias de autoconsumo energético. Existen numerosos ejemplos metodológicos para el desarrollo de Catastros

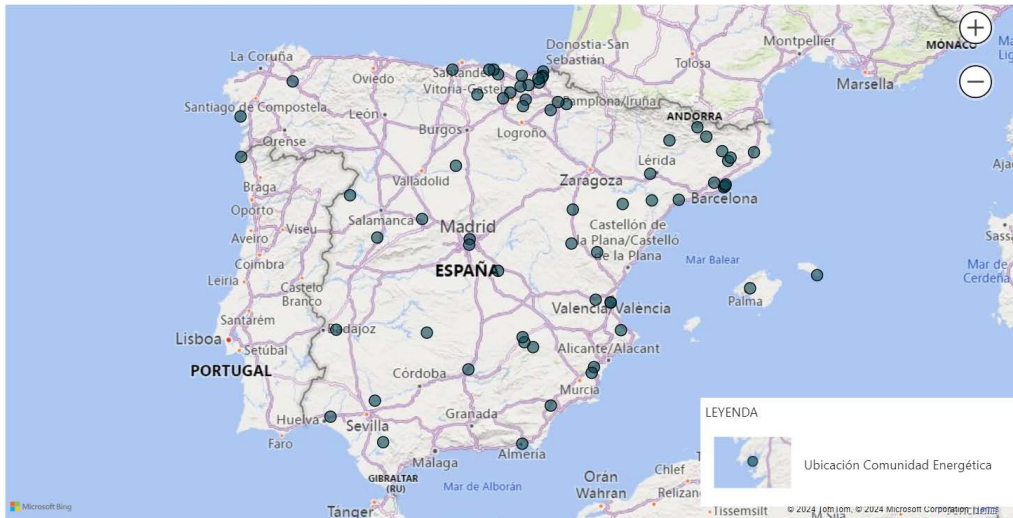


FIGURA 1
Mapa de Comunidades Energéticas. Fuente: IDAE, 2024b.

solares que permitan conocer este potencial (Bieda y Cienciała, 2021; Kanters et al., 2014; Klärle, 2011; Pedrero et al., 2019; Ramirez Camargo et al., 2015; Thebault et al., 2020).

Así pues, el estudio que aquí presentamos tiene como objetivo la implementación de una herramienta que ayude a reducir el gasto energético de manera más sostenible, mejorando las características de eficiencia y confort de las viviendas mediante el aprovechamiento del potencial solar (Domínguez-Bravo, 2023) y, por ende, las condiciones de sus habitantes para abordar mejor la actual crisis climática y energética.

2. Metodología

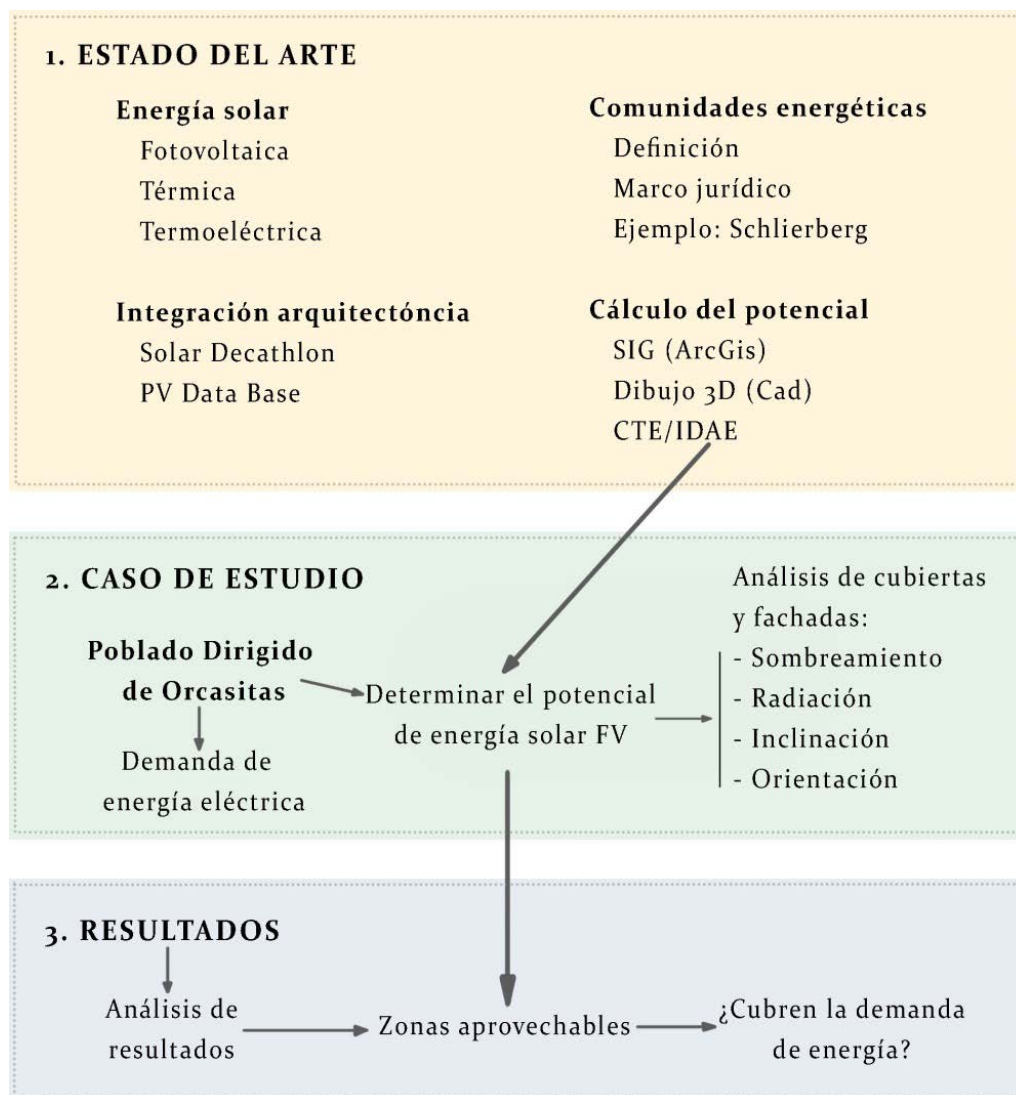
En línea con la problemática descrita, el estudio realizado en el Poblado Dirigido de Orcasitas (Domínguez-Benito, 2023), tiene como principal objetivo establecer las bases para el desarrollo de una nueva comunidad energética renovable (CER) fundamentada en el conocimiento de los recursos y en su capacidad de satisfacer la demanda.

El trabajo se estructura en tres fases (Figura 2): en primer lugar, se presenta el estado de la cuestión, incluyendo la revisión de los principales conceptos asociados a la tecnología solar, la experiencia en su integración arquitectónica, el análisis legal y conceptual de las comunidades energéticas y las diferentes metodologías para el cálculo del potencial solar en entornos urbanos. En segundo lugar, se realiza el caso de estudio para la determinación del potencial solar, en relación a la demanda, y considerando el aprovechamiento de cubiertas y fachadas. Finalmente, se extraen los resultados y se comparan con la demanda estimada, analizando el grado de cobertura de la misma que se podría alcanzar mediante el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica.

El Poblado Dirigido de Orcasitas está situado al sur de la ciudad de Madrid y forma parte del distrito de Usera. Esta zona está considerada como barrio vulnerable. Según su ficha de Área Estadística Vulnerable (AEV) [Universidad Politécnica de Madrid (UPM), 2011] contaba con los siguientes datos demográficos: 11.950 habitantes, 4.985 viviendas, 18.267 habitantes

FIGURA 2

Planteamiento del estudio.
Fuente: Elaboración propia.



por km² y 65,42 Ha de superficie. En la Figura 3 podemos ver el detalle de localización de la AEV según aparece en su ficha. Se compone de nueve secciones censales. Morfológicamente, la zona, de carácter predominantemente residencial, presenta varias tipologías edificatorias relacionadas con el momento de su promoción, con espacios comunes abiertos, y en diferente estado de conservación. Como veremos más adelante, estas diferencias se manifestarán también en su diferente potencial de aprovechamiento energético.

El barrio de Orcasitas siempre ha destacado por su inquietud y capacidad de auto organización. Actualmente, se encuentra dando los primeros pasos para convertirse en una CER que abarque y beneficie al conjunto de los edificios y de sus habitantes, buscando la implicación activa de los vecinos en el proceso.

Una de las formas de autoconsumo energético que más se está desarrollando hoy en día es la generación de energía eléctrica con paneles solares fotovoltaicos. Conocer la superficie disponible para su instalación es imprescindible para poder hacer una instalación adecuada y optimizar la generación energética.

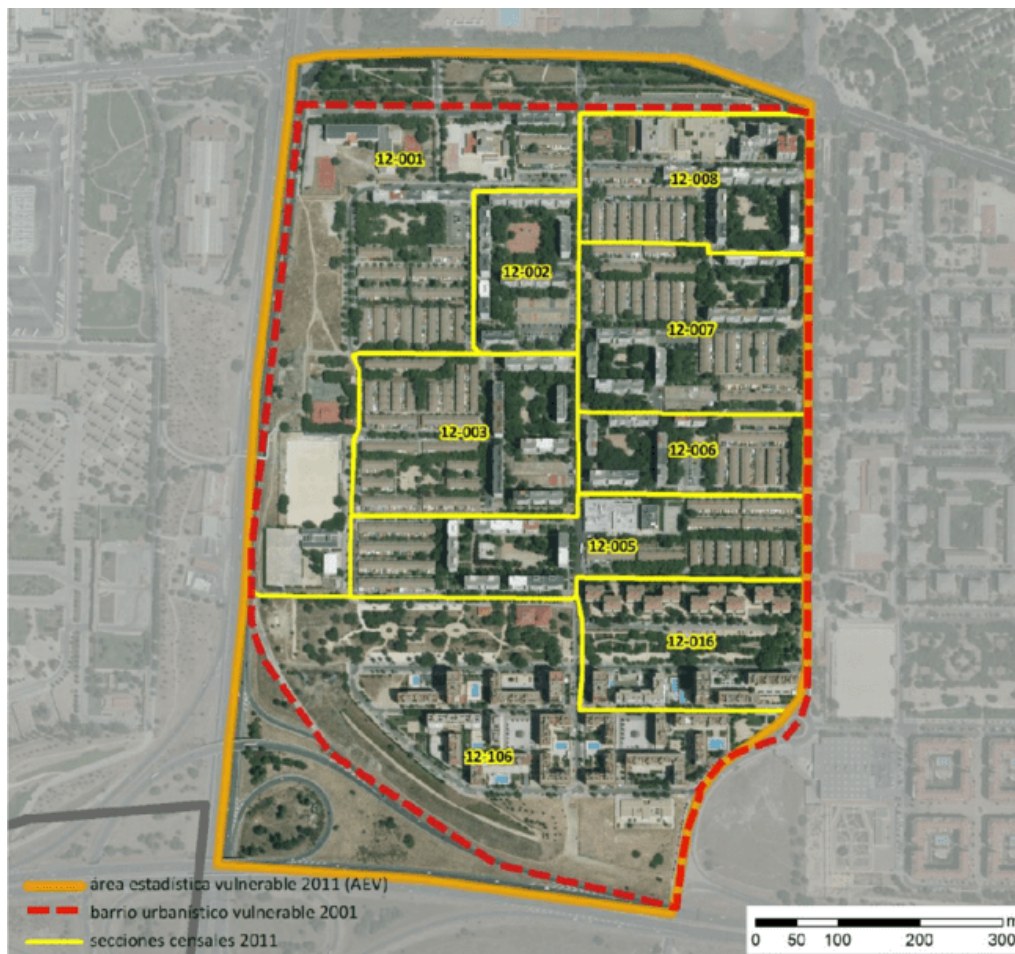


FIGURA 3:
Localización en detalle del
AEV. Fuente: UPM, 2011.

