

# Geografía de la energía solar en Andalucía (Sur de España): Nuevos datos y posibilidades de análisis

Geography of solar energy in Andalusia (South of Spain): New data and possibilities for analysis

PILAR DIAZ-CUEVAS<sup>1</sup>  0000-0003-0846-9930

GABRIEL OROZCO FUTOS<sup>1</sup>  0000-0003-3129-282X

ANTONIO PRIETO CAMPOS<sup>1</sup>  0000-0001-6946-9622

BELÉN PÉREZ-PÉREZ<sup>2</sup>  0000-0002-9780-2338

<sup>1</sup> Universidad de Sevilla. Sevilla. España.

<sup>2</sup> Universidad de Granada, Granada, España

## Resumen

El presente trabajo realiza un análisis de la distribución territorial y la superficie ocupada por las centrales solares instaladas en Andalucía a fecha de 2019. Entre los principales resultados, destaca la diferencia en los patrones de consumo de suelo por tipo de central detectándose, entre otros aspectos, un mayor promedio de consumo de suelo de las centrales termosolares respecto al resto de centrales. Asimismo, se han identificado los municipios en los que la presencia de estas instalaciones ocupa hasta 15% de suelo. La información espacial generada, que se corresponde con la digitalización de los polígonos de centrales solares en Andalucía, completada con información alfanumérica sobre el tipo de central y la potencia instalada, se pone a disposición para su uso por parte de investigadores y académicos, así como para las autoridades responsables de la ordenación y gestión del territorio. El acceso y la reutilización de la información se garantizan mediante un mapa web con servicios Web Feature Services (WFS) que permitirá, no sólo la geovisualización, sino también la descarga de datos. La disponibilidad de esta información consigue superar los análisis realizados hasta el momento, basados en una capa puntual procedente de la Agencia Andaluza de la Energía y distribuida por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Además, el mapa web permitirá, a usuarios no expertos en Sistemas de Información Geográfica, valorar la intensidad de la implantación y argumentar la preocupación social derivada de la instalación de este tipo de centrales sobre el territorio andaluz.

Keywords: plantas solares; información geográfica; usos del suelo; geovisualización web; impactos.

### Fechas • Dates

Recibido: 2023.04.05  
Aceptado: 2023.06.19  
Publicado: 2023.06.26

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Pilar Diaz-Cuevas  
pilard@us.es

## Abstract

This paper analyses the territorial distribution and the surface area occupied by the solar power plants installed in Andalusia as of 2019. The main results include the difference in land consumption patterns by type of power plant, detecting, among other aspects, a higher average land consumption of solar thermal power plants compared to the rest of the power plants. Likewise, the municipalities in which the presence of these facilities occupies 15% of the land have been identified. The spatial information generated, which corresponds to the digitisation of solar power plant polygons in Andalusia, completed with alphanumeric information on the type of plant and installed power, is made available for use by researchers and academics, as well as by the authorities responsible for land planning and management. Access and reuse of the information is guaranteed by means of a web map with Web Feature Services (WFS), which will allow not only geovisualisation, but also data downloading. The availability of this information makes it possible to go beyond the analyses carried out so far, which were based on a specific layer from the Andalusian Energy Agency distributed by the Andalusian Institute of Statistics and Cartography. Moreover, the web map will allow users who are not experts in Geographic Information Systems to assess the intensity of the installation and argue the social concern derived from the installation of this type of power plants on the Andalusian territory.

---

Keywords: solar plants; geographic information; land use; web geovisualisation; impacts.