Existen múltiples formas para calcular el potencial solar. Entre ellas los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los programas de CAD (Diseño Asistido por Ordenador), permiten valorar la disponibilidad de cubiertas y fachadas para su aprovechamiento energético. También, se pueden encontrar programas comerciales diseñados para el estudio de las instalaciones solares, como por ejemplo PVSyst (2024), utilizado habitualmente para el dimensionado de instalaciones solares fotovoltaicas. Adicionalmente, existen también Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) como el Living Atlas de ArcGIS (ESRI, 2024a), POWER Project de la National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2023) y el Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica PVGIS de la Comisión Europea (CE, 2022), que nos proporcionan información geográfica en forma de mapas solares de diferentes zonas y contribuyen con su información a facilitar el estudio y conocimiento del espacio a analizar.

La metodología implementada en este proyecto se basa en el uso del software ArcGIS (ESRI, 2024b). Este SIG permite gestionar la información necesaria para el cálculo en base a su referencia geográfica (latitud, longitud y altitud). Estas referencias son fundamentales para trabajar con datos de posición y radiación solar, ya que estos varían notablemente según la situación en el globo terráqueo, tanto espacial como temporalmente.

A continuación, se desarrolla la metodología propuesta, con diferentes epígrafes en función de que se trate del aprovechamiento de las cubiertas o de las fachadas. Igualmente, los cálculos y resultados se exponen con esta división para, finalmente, valorar la viabilidad del conjunto de la generación fotovoltaica para satisfacer la demanda estimada de la CER en la zona de estudio.

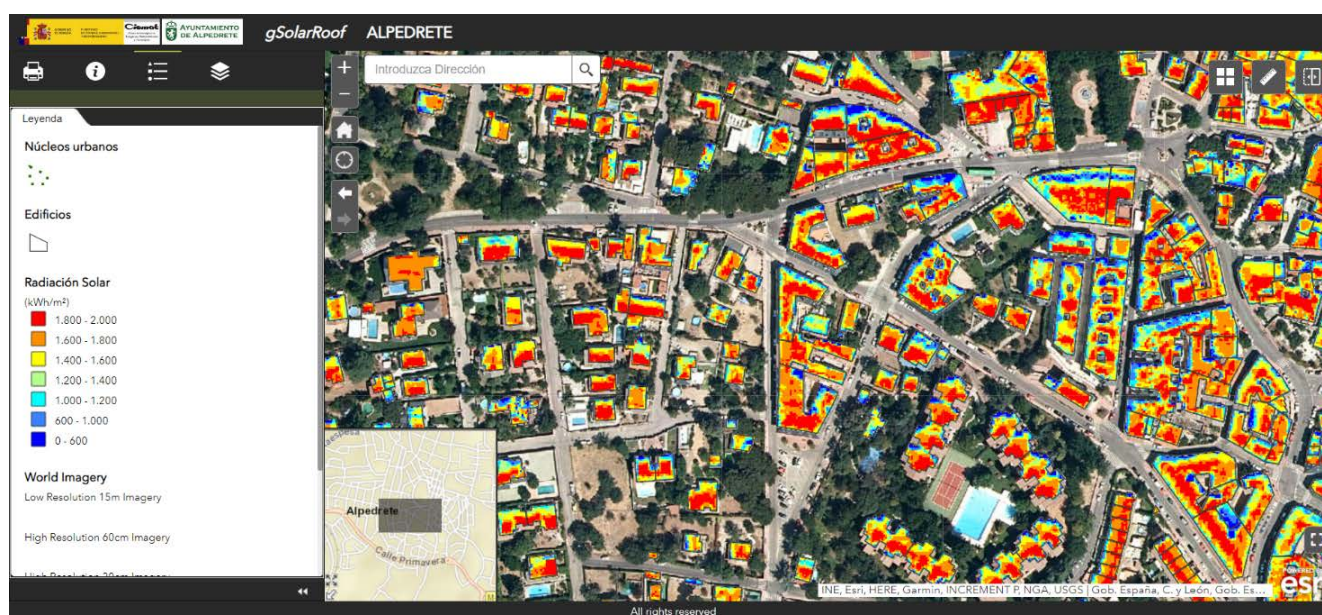
2.1. Estimación del potencial solar de las cubiertas

Para el cálculo del potencial solar de las cubiertas se ha utilizado el modelo gSolarRoof (Domínguez et al., 2017) (Domínguez, Amador y Martin, 2017; Domínguez, Martin y Amador, 2018), desarrollado por el Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica y Energías Renovables (gTIGER) del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT, 2021). Algunos de los trabajos desarrollados por este grupo se han realizado en las localidades madrileñas de Miraflores (Verso et al., 2015) o Alpedrete (Domínguez et al., 2018) (Figura 4) y en La Habana (Martín Ávila et al., 2022) (Figura 5).

En la Figura 6 podemos ver el diagrama de flujo de gSolarRoof. El modelo parte de la elaboración de un levantamiento tridimensional del área de estudio construido a partir de una nube de puntos LIDAR (Light Detection and Ranging), complementado con la información de la zona disponible en diferentes bases de datos geográficas. El conjunto de datos obtenido se integra en un SIG, en el que se establecen las variables que influirán en el emplazamiento de los paneles solares y la energía generada, considerando la estructura de la zona urbana, la radiación solar recibida en los tejados y la tipología de los edificios.

El modelo analiza la superficie disponible para el aprovechamiento solar en base a aspectos tales como la inclinación y orientación de los tejados, las sombras o la accesibilidad a los mismos. A partir de este análisis, el sistema diferencia entre cubiertas

FIGURA 4
Visor de radiación solar de Alpedrete. Fuente: CIEMAT y Ayuntamiento de Alpedrete, 2018.



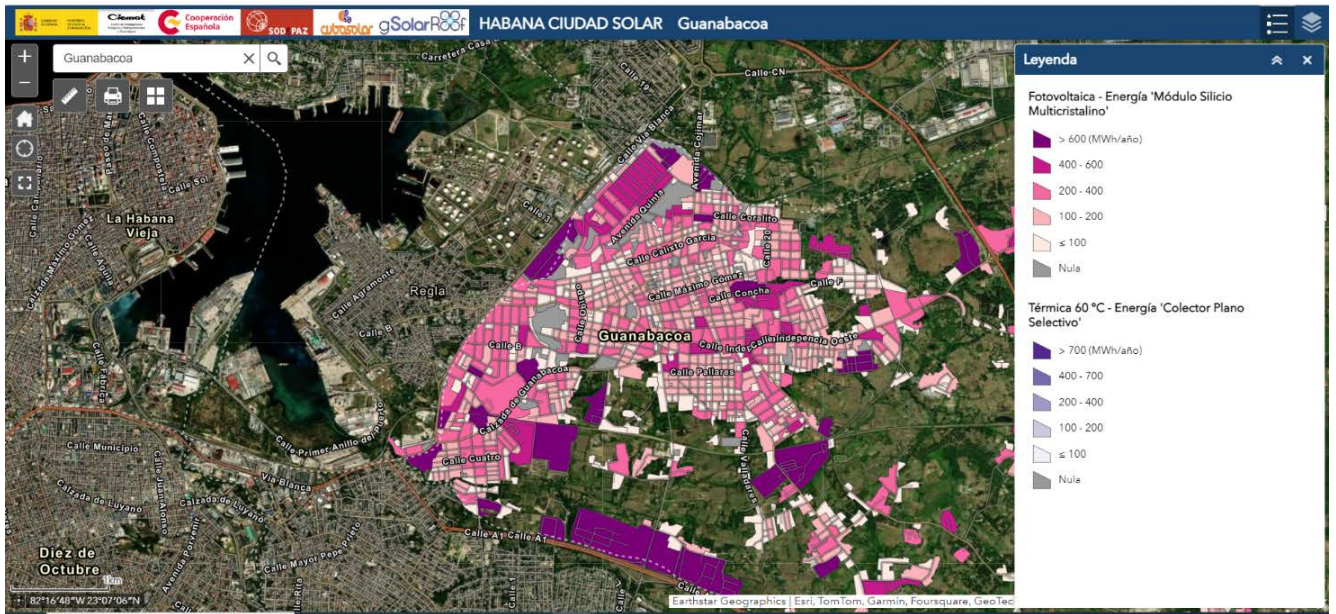


FIGURA 5
Visor Habana Ciudad Solar.
Fuente: CIEMAT, 2022.

Datos de entrada

Modelo gSolarRoof

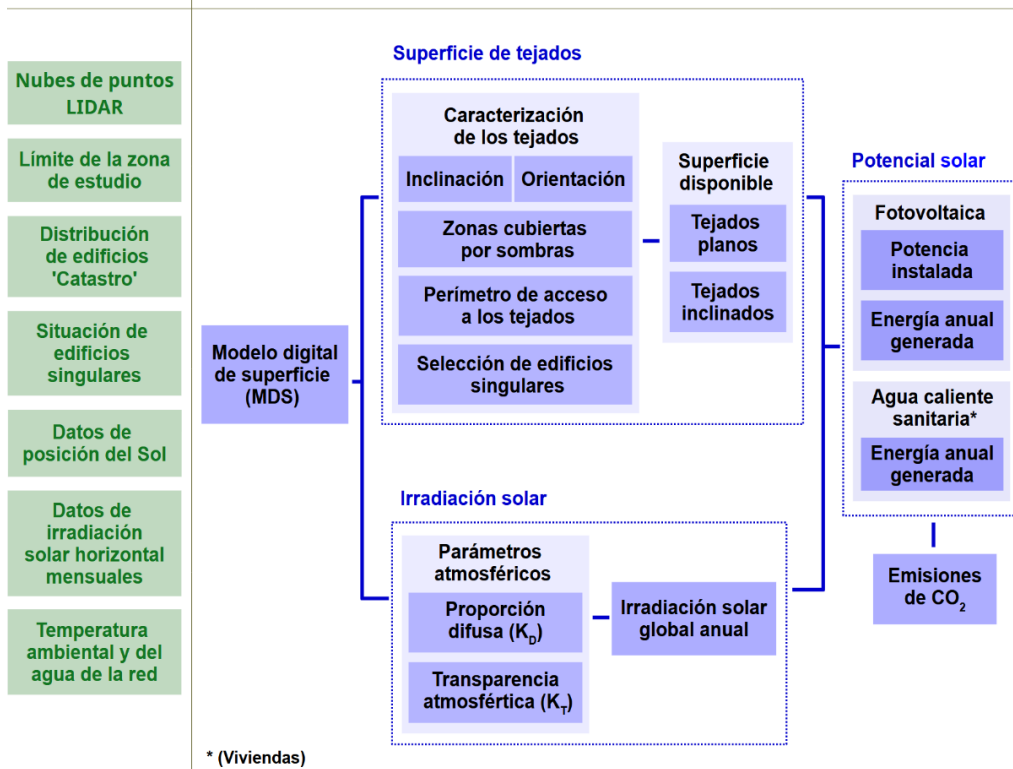


FIGURA 6
Flujograma del modelo
gSolarRoof. Fuente:
(Martín-Ávila, 2023).

* (Viviendas)

horizontales e inclinadas. Paralelamente, el modelo evalúa la irradiación solar global recibida por el edificio a lo largo del año en relación a la posición solar y a parámetros asociados a la variación estacional de las condiciones atmosféricas.

Finalmente, el sistema es capaz de calcular la potencia fotovoltaica que se podría instalar en función de la tecnología, así como la energía anual generada. Igualmente, en el caso de estar interesados en el aprovechamiento de agua caliente sanitaria (ACS)

solar, podría ser calculado su resultado. La generación solar obtenida se expresará en unidades de energía por año y también en emisiones de CO₂ evitadas.

A continuación, se desarrolla la metodología propuesta para el caso de estudio de Orcasitas, analizando con mayor detalle los diferentes aspectos del modelo, en este caso concreto, relacionados con la producción de energía fotovoltaica.

2.1.1. Modelo Digital de Superficies

En el cálculo para la estimación teórica de la energía que podría generarse en las cubiertas, se toma como base el Modelo Digital de Superficies (MDS) del área estudiada. Un MDS es una representación tridimensional del área urbana en la que se incluyen, además de los edificios, todos aquellos elementos que puedan formar sombras (arbolado, infraestructuras permanentes y temporales, etc.). Para construir esta imagen de la ciudad se crea un MDS basado en datos obtenidos con tecnología LIDAR. El uso de este tipo de datos es cada vez más frecuente, ya que nos permiten disponer de una mayor precisión en la distribución de los edificios y representar las dimensiones y geometría de los tejados (Jo et al., 215; Martín et al., 2015; Suomalainen et al., 217; Tiwari et al., 2020).

En este estudio se ha incorporado la tecnología LIDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) [Instituto Geográfico Nacional (IGN), 2024] que cubre todo el territorio nacional mediante nubes de puntos con coordenadas XYZ. Estos datos se pueden encontrar en el Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG, 2024). En este proyecto se utilizan los archivos LIDAR de la segunda cobertura (2015-2021), por ser los más actualizados en el momento de realizar el estudio. Este archivo de nube de puntos permite conocer la volumetría de los edificios y las masas de vegetación de la zona, así como la topografía del terreno.

Los archivos están en formato LAZ, y para poder trabajar con ellos en ArcGIS es necesario convertirlos a formato LAS. Para ello, se puede utilizar el programa CloudCompare (2024) o las LASTOOLS (Rapidlasso, 2024) de ArcGIS, que son un paquete de herramientas para la edición y análisis de este tipo de datos. Las nubes de puntos LIDAR presentan un tratamiento previo y están clasificadas para visualizar elementos como el suelo, la vegetación y los edificios. Sin embargo, para poder generar el MDS es necesario eliminar los puntos duplicados y aquellos que generan ruido (distorsiones en la altura de algunos puntos aislados con respecto a los de su entorno).

En la Figura 7 podemos apreciar la nube de puntos LIDAR una vez procesada, correspondiente al Poblado de Orcasitas. A partir de esta nube de puntos, con las herramientas de análisis espacial de ArcGIS se genera el MDS que, como hemos visto, servirá de base al análisis posterior (Figura 8).



FIGURAS 7-8

Nube de puntos LIDAR (izda.). Modelo Digital de Superficies (dcha.). Fuente: Elaboración propia.

2.1.2. Superficie disponible en las cubiertas

Una vez levantado el MDS, el siguiente paso es analizar la superficie disponible en los tejados para las instalaciones solares seleccionando aquellas zonas que por su posición proporcionen un mejor aprovechamiento de la radiación solar, permitan evitar el sombreado en determinados momentos del día y faciliten el acceso a los tejados.

Para analizar los tejados, previamente hay que extraer los edificios del MDS utilizando una “máscara” con el contorno de los mismos contenidos en la cartografía urbana de la base de datos del catastro. En la sede electrónica del catastro (Dirección General del Catastro, 2024) hay información sobre el parcelario catastral y las edificaciones, entre otros. En el apartado para la descarga de datos, se puede encontrar la cartografía vectorial en formato Shapefile, compatible con el programa ArcGIS.

Dos de los parámetros que influyen en la generación de energía fotovoltaica son la *inclinación* (ángulo respecto a la horizontal, siendo 0° una cubierta plana y 90° una fachada vertical) y la *orientación* (en las cubiertas planas no se tiene en cuenta la orientación al poder instalarse los paneles solares en la posición más adecuada). La Figura 9 recoge los mapas de inclinaciones y orientaciones elaborados como condicionantes de la disponibilidad de las cubiertas para su aprovechamiento solar. En el caso del mapa de inclinaciones, los colores más intensos reflejan una mayor pendiente, quedando fielmente reflejadas las cubiertas planas de los grandes edificios. En el caso de las orientaciones, podemos ver claramente como la mayoría de los edificios que no tienen una cubierta plana, presentan tejados a dos aguas con orientaciones

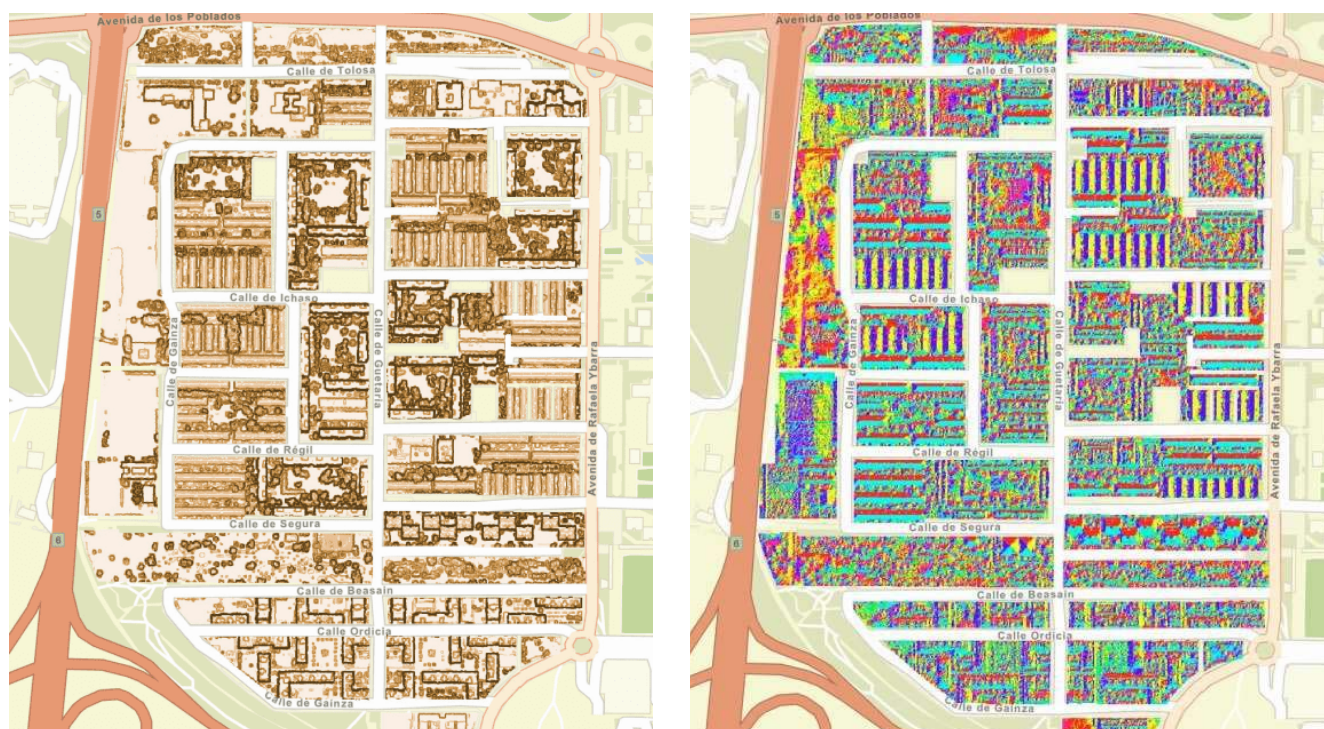


FIGURA 9
 Mapa de inclinaciones (izquierda) y mapa de orientaciones (derecha).
 Fuente: Elaboración propia.

predominantes sur y norte. Más adelante veremos con mayor detalle algunos casos concretos que nos permitirán interpretar mejor los resultados obtenidos.