---

## 1. Introducción

Desde hace más de dos décadas, y en línea con lo que ocurre con la Unión Europea, España viene apostando por una transición energética basada en el consumo de fuentes de energía renovable y en políticas de ahorro y eficiencia energética. La disminución de la dependencia energética, la generación distribuida o los menores impactos en términos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), han sido los argumentos a favor de la apuesta por la implantación de este tipo de centrales. Todos los países de la Unión Europea, a excepción de Francia, han conseguido superar los objetivos propuestos para 2020 de porcentaje del consumo procedente de fuentes de energía renovable (Eurostat, 2023). No obstante, según Márquez-Sobrino *et al.* (2023), a pesar de haber alcanzado la mayoría de los objetivos fijados, la dependencia energética siguió incrementándose, aunque menos aceleradamente, pasando del 57,8% en 2000 al 59,1% en 2020 (62,3% en 2019). Asimismo, las emisiones de GEI fueron un 31,7% inferiores a los niveles de 1990 (24,3% en 2019).

Las primas a los proyectos en suelo, principalmente de energía solar y eólica, han sido particularmente importantes en el cumplimiento por parte de España de los objetivos planteados y, por tanto, en la generación del mapa de energías renovables (Prados, 2010; Espejo-Marín y Aparicio-Guerrero, 2020). Este mapa se ha configurado de manera rápida y a veces desordenada, provocando problemas de aceptación social (Barral *et al.*, 2019; Pérez-Pérez & Díaz-Cuevas, 2022; Rodríguez-Segura *et al.*, 2023a; Rodríguez-Segura *et al.*, 2023b).

En el caso de las centrales de energía solar, a la gran superficie de terreno que ocupan las plantas en general, se une los requisitos específicos de ubicación, tales como zonas relativamente llanas, carentes de árboles, edificios u otros elementos cercanos que puedan limitar la captación de radiación solar, con fácil acceso a vías de comunicación y a la red eléctrica (Agencia Andaluza de la Energía, 2020a; Díaz-Cuevas *et al.*, 2018; Uyan, 2017; Tahri *et al.*, 2015; Watson & Hudson, 2015). Este hecho hace de las campiñas, los valles y vegas interiores, de gran importancia agrícola, las localizaciones óptimas para la instalación, siendo múltiples los autores y autoras que ponen de

manifiesto la fuerte competencia por el uso del suelo en el medio rural (McKenna *et al.*, 2022; Van de Ven *et al.*, 2021; Hernández *et al.*, 2014, entre otros).

Otros de los inconvenientes frecuentemente señalados por la comunidad científica son los impactos que estas instalaciones, localizadas en el medio agrario, ejercen sobre la biodiversidad (Serrano *et al.*, 2020), en concreto, el impacto de las centrales solares sobre las aves esteparias, uno de los grupos más amenazados en España (Turney & Fthanakis, 2011; Kagan *et al.*, 2014; Palacín *et al.*, 2017; Giralt *et al.* 2018; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico-MITECO, 2021). Del mismo modo, además de la importancia de los impactos sobre la biodiversidad, resulta necesario mencionar que el impacto paisajístico tiene, objetivamente, una gran relevancia, por el impacto visual de estas infraestructuras artificiales con brillos metálicos de difícil integración en el paisaje natural y agrario, y por su gran tamaño, que genera un significativo impacto territorial por el uso intensivo de suelo que requieren (Frolova *et al.*, 2015; Torres-Sibille *et al.*, 2009; Mérida-Rodríguez *et al.*, 2015; Chiabrando *et al.*, 2009; Delicado *et al.*, 2016; Polatidis *et al.*, 2006; Calvert & Mabee, 2015). Todos estos impactos han tenido una gran contestación social, relacionada con el régimen de propiedad, el valor que la población otorga a la localización, el ritmo de implantación, la superficie ocupada, la densidad de infraestructuras (de Andrés-Ruiz *et al.*, 2015; Cousse, 2021; Pasqualetti, 2010; Pasqualetti & Frantal, 2022; Walker, 1995; Van der Horst, 2007) y por la competencia con otras actividades económicas tradicionales y con el turismo (Pérez-Pérez & Díaz-Cuevas, 2022; Frolova *et al.*, 2022).

Para el caso específico de la energía solar en España, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima -PNIEC-2021-2030 (MITECO, 2020) plantea, como objetivos para 2030, la instalación de 39181MW de energía solar fotovoltaica y 7303MW de energía solar térmica de concentración, lo que podría afectar al 1-3% de los suelos rurales españoles (Frantál *et al.*, 2023). Según datos de Red Eléctrica de España (REE, 2023), en 2022 España tenía instalada 20052MW de potencia de energía solar fotovoltaica y 2304MW de solar térmica, si bien esta potencia no se reparte del mismo modo entre comunidades autónomas sino que, según el Observatorio de Sostenibilidad de España (2023), el 28% se ha instalado en Extremadura, el 21% en Andalucía y el 20% en Castilla-La Mancha, concentrándose, en estas tres comunidades autónomas, los esfuerzos para el cumplimiento de los objetivos del PNIEC, con casi el 70% de la potencia total instalada en el país.

Esta concentración de la producción y por tanto de esfuerzos e impactos, que se registra también para el caso de la energía eólica, pone en entredicho la apuesta por una transición energética real, alejándose de la generación distribuida y perpetuando el modelo planteado hasta el momento, basado en territorios productores vs. consumidores. Además, generalmente estas plantas suelen localizarse en territorios con menor PIB y con mayores ratios de producción/consumo de electricidad. De hecho, según datos de REE, a excepción de Andalucía, que generó en 2022 el 74,6% de la energía eléctrica que consumió, Extremadura<sup>1</sup> generó un 487,7% de la electricidad consumida, compensando a las comunidades vecinas; Castilla y León fue la segunda comunidad que más energía aportó y menor consumo realizó, con una ratio generación-demanda del 197,6%, debido principalmente a su liderazgo en energía eólica; y Castilla La Mancha, produjo un 192,7% de la energía eléctrica consumida en 2021 (Rodríguez-Sojo, 2022). Todo ello ha llevado a algunos autores y organizaciones a hablar de “colonialismo energético” en el contexto de norte-sur global (Contreras & Matarán, 2023).

1. Debido no sólo a su liderazgo en solar fotovoltaica, sino también a la energía producida por las centrales nucleares de Almaraz (Cáceres).

A la implantación futura necesaria para alcanzar los objetivos del PNIEC, y a la concentración del impacto en determinados territorios, se une la reciente aprobación del Real Decreto-ley 6/2022, de 29 de marzo, por el que se adoptan medidas urgentes en el marco del Plan Nacional de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la guerra en Ucrania. Este Real Decreto flexibiliza los requisitos para la implantación de instalaciones de energía renovable, con el fin de acelerar la tramitación de proyectos de competencia estatal a través de la agilización y, en caso de que el órgano ambiental lo considere adecuado, simplificación de las obligaciones ambientales y reducción de la participación pública en los mismos. Además del Real Decreto-ley 6/2022, previamente mencionado, en mayo de 2022, la Comisión Europea propuso en su Comunicación sobre el plan REPowerEU [COM (2022) 230 final] ahorrar energía y acelerar los procedimientos para la autorización de proyectos de energía renovable, incrementando la cuota de renovables en el consumo de energía final hasta el 45% en 2030, con el fin estratégico de reducir rápidamente la dependencia energética de las importaciones de gas, petróleo y carbón rusos, y apoyar la transición hacia un sistema energético más resiliente.

En base a todo lo anterior, y a pesar de que la implantación de estas infraestructuras hubiera requerido de la disposición de una herramienta para ayudar en la selección de zonas óptimas para la implantación, que permitiera repartir esfuerzos y minimizar al máximo los impactos, no es hasta 2020, cuando en línea con esta idea, el MITECO identificó a escala nacional los territorios con mayores condicionantes ambientales para la implantación de instalaciones de energía eólica y fotovoltaica mediante mapas de “Zonificación ambiental para energías renovables: Eólica y Fotovoltaica” y los mapas de sensibilidad ambiental, clasificados en cinco categorías. Este modelo, que no exime del pertinente procedimiento de evaluación ambiental al que deberá someterse cada instalación en su caso (MITECO, 2020a, p. 13), ha sido ampliamente criticado por organizaciones ecologistas, científicos y técnicos (Civieta, 2023; Medina, 2023).