El IDAE (2011a), en su documento “Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a la Red”, establece las pérdidas producidas en el aprovechamiento de la radiación solar, a medida que la inclinación y la orientación de la superficie se van alejando de la posición óptima. En este documento, se expone que las pérdidas máximas admisibles son del 10 % para el caso general, 20 % para la superposición de los módulos de acuerdo a la inclinación de la cubierta y del 40 % para el caso de su integración arquitectónica. En la Figura 10 se aprecian los diferentes porcentajes de pérdidas para la latitud que nos ocupa.

Otro de los parámetros analizados es el *sombreado* que puede afectar a los tejados. Uno de los criterios comúnmente utilizados en el diseño de instalaciones fotovoltaicas es, que deben descartarse para el cálculo de potencial solar aquellas zonas del tejado que tengan sombras de mediodía a lo largo del año. La existencia de sombras en el mediodía solar puede dar lugar a la existencia de los llamados puntos calientes, con consecuencias negativas para la eficiencia y la durabilidad de los módulos fotovoltaicos.

Para determinar estas zonas de sombras se utilizan los datos de la posición solar (azimut y altura en grados), que se pueden encontrar en la página web SoDa (MINES Paris Tech-Transvalor, 2022). Los datos se muestran a continuación en el Cuadro 1.

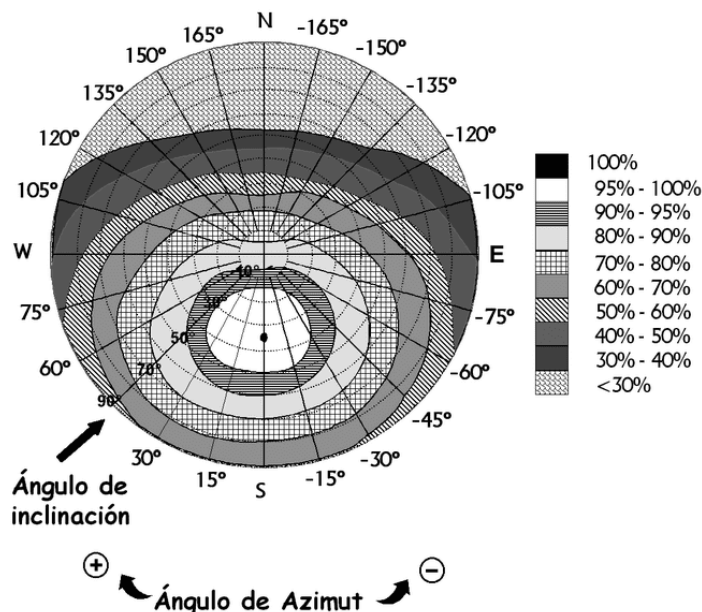


FIGURA 10
Porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación.
Fuente: IDAE, 2011a.

latitud: 40.220000 longitud: -3.420000

Fecha universal juliana	Año	Mes	Día	Elevación (grados)	Azimut (grados)
245.994.600.000.000	2023	1	1	26,6528	175,5932
245.996.100.000.000	2023	1	16	28,6041	173,7973
245.997.700.000.000	2023	2	1	32,3342	172,3056
245.999.200.000.000	2023	2	16	37,0584	171,5084
246.000.500.000.000	2023	3	1	41,8216	171,3278
246.002.000.000.000	2023	3	16	47,7315	171,6767
246.003.600.000.000	2023	4	1	54,1070	172,4971
246.005.100.000.000	2023	4	16	59,7593	173,3760
246.006.600.000.000	2023	5	1	64,7541	173,8662
246.008.100.000.000	2023	5	16	68,7755	173,4257
246.009.700.000.000	2023	6	1	71,6740	171,4885
246.011.200.000.000	2023	6	16	72,8576	168,7480
246.012.700.000.000	2023	7	1	72,4869	166,4781
246.014.200.000.000	2023	7	16	70,6713	165,9655
246.015.800.000.000	2023	8	1	67,3664	167,5189
246.017.300.000.000	2023	8	16	63,2098	170,2429
246.018.900.000.000	2023	9	1	57,8987	173,5777
246.020.400.000.000	2023	9	16	52,3584	176,4698
246.021.900.000.000	2023	10	1	46,5758	178,7584
246.023.400.000.000	2023	10	16	40,8864	180,2303
246.025.000.000.000	2023	11	1	35,3419	180,8126
246.026.500.000.000	2023	11	16	31,0391	180,4423
246.028.000.000.000	2023	12	1	27,9733	179,3186
246.029.500.000.000	2023	12	16	26,4281	177,6514

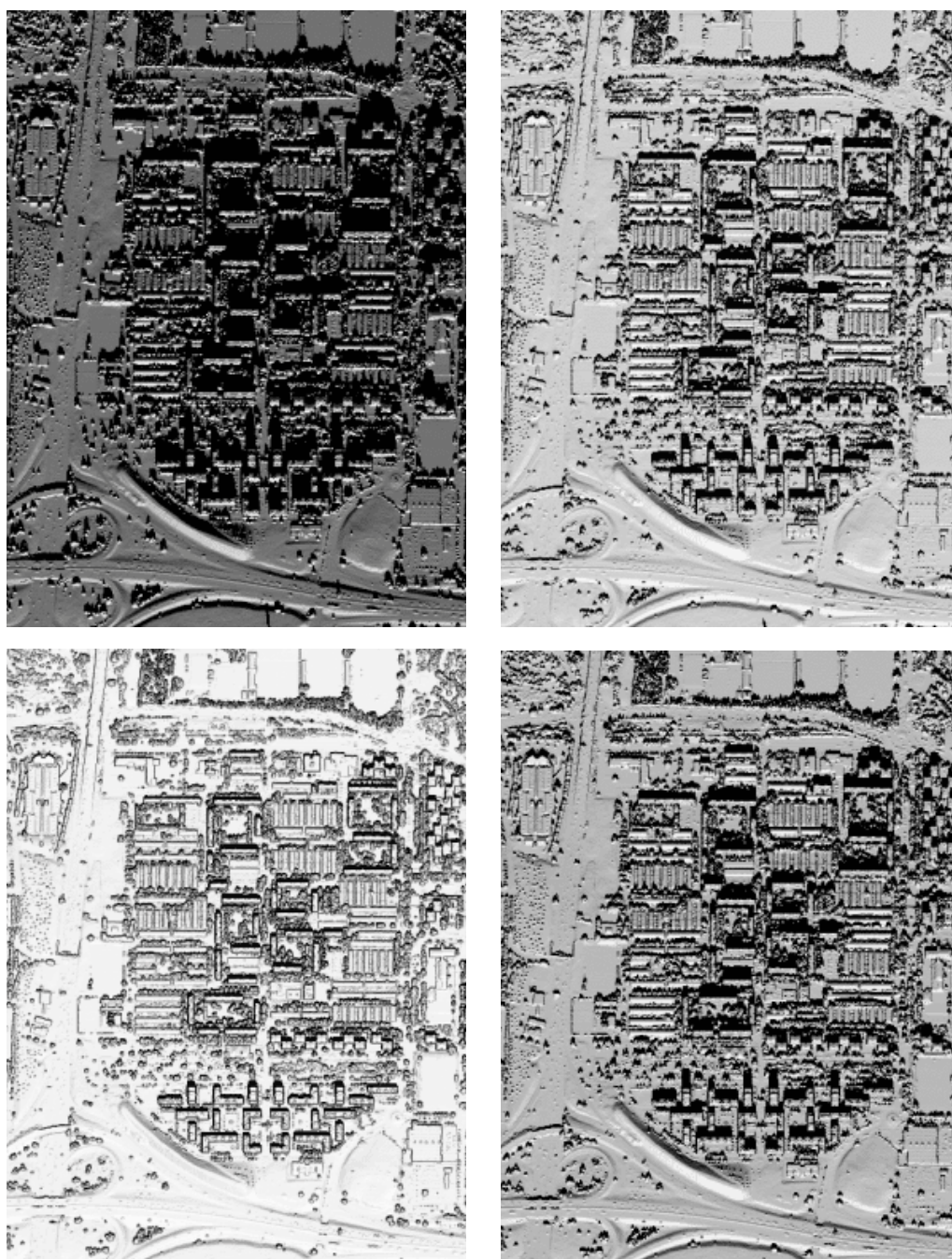
CUADRO 1
Posición solar, en grados.
Fuente: MINES Paris
Tech-Transvalor, 2022.
Elaboración propia.

Para obtener una información más precisa sobre las sombras a lo largo del año, se calculan las sombras de varios días significativos, tal y como se muestra en la Figura 11. El mapa anual del sombreado se obtiene combinando los valores mensuales.

Por otro lado, además de la consideración de las pérdidas por orientación e inclinación ya comentadas, y de la presencia de sombras, hay otros factores, como la accesibilidad, que impiden o dificultan la colocación de paneles en las cubiertas, y deben de tenerse en cuenta en el cálculo. Así, por ejemplo, debe dejarse una zona de acceso en el perímetro de la cubierta para poder realizar las tareas de mantenimiento. Si la superficie de la cubierta es mayor de 100 m², se toma como referencia una franja de 1 m de ancho; si es menor, será de 0,5 m. Esta información se define, tomando en consideración la parcela

FIGURA 11

Sombras de Orcasitas del día 1 de: enero, abril, julio y octubre. Fuente: Elaboración propia.



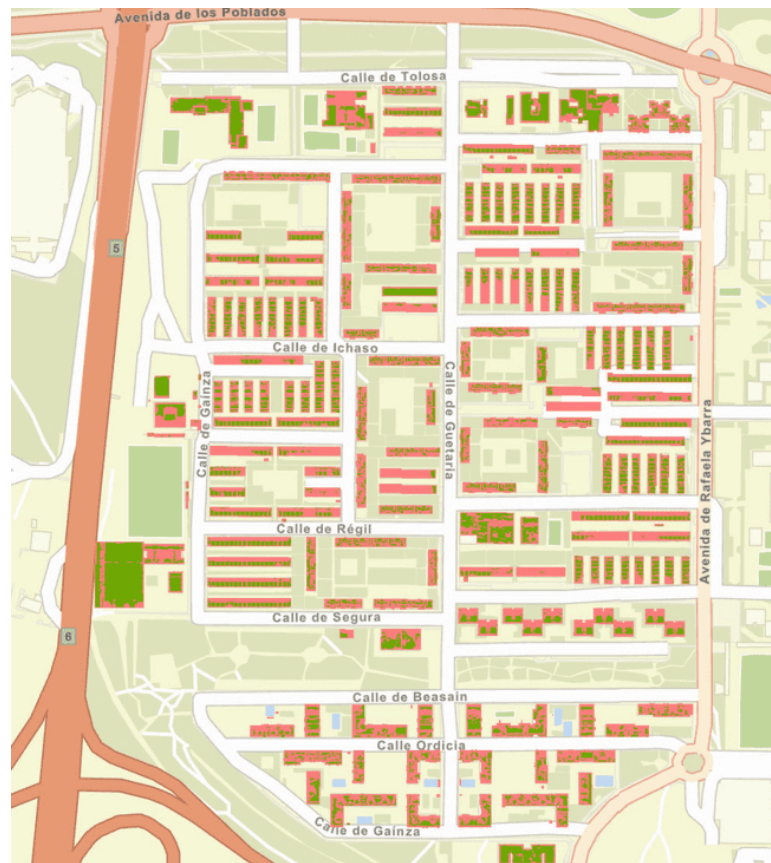


FIGURA 12

Superficie disponible en cubiertas (en verde).
Fuente: Elaboración propia.

catastral y las características del edificio y de la zona estudiada, y debe de ser adaptada a cada caso de estudio.