Del mismo modo, a pesar de la repercusión que estas centrales solares tienen sobre el territorio, no existe a nivel nacional ninguna información espacial de libre acceso, que recoja la digitalización o superficie de las centrales de este tipo, a la que científicos, académicos o la población en general puedan acudir. La ausencia de información espacial se registra también en Andalucía, donde sólo existen algunos trabajos previos de localización de las centrales fotovoltaicas, cálculos o análisis vinculados a la superficie ocupada por las centrales solares ya instaladas, que no ponen a disposición la información espacial (Mérida *et al.*, 2012; Mérida-Rodríguez *et al.*, 2015; Red de Información Ambiental de Andalucía -REDIAM-, 2023). En este punto, Díaz-Pacheco *et al.* (2018) analizan las posibilidades de uso del “Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España” (SIOSE), para estudiar la localización de las instalaciones de energía solar y eólica en el país, y su evolución entre 2005 y 2011. Sin embargo, tal y como expresan los autores, resulta difícil delimitar las mismas a través de SIOSE cuando están recogidas en polígonos compuestos, no diferenciando tampoco entre tipo de central y/o potencia instalada.

La única información espacial pública disponible para Andalucía, en el momento de realización de este trabajo sobre este tipo de centrales, es una capa puntual referida a las centrales instaladas, publicada por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (en adelante IECA), principal distribuidor junto con REDIAM de información espacial oficial en la región, que solo indica las coordenadas  $x$  e  $y$  de puntos centrales o “cercaños” a las instalaciones, además de información relativa al nombre, tipo de central y potencia instalada, no existiendo información espacial precisa de la digitalización de la superficie de estas centrales.

El objetivo de este trabajo consiste en analizar la distribución territorial y la superficie ocupada por las centrales solares instaladas en Andalucía a fecha de 2019, contribuyendo a solventar la falta de información espacial de detalle de centrales de energía renovable en Andalucía. Para ello, se fotointerpreta a escala detallada y a través de ortofotografías aéreas, la superficie ocupada por estas plantas sobre el territorio andaluz, lo cual supondrá una contribución importante a la medición real de la presencia de estas instalaciones sobre los distintos usos del suelo, las zonas de interés para las aves, el paisaje y las áreas de alto valor agrícola. También permitirá disponer de información de utilidad para valorar y minimizar los posibles impactos futuros sobre el territorio, derivados del incremento de estas centrales sobre el mismo, puesto que, si se desconoce la ubicación física de los proyectos, difícilmente se puede identificar qué sinergias, interacciones y/o afecciones producirán en cada zona.

Con base en este objetivo general se establecerán una serie de objetivos específicos:

- Identificar y digitalizar las plantas solares en Andalucía, a través de la última ortofotografía aérea disponible en el momento de realización de este trabajo (2019). Esta identificación se complementará con la realización de un análisis exploratorio inicial de la información generada, que permita identificar patrones espaciales en la distribución territorial de este tipo de centrales, señalando los territorios productores.
- Calcular indicadores para el territorio andaluz en relación con la implantación de las centrales solares, que, por la ausencia de esta información, no han podido ser calculados previamente (superficie total y municipal ocupada por estas centrales en la región, ocupación de usos del suelo, zonas catalogadas como de alta sensibilidad ambiental y zonas de protección para las aves esteparias).
- Poner a disposición de cualquier usuario la información espacial sobre las plantas solares e indicadores calculados.