La superficie finalmente disponible para su aprovechamiento solar (Figura 12) será el resultado de restar a la superficie inicial de la cubierta del edificio, la superficie necesaria para su mantenimiento, la que tenga problemas de sombreado y la que presente una inclinación u orientación inadecuadas.

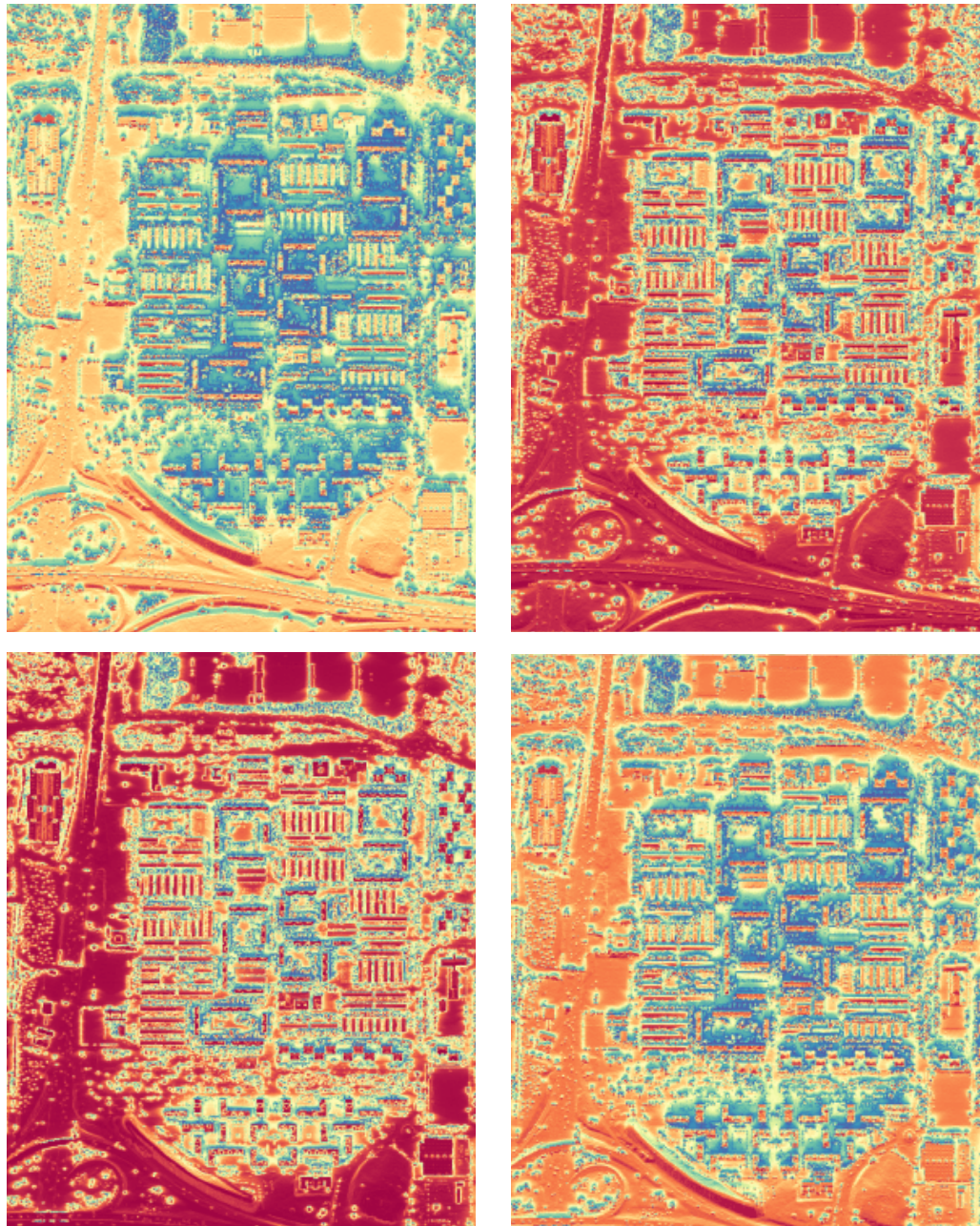
2.1.3. Radiación solar

Para analizar la radiación solar en un área urbana hay que tener en cuenta los factores que limitan la cantidad de radiación incidente en los tejados. La topografía, la configuración del propio entorno urbano y la variación estacional son factores que afectan a su distribución. Por otro lado, el tipo de superficies, su posición y forma, determinan el ángulo de incidencia de la radiación solar en los tejados. Además, el clima zonal y el efecto de las condiciones atmosféricas también influyen en la atenuación de los valores finales.

La radiación solar se calcula mes a mes utilizando como base el MDS. A partir de la suma de todos los meses se obtiene como resultado la radiación solar anual que se utilizará en la valoración de la viabilidad de los sistemas instalados en los tejados. Los valores se expresan en $\text{Wh/m}^2/\text{año}$ y tienen en cuenta los parámetros de proporción difusa y transmisibilidad para ajustar el cálculo de la radiación solar a las variaciones

FIGURA 13

Radiación solar en Orcasitas en los meses de: enero, abril, julio y octubre. Fuente: Elaboración propia.



que se producen en las condiciones atmosféricas a lo largo del año (Figura 13). Aunque el sistema calcula la radiación recibida en toda la zona, para el estudio es pertinente tomar en consideración únicamente la que va a ser aprovechada, es decir, la recibida en la cubierta (Figura 14).

2.1.4. *Potencial fotovoltaico de las cubiertas*

Después de determinar la superficie disponible en los tejados y la radiación solar, el último paso es determinar la potencia instalable y la energía fotovoltaica que se puede generar (Figura 15). En un sistema fotovoltaico se evalúa ese potencial tomando en consideración los datos de superficie disponible, la inclinación, el tamaño y la eficiencia

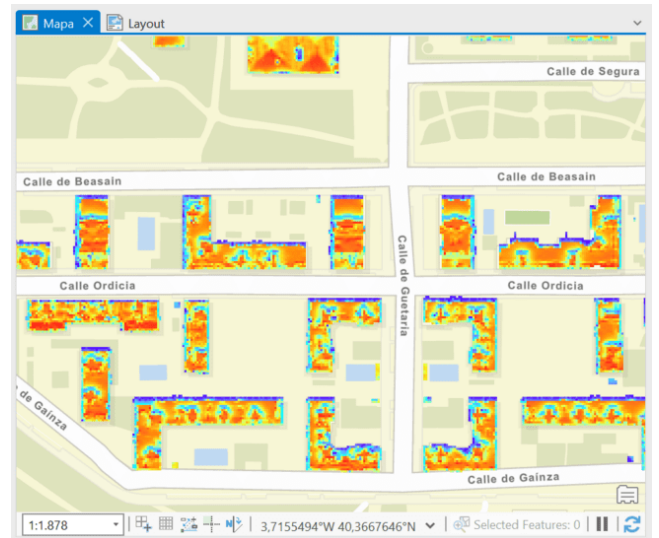


FIGURA 14
Radiación solar anual en cubiertas. Detalles. Fuente: Elaboración propia.

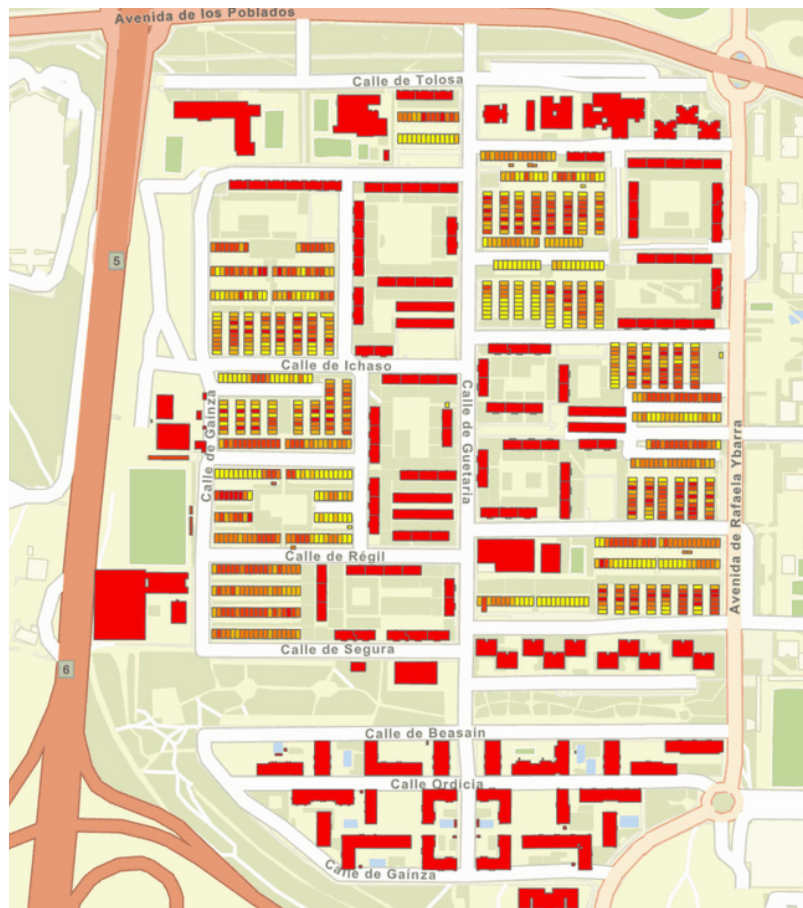


FIGURA 15
Energía solar anual por edificios. Fuente: Elaboración propia.

del tipo del panel FV, así como la radiación solar en la zona. Cabe destacar que, para realizar estos cálculos, se utiliza un tipo de módulo fotovoltaico específico, eligiendo para nuestro caso de estudio, uno con características similares a los que se encuentran disponibles en el mercado.

En el apartado correspondiente se comentan y contextualizan los resultados obtenidos de la aplicación del modelo (Cuadro 2).

CUADRO 2

Estimación del potencial fotovoltaico en las cubiertas del barrio de Orcasitas. Fuente: elaboración propia.

Principales resultados para el aprovechamiento solar de las cubiertas	
Superficie disponible	112.132 m ²
Potencia instalable	6.757 kWp
Energía estimada	8.420.923 kWh/año

3.2. Estimación del potencial fotovoltaico de las fachadas

Las características de planificación del barrio de Orcasitas hacen que se repita la tipología y disposición edificatoria a lo largo de toda el área de estudio (Figura 2). Por ello, para la estimación del potencial de generación fotovoltaico de las fachadas, se ha seleccionado una manzana concreta que cuenta con las dos principales tipologías de viviendas: bloque en altura y unifamiliar adosada, calculando el potencial de sus fachadas sur por ser las que mayor radiación recibirían a lo largo del año.

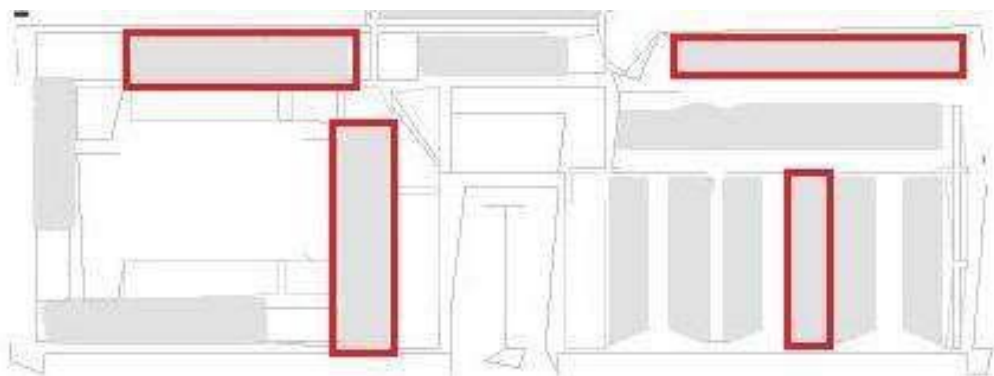
Los edificios elegidos para el análisis son los que se muestran en la Figura 16, y corresponden a dos bloques en altura de vivienda colectiva (izquierda) y a dos agrupaciones de viviendas unifamiliares adosadas (derecha).

Para conocer la volumetría de los edificios a analizar, así como la de los edificios que les rodean, se cuenta con la información sobre parcelas y alturas de edificios del catastro (obtenido anteriormente), y se realiza un modelo tridimensional de la zona.

De la superficie de la fachada se eliminan las zonas que reciben sombras a lo largo del año. La posición solar que más sombras genera es la del día del solsticio de invierno (Altura solar: 26º; Azimut solar: 176º). Gráficamente se dibuja la inclinación solar, y a continuación se trazan las sombras que proyectan los edificios (Figura 17).

FIGURA 16

Selección de viviendas. Detalle. Fuente: Elaboración propia.



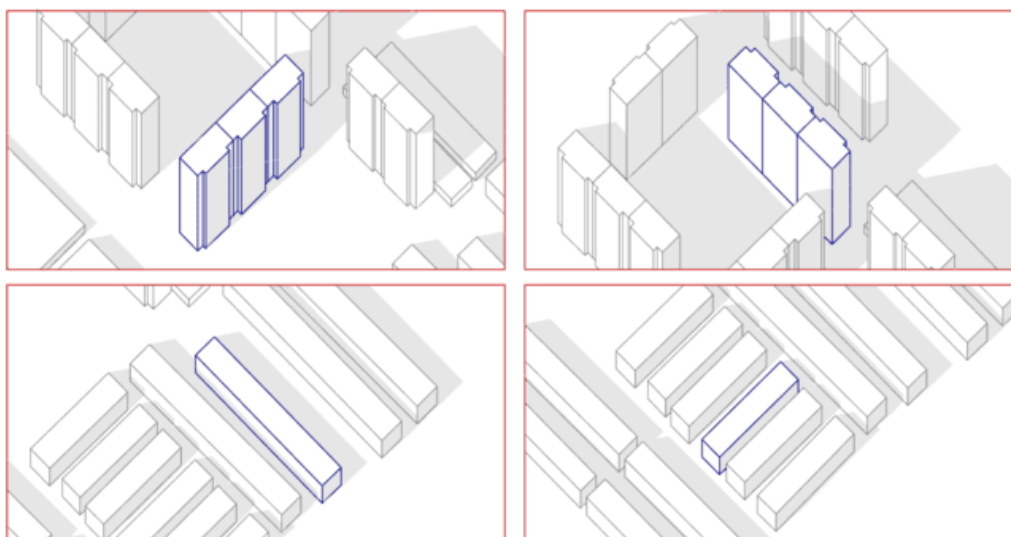


FIGURA 17
Sombras de edificios seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

Una vez eliminadas las zonas de sombras que se proyectan sobre las fachadas y los huecos de los edificios (ventanas y accesos), quedará la superficie disponible para colocar paneles FV.

Para calcular la energía que potencialmente podría ser generada en las fachadas se utiliza el Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica PVGIS, desarrollado por el *Joint Research Centre* (JRC) (CE, 2022). A partir de los datos de posición de los edificios, tipología de los módulos, características de la instalación y superficie disponible comentados en los párrafos anteriores, PVGIS es capaz de calcular la energía fotovoltaica generada en cada fachada. Los datos utilizados y los resultados obtenidos pueden consultarse en el Cuadro 3.

Edificio	Superficie fachada sur (m ²)	Superficie disponible (m ²)	Número módulos (2 m ²)	Potencia módulo (W)	Potencia pico (kWp)	Energía (kWh)	Radiación (kWh/m ²)	Pérdidas (%)
Bloque E-O	1850	1308	654	380	248,52	261355	1412	25,53
Bloque N-S	378	276	138	380	52,44	55148	1412	25,53
Adosados E-O	583	223	111	380	42,18	44358	1412	25,53
Adosados N-S	71	61	30	380	11,40	11988	1412	25,53

CUADRO 3
Potencia y energía fotovoltaica en fachada sur. Fuente: Elaboración propia.

3.3. Estimación del consumo de energía eléctrica

Una vez calculado el potencial de generación de energía solar fotovoltaica, se realiza una estimación de la energía eléctrica que se consume en el barrio. El consumo eléctrico real de cada edificio puede variar según su uso, ocupación y la eficiencia de los elementos que consuman energía. Se estima en base a la población, el número de viviendas de la zona y el consumo medio anual por vivienda.

CUADRO 4:

Estimación del consumo eléctrico anual. Fuente: Elaboración propia.

ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ORCASITAS

Población	11950	hab.
N. viviendas	4985	viv.
Consumo medio por hogar	3487	kWh/viv.
Consumo estimado de Orcasitas*	17382695	kWh

* solo viviendas

De acuerdo a sus datos de AEV, Orcasitas contaba con 11.950 habitantes repartidos en 4.985 viviendas (UPM, 2011). En el documento sobre “Consumos del Sector Residencial en España” (IDAE, 2011b), encontramos que el Consumo de Electricidad Medio por Hogar era de 3.487 kWh.

Según los datos anteriores, el consumo estimado de electricidad en las viviendas de Orcasitas sería de 17.382.695 kWh al año (Cuadro 4). Estos datos se consideran vigentes a efectos del análisis, pues no se han detectado unos cambios radicales en los patrones de poblamiento y consumo.

4. Discusión de resultados y conclusiones

Para facilitar la consulta de los resultados, se han creado unas fichas síntesis, de las cuales pueden verse tres ejemplos en los cuadros 5, 6 y 7.

El análisis realizado arroja unos resultados esperanzadores para la implementación de una comunidad energética a nivel de barrio. Respecto al potencial de aprovechamiento de las cubiertas tenemos un potencial superior a 6,5 MWp, que podría generar anualmente cerca de 8.500 MWh, cerca de la mitad del consumo estimado para el conjunto de las viviendas. Todo ello en una superficie disponible de más de 100.000 m² (Cuadro 7).

Si observamos los resultados relativos al análisis de las fachadas, obtenemos que para los edificios estudiados el potencial, sumando la disponibilidad de fachadas y cubiertas, supera ampliamente a la demanda estimada (Cuadros 5 y 6).

En base a la situación actual, se puede afirmar que la tecnología solar fotovoltaica está lo suficientemente desarrollada y es lo suficientemente rentable como para convertirse en una solución real al problema energético existente. Su aplicación puede tenerse en cuenta, de una manera integrada, desde el comienzo del diseño del proyecto de nueva obra o de rehabilitación, ya que existen suficientes modelos y tipos de paneles solares para ello. Con los datos obtenidos en el estudio realizado en Orcasitas, esta afirmación se hace patente de cara a la promoción de una Comunidad Energética Renovable basada en el aprovechamiento de la energía solar.

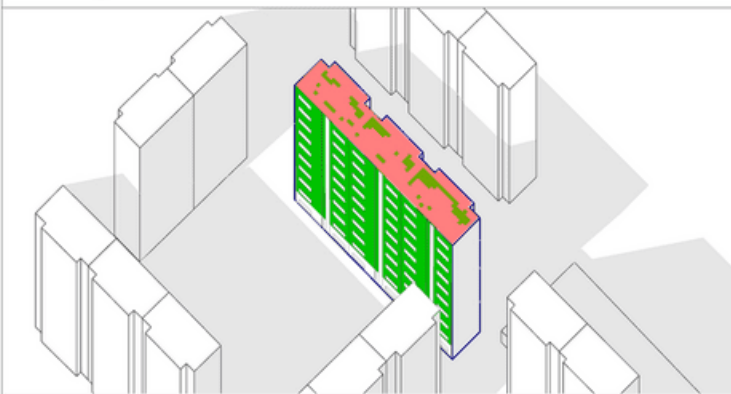

Estimación del potencial solar

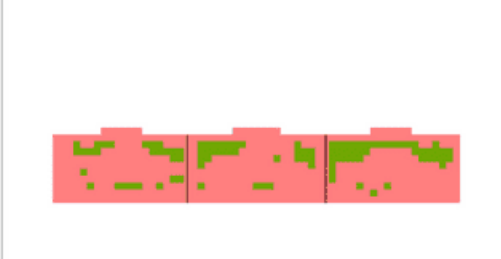
Ficha de resultados

CUADRO 5

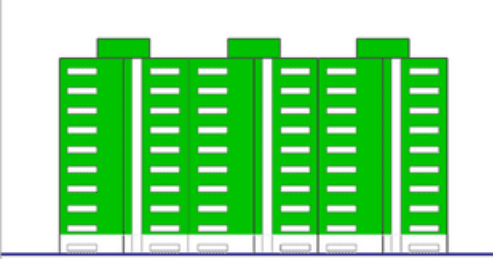
Ficha resultados Bloque de vivienda colectiva con disposición E-O. Fuente: elaboración propia.