## 2. Área de estudio, metodología y fuentes

### 2.1. Área de estudio

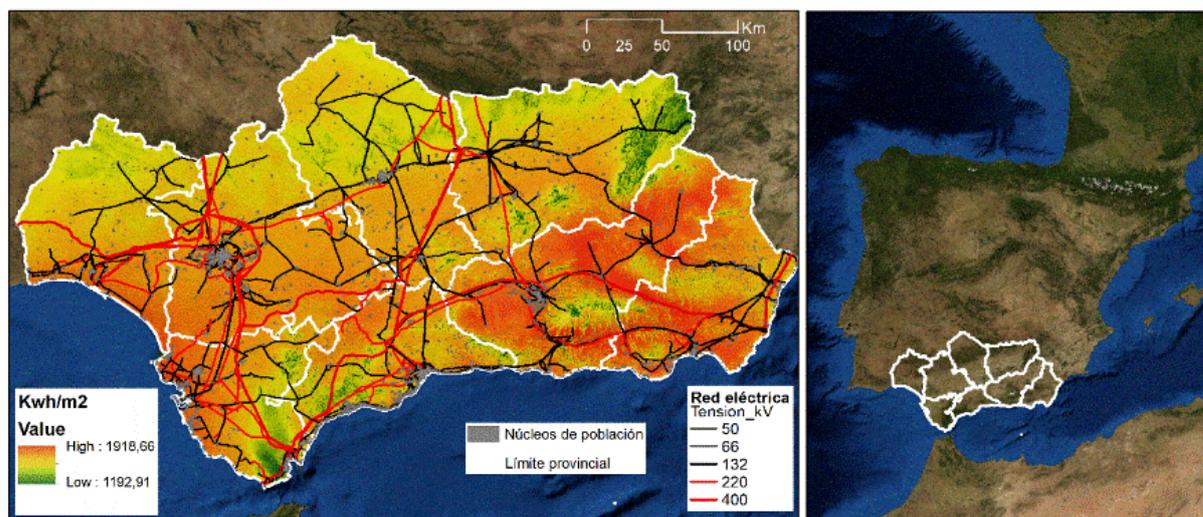
Andalucía cuenta con un total de 87547 km<sup>2</sup> de superficie, repartidos en ocho provincias y 785 municipios de diversa extensión. Posee, además, una población aproximada de 8,4 millones de habitantes, distribuidos de forma desigual por el territorio, concentrados principalmente en la franja costera y en depresiones y valles interiores. Debido a su posición en latitud, la escasa nubosidad y los altos valores de radiación normal directa global (Banco Mundial, 2017), cuenta con un gran potencial para la instalación de centrales de energía solar (Figura 1).

Esta posición y características climáticas privilegiadas, entre otras cuestiones, han supuesto la instalación de la primera central comercial de torre con heliostatos del mundo (Espejo, 2010). Según la Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2022), la región cuenta con mayor potencia instalada en 2022, con 22 centrales en funcionamiento. Respecto a la tecnología fotovoltaica, “en la última década se han incrementado las instalaciones conectadas a red en tejados de edificios, integradas en los núcleos urbanos, así como las pequeñas centrales fotovoltaicas de 2 a 10MW de potencia y, en la actualidad, se promueven centrales de hasta 200MW” (AAE, 2022, p. 13).

En noviembre de 2021, la aprobación de la Ley de Impulso de la Sostenibilidad del Territorio de Andalucía (en adelante LISTA), supone una revisión del marco normativo de ordenación del

territorio y urbanismo, asumiendo el “impulso de la transición energética mediante el fomento de las energías renovables en el territorio, en el suelo rústico y en el suelo urbano”. De hecho, en su artículo 21, identifica las energías renovables como “uso ordinario” del medio rural. Junto a lo anterior, la transposición parcial de las Directivas comunitarias sobre autoconsumo compartido de energía, a través del RDL 29/2021 y el ya mencionado RDL 20/2022, repercutirán en que estas cifras se incrementen en un futuro próximo ya que, en 2030, las energías renovables deberán aportar al menos el 45% del consumo final bruto de energía, siendo en 2020 esta cifra del 20%, según queda recogido en el objetivo 1 “Avanzar hacia la descarbonización del consumo de energía” de la Estrategia Energética de Andalucía 2030 (Junta de Andalucía, 2022).