Bloque en altura de vivienda colectiva (E-O)



Planta cubierta



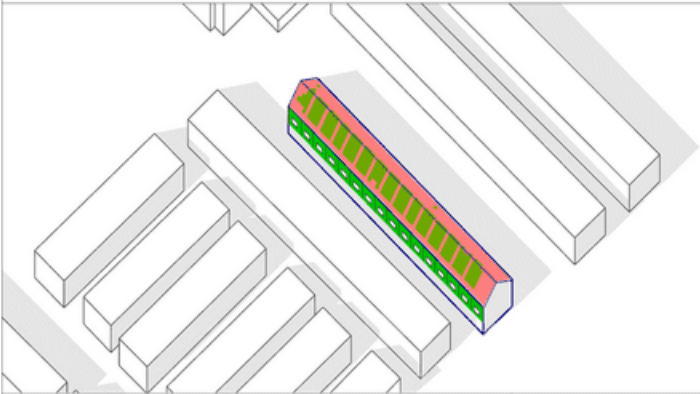



Fachada Sur

Datos del edificio	
Ocupación*: 144 habitantes (60 viviendas)	Consumo de energía eléctrica anual*: 209.220 kWh
Número de plantas: 10 plantas	Altura total: 30 m
Superficie construida por planta: 690 m ²	Superficie total construida: 6.900 m ²
<small>* Datos aproximados</small>	
Superficie disponible para paneles solares	
Superficie de cubierta total: 585 m ²	Superficie de cubierta con paneles: 99 m ²
Superficie de fachada Sur total: 1850 m ²	Superficie de fachada Sur con paneles: 1308 m ²
Superficie total con paneles: 1407 m ²	
Energía solar	
Radiación incidente anual en cubiertas: 1793 kWh/m ²	
Potencia instalable en cubierta: 17,82 kWp	Energía generada en cubierta: 22.511 kWh
Radiación incidente anual en fachada Sur: 1412 kWh/m ²	
Potencia instalable en fachada Sur: 248,52 kWp	Energía generada en fachada Sur: 261.355 kWh
Potencia instalable total: 266 kWp	Energía generada total: 283.866 kWh
¿La potencia generada cubre el consumo de energía? Sí	Balance (generado/consumido): 136%

La metodología utilizada para el estudio resulta una herramienta útil y relativamente sencilla para determinar la viabilidad del uso de energía fotovoltaica como principal fuente de energía de una comunidad energética, con la necesidad, en algunos casos, de fuentes complementarias.

CUADRO 6

Ficha resultados hilera de viviendas familiares adosadas con disposición E-O. Fuente: elaboración propia.

Estimación del potencial solar		Ficha de resultados
Hilera de viviendas unifamiliares adosadas (E-O)		
		
 <p>Planta cubierta</p>	 <p>Fachada Sur</p>	
Datos del edificio		
Ocupación*: 38 habitantes (16 viviendas)	Consumo de energía eléctrica anual*: 55.792 kWh	
Número de plantas: 2 plantas/vivienda	Altura total: 7 m	
Superficie por planta: 720 m ² (45 m ² /vivienda)	Superficie total: 1.440 m ²	
<small>* Datos aproximados</small>		
Superficie disponible para paneles solares		
Superficie de cubierta total: 753 m ²	Superficie de cubierta con paneles: 280 m ²	
Superficie de fachada Sur total: 583 m ²	Superficie de fachada Sur con paneles: 223 m ²	
Superficie total con paneles: 503 m ²		
Energía solar		
Radiación incidente anual en cubiertas: 1793 kWh/m ²		
Potencia instalable en cubierta: 50,40 kWp	Energía generada en cubierta: 65.894 kWh	
Radiación incidente anual en fachada Sur: 1412 kWh/m ²		
Potencia instalable en fachada Sur: 42,18 kWp	Energía generada en fachada Sur: 44.358 kWh	
Potencia instalable total: 93 kWp	Energía generada total: 110.252 kWh	
¿La potencia generada cubre el consumo de energía?	Sí	Balance (generado/consumido): 198%

Estimación del potencial solar

Ficha de resultados

CUADRO 7

Ficha resultados: síntesis Poblado Dirigido Orcasitas. Fuente: elaboración propia.



Datos de la zona	
Población: 11.950 habitantes	Consumo de energía eléctrica anual*: 17.382.695 kWh
Número de viviendas: 4.985	Altura de edificios de vivienda: entre 7 y 47 metros
Superficie total de suelo: 654200 m2 (65,42 Ha)	
* Datos aproximados	
Superficie disponible para paneles solares	
Superficie de cubiertas total: 112.132 m2	Superficie de cubiertas con paneles: 37.544 m2
Energía solar	
Radiación incidente anual en cubiertas: 1793 kWh/m2	
Potencia instalable en cubiertas: 6758 kWp	Energía generada en cubiertas: 8.420.923 kWh
¿La potencia generada cubre el consumo de energía?	No
Balance (generado/consumido): 48%	

* A nivel de barrio solo se hace la estimación de potencial de generación en cubiertas. No se tienen en cuenta las fachadas.

Tras realizar todos los cálculos pertinentes para la estimación del potencial de generación de energía solar fotovoltaica en el Poblado Dirigido de Orcasitas y después de analizar sus resultados, se puede llegar a concluir que en el barrio, la potencia FV generada en las cubiertas cubriría, aproximadamente, la mitad del consumo de energía eléctrica. Sin embargo, si se tiene en cuenta el edificio, el potencial FV generado varía notablemente en función del tipo de vivienda y, en mayor medida, de su orientación:

- En los bloques en altura de vivienda colectiva es donde más se aprecia esta variación. En el bloque orientado E-O, la fachada Sur tiene mucha más superficie, lo que hace que sumado al potencial de su cubierta, sea suficiente para abastecer la demanda, incluso excediéndola en más de un 30 %. En el bloque N-S, por el contrario, apenas llega a la mitad del consumo.
- En las viviendas unifamiliares adosadas se cubre todo el consumo energético solamente con lo producido en las cubiertas. Esto se debe a que la proporción de vivienda por unidad de superficie de tejado es mucho menor que en los bloques.

Esto implica que, si se hiciera el cálculo del potencial en todas las fachadas con orientación sur del barrio, probablemente sí se obtendría la energía suficiente para todo el consumo. Como hemos observado, hay algunos edificios que no cubren la demanda energética y otros que producen un excedente. Para alcanzar un equilibrio que pueda beneficiar al barrio en su totalidad, es importante que todos los edificios funcionen como un conjunto energético, es decir, como una comunidad energética que genera y consume energía unitariamente y no de forma individualizada para cada vivienda.

Consideramos que estos estudios y métodos pueden contribuir notablemente al desarrollo del autoconsumo solar y al apoyo a las comunidades energéticas que, gracias a las directivas europeas, están surgiendo en la actualidad.

Somos conscientes de que esta propuesta no soluciona una problemática tan compleja como es la actual crisis climática y energética en nuestras ciudades, pero esperamos pueda ser una contribución, desde la base de una sociedad empoderada en su papel como productor-consumidor, a la mejora de las condiciones expuestas.

Referencias bibliográficas

AIGUASOL (2019). *Guía para el Desarrollo de Instrumentos de Fomento de Comunidades Energéticas Locales*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Recuperado el 12 de noviembre de 2023 de: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/guia_para_desarrollo_instrumentos_fomento_comunidades_energeticas_locales_20032019_0.pdf

Bieda, Agnieszka y Cienciata, Agnieszka (2021). Towards a Renewable Energy Source Cadastre—A Review of Examples from around the World. *Energies*, 14(23), 8095. <http://dx.doi.org/10.3390/en14238095>

Brandis, Dolores (1983). *El paisaje residencial en Madrid*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Dirección General de Acción Territorial y Urbanismo.

Centro Nacional de Información Geográfica (2024). Centro de Descargas Organismo Autónomo Centro Nacional de Información Geográfica. Nubes de puntos (LIDAR). Recuperado el 24 de junio de 2024 de: <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=LIDAR>

Cervero-Sánchez, Noelia (2020). La iniciativa ciudadana, como origen del cambio urbano. La remodelación del Poblado Dirigido de Orcasitas en Madrid. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 52(204), 277-294. <https://doi.org/10.37230/CyTET.2020.204.06>

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas y Ayuntamiento de Alpedrete (2018). *gSolarRoof: Alpedrete*. Recuperado el 13 de abril de 2023 de: <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=676dc33b47f24c4da3493bed36107e52>

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (2021). *gSolarRoof: Mapping the new energy*. Recuperado el 24 de junio de 2022 de: <https://gsolarroof.eu/>

Centro de Investigaciones Energética, Medioambientales y Tecnológicas (2022). *Habana Ciudad Solar. Guanabacoa*. Recuperado el 13 de abril de 2023 de: <https://ciemat.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5dd1d7a685e4443cb0286a2446634209>

CloudCompare (2024). *CloudCompare. 3D point cloud and mesh processing software. Open source Project*. Recuperado el 13 de abril de 2023 de: <https://www.danielgm.net/cc/>

Comisión Europea (2022). *Photovoltaic Geographical Information System*. Recuperado el 13 de abril de 2023 de: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en

Del Guayo Castiella, Íñigo (2020). Concepto, contenidos y principios del derecho de la energía. *Revista de Administración Pública*, 212), 309-345. <https://doi.org/10.18042/cepc/rap.212.12>

Dirección General del Catastro (2024). *Sede Electrónica del Catastro. Difusión de datos catastrales*. Recuperado el 24 de junio de 2024 de: <https://www.sedecatastro.gob.es/Accesos/SECAccDescargaDatos.aspx>

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. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 328, de 21 de diciembre de 2018. Recuperado el 13 de abril de 2023 de: <https://www.boe.es/doue/2018/328/L00082-00209.pdf>

Directiva (UE) 2019/944, del 5 de junio, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 158, de 14 de junio de 2019. Recuperado el 13 de abril de 2023 de: <https://www.boe.es/doue/2019/158/L00125-00199.pdf>

Domínguez, Javier; Amador, Julio y Martín, Ana María (2017). Energías renovables y generación distribuida. En R. Gómez Calvet y J. M. Martínez Duart (Eds.), *Current Trends in Energy and Sustainability*, (2017 ed., pp. 17-25). Real Sociedad Española de Física.

Domínguez, Javier; Martín, Ana María y Amador, Julio (2018). Sistema de Información Geográfica como apoyo a las políticas de fomento del autoconsumo solar en el ámbito municipal. Aplicación del modelo gSolarRoof en el municipio de Alpedrete (España). En *CIES2018. Energía limpia y gestionable para tod@s*, XVI Congreso Ibérico y XII Congreso Iberoamericano de Energía Solar. UPM, Madrid, España.

Domínguez-Benito, María (2023). *Hacia una comunidad energética: evaluación del potencial de energía eléctrica renovable* (Trabajo Fin de Grado). Universidad Politécnica de Madrid, España. Recuperado el 13 de diciembre de 2023 de: <https://oa.upm.es/72532/>

ESRI (2024a). *ArcGIS Living Atlas of the World*. Recuperado el 24 de junio de 2024 de: <https://livingatlas.arcgis.com/en/home/>

ESRI (2024b). *¿Qué es ArcGIS?* ArcGIS Resources. Recuperado el 24 de junio de 2024 de: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

Farkas, Klaudia; Frontini, Francesco; Lundgren, Marja; Maturi, Laura; Munari Probst, M^a Cristina; Roecker, Christian; Scognamiglio, Alessandra y Wall, María (2013). Designing photovoltaic systems for architectural integration: criteria and guidelines for product and system developers. *Criteria and*

guidelines for product and system developers. *Solar Heating and Cool programme. International Energy Agency*, Report T.41.A.3/2 (IEA SHC Task 41 Solar Energy and Architecture). Recuperado el 13 de abril de 2023 de: <https://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/task41A3-2-Designing-Photovoltaic-Systems-for-Architectural-Integration.pdf>

Heffron, Raphael J. y McCauley, Darren (2017). The concept of energy justice across the disciplines. *Energy Policy*, 105, 658-667. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.018>

Instituto Geográfico Nacional (2024). *Plan Nacional de Ortofotografía Aérea*. Presentación PNOA LiDAR. Recuperado el 24 de junio de 2024 de: <https://pnoa.ign.es/web/portal/pnoa-lidar/presentacion>

IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2011a). *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a la Red*. Recuperado el 10 de mayo de 2022 de: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf

IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2011b). Proyecto SECH-SPAHOUSEC. *Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. Informe Final. Recuperado el 10 de mayo de 2022 de: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf

IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2024a). *Comunidades Energéticas*. Recuperado el 24 de junio de 2024 de: <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/comunidades-energeticas>

IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2024b). *Visor de Comunidades Energéticas*. <https://informesweb.idae.es/visorcee/>

Jo, Jin H.; Rose, Zachary; Cross, Jamie; Daebel, Evan; Verderber, Andrew y Kostelnick, John, C. (2015). Application of Airborne LiDAR Data and Geographic Information Systems (GIS) to Develop a Distributed Generation System for the Town of Normal, IL. *AIMS Energy*, 3(2333-8334), 173-183. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3934/energy.2015.2.173>

Kanters, Jouri; Wall, Maria y Kjellsson, Elisabeth (2014). The solar map as a knowledge base for solar energy use. *Energy Procedia*, 48, 1597-1606. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.180>

Klärle, M. (2011). Web-based solar roof cadastre goes international. *GEO: connexion*, 10(7), 30-33.

Lefebvre, Henri (1978). *El derecho a la ciudad*. Ediciones Península.

Luque, Antonio y Hegedus, Steven (2011). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470974704>

Manzaenergía (2022). *Comunidad Vecinal de Energía de Manzanares El Real*. Recuperado el 10 de mayo de 2023 de: <https://manzaenergia.manzanareselreal.es/>

Martín, Ana M., Domínguez, Javier y Amador, Julio (2015). Applying LIDAR datasets and GIS based model to evaluate solar potential over roofs: a review. *AIMS Energy*, 3(3), 326-343. <http://dx.doi.org/10.3934/energy.2015.3.326>

Martín Ávila, Ana María; Domínguez Bravo, Javier y Zarzalejo Tirado, Luis F. (2022). *Habana Ciudad Solar: propuesta metodológica para la estimación del potencial de energía solar*. En *TIG al servicio de los ODS*, XIX Congreso de Tecnologías de la Información Geográfica. Zaragoza, España.

Martín Ávila, Ana María (2023). *Desarrollo de un modelo geográfico para el análisis del potencial solar en entornos urbanos a partir de datos LIDAR* (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid, España. Recuperado el 10 de mayo de 2024 de: <https://docta.ucm.es/entities/publication/7eff75de-4691-40bd-8b41-188a9320d515>

MINES Paris Tech-Transvalor (2022). *Solar Geometry2*. SoDa. Solar Energy Services for Professionals. Recuperado el 11 de junio de 2023 de: <https://www.soda-pro.com/web-services/astrometry/solar-geometry-2>

Ministerio para la Transición Ecológica (2019). *Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024*. Recuperado el 10 de mayo de 2022 de: <https://www.miteco.gob.es/>

content/dam/miteco/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-pobreza-energetica/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica_tcm30-502982.pdf

MITERD. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020). *Plan Nacional Integrado de Energía y clima 2021-2030*. Recuperado el 2 de junio de 2023 de: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf

MITERD. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). *Hoja de Ruta del Autoconsumo. Marco Estratégico de Energía y Clima..* Recuperado el 2 de junio de 2023 de: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/idae/tecnologias/energias_renovables/OFICINA-de-AUTOCONSUMO/Hoja_de_Ruta_Autoconsumo.pdf

National Aeronautics and Space Administration. (2023). *The POWER Project*. Recuperado el 10 de mayo de 2024 de: <https://power.larc.nasa.gov/>

Ortiz, Enrique (2010). Derecho a la ciudad, producción social y gestión participativa del hábitat. La pro-moción de iniciativas comunitarias incluyentes en la Ciudad de México. *Hábitat y Sociedad*, 1, 55-70. <https://doi.org/10.12795/HabitatySociedad.2010.i1.04>

Page-Arias, Alba y Domínguez, Javier (2018). El acceso universal a la energía en un mundo cambiante. Herramientas SIG para la toma de decisiones. En *CIES2018. Energía limpia y gestionable para tod@s*, XVI Congreso Ibérico y XII Congreso Iberoamericano de Energía Solar. UPM, Madrid, España.

Pareja Aparicio, Miguel (2016). *Energía solar fotovoltaica*. MARCOMBO.

Pedrero, Juan; Hermoso, Nekane; Hernández, Patxi; Muñoz, Íñigo; Arrizabalaga, Eneko; Mabe, Lara; Prieto, I. y Izkara, José Luis (2019). Assessment of urban-scale potential for solar PV generation and consumption. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323(1), 012066. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012066>

PVSyst (2024). *PVSyst Photovoltaic Software*. Recuperado el 24 de junio de 2024 de: <https://www.pvsyst.com/>

Ramirez Camargo; Luis, Zink; Roland, Dorner; Wolfgang y Stoeglehner, Gernot (2015). Spatio-temporal modelling of roof-top photovoltaic panels for improved technical potential assessment and electricity peak load offsetting at the municipal scale. *Computers, Environment and Urban Systems*, 52, 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.03.002>

Rapidlasso (2024). *LAStools LiDAR processing*. Recuperado el 24 de junio de 2024 de: <https://lastools.github.io/>

Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. *Boletín Oficial del Estado*, 83, de 6 de abril de 2019. Recuperado el 10 de mayo de 2022 de: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-5089>

Romero, Juan; Brandis, Dolores y Melo, Carme (2015). El giro neoliberal de las políticas para la ciudad en España. Balance a partir de los ejemplos de Madrid y Valencia. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 69, 369-386. <https://doi.org/10.21138/bage.1901>

Suomalainen, Kiti; Wang, Vincent y Sharp, Basil (2017). Rooftop solar potential based on LiDAR data: Bottom-up assessment at neighbourhood level. *Renewable Energy*, 111, 463-475. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.025>

Thebault, Martin; Clivillé, Vincent; Berrah, Lamia y Desthieux, Gilles (2020). Multicriteria roof sorting for the integration of photovoltaic systems in urban environments. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102259. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102259>

Tirado-Herrero, Sergio (2023). Pobreza energética y vivienda: una perspectiva de justicia social. *Arbor*, 199(807), a692. <https://doi.org/10.3989/arbor.2023.807006>

Tiwari, Arti; Meir, Isaac y Karnieli, Arnon (2020). Object-Based Image Procedures for Assessing the Solar Energy Photovoltaic Potential of Heterogeneous Rooftops Using Airborne LiDAR and Orthophoto. *Remote Sensing*, 12(2), 223. <https://doi.org/10.3390/rs12020223>

Universidad Politécnica de Madrid (2011). *Ficha AEV (Área Estadística Vulnerable): 28079072*. En Ministerio de Fomento (Ed.). Recuperado el 10 de mayo de 2022 de: https://cdn.mitma.gob.es/barriosvulnerables/static/fe/IBVU_ESTADISTICA_2011_28079072.pdf

VACOE Sociedad Cooperativa (2023). *VACOE Energía Sostenible*. Recuperado el 10 de mayo de 2022 de: <https://vacoe.es/>

Varo Barranco, Anaïs (2019). Energía y ciudadanía: (re)construcción de espacios locales de democratización. *Revista Especializada en Investigación Jurídica*, 5), 63-87. <https://doi.org/10.20983/reij.2019.2.3>

Verso, A.; Martín, Ana María; Amador, Julio y Domínguez, Javier (2015). GIS-based method to evaluate the photovoltaic potential in the urban environments: The particular case of Miraflores de la Sierra. *Solar Energy*, 117, 236-245. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.04.018>

Wenham, Stuart R.; Green, Martin A.; Watt, Muriel E.; Corkish, Richard y Sproul, Alistair (2013). *Applied photovoltaics*. Earthscan.