Figura 1. Radiación horizontal global y red eléctrica en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia a partir de DERA y Banco Mundial.

Se ponen por tanto de manifiesto, al igual que ocurre a nivel nacional, los amplios objetivos planteados para la comunidad autónoma andaluza que suponen, además, una implantación muy rápida de centrales de este tipo sobre el territorio andaluz. Con idea de concretar y sistematizar la evaluación ambiental de los proyectos, la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, elaboró la “Guía para el análisis de la ubicación de los proyectos de las plantas solares fotovoltaicas en Andalucía”. Los resultados se dispusieron en un geovisor web y fueron duramente criticados (Losa, 2021), no sólo por ecologistas (que entendían que la guía se centraba en determinados impactos, dejando atrás otros como el paisaje o suelos) sino también por los empresarios del sector, que se quejaban de la falta de interlocución y del retraso que esta guía supondría sobre la tramitación de los proyectos ya planteados. La guía y el geovisor fueron retirados.

Del mismo modo, en línea con lo dispuesto en el artículo 11 de la *Ley de 2007 de Energías Renovables y Eficiencia Energética*, Andalucía realizó en el año 2020 aproximaciones a la identificación del potencial de centrales de energía renovable, particularmente eólica, biomasa y solares (AAE, 2020a), desestimando territorios donde la implantación de estas centrales resultaba altamente desaconsejable, debido a sus impactos asociados. En base a los resultados de esta zonificación, y en línea con los objetivos establecidos en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, previamente mencionado, la Junta de Andalucía solicitó al Gobierno de España, en su propuesta para la próxima Planificación de Desarrollo de la Red de Transporte de Energía Eléctrica 2021-2026,

“contribuir con 26000 nuevos megavatios de potencia instalada (además de los 7.200 existentes en este momento) para alcanzar, al menos, el 45% de los objetivos que marca el Plan” (AAE, 2020: p. 2).

## 2.2. Metodología y fuentes

La Tabla 1 resume las fases metodológicas y las fuentes utilizadas para la consecución de los objetivos planteados. Son cuatro, las fases establecidas.

Tabla 1. Resumen de las fases metodológicas y las fuentes utilizadas

	METODOLOGÍA	FUENTES
FASE 1. Digitalización de las plantas fotovoltaicas y termosolares de Andalucía.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fotointerpretación y digitalización a través de SIG.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>WMS Ortofotografía aérea (IDE España).</li> <li>Shapefile de centrales solares (DERA-IECA).</li> </ul>
FASE 2. Cálculo y análisis exploratorio de los datos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis del Promedio del Vecino más Próximo.</li> <li>Análisis de densidad de Kernel (Módulo Spatial Analyst de ArcGIS).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Shapefile de centrales solares digitalizadas.</li> </ul>
FASE 3. Análisis y cálculo de indicadores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indicadores municipales (superficie de suelo ocupada -ha y %- y potencia instalada).</li> <li>Usos del suelo transformados por la instalación de centrales solares.</li> <li>Implantación sobre áreas de sensibilidad para la implantación de centrales de energía solar.</li> <li>Localización sobre las áreas de interés para las aves esteparias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Shapefile de municipios del DERA (IECA, 2023).</li> <li>Shapefile de centrales solares digitalizadas.</li> <li>Shapefile de usos del suelo de Andalucía de 1999 (IDEA).</li> <li>Shapefile de áreas de sensibilidad ambiental para la instalación de energía solar elaboradas por el (MITECO, 2022).</li> <li>Zonas de interés para las aves esteparias (REDIAM).</li> <li>Celdillas de 10 x 10 km de especies de aves esteparias más amenazadas en España (MITECO, 2021).</li> </ul>
FASE 4. Facilitar la difusión y el acceso a la información a todos los usuarios potenciales posibles.	Diseño e implementación del mapa web ( <a href="https://qgiscloud.com/potencia/mapasolar">https://qgiscloud.com/potencia/mapasolar</a> ).	Complemento QGIS Cloud.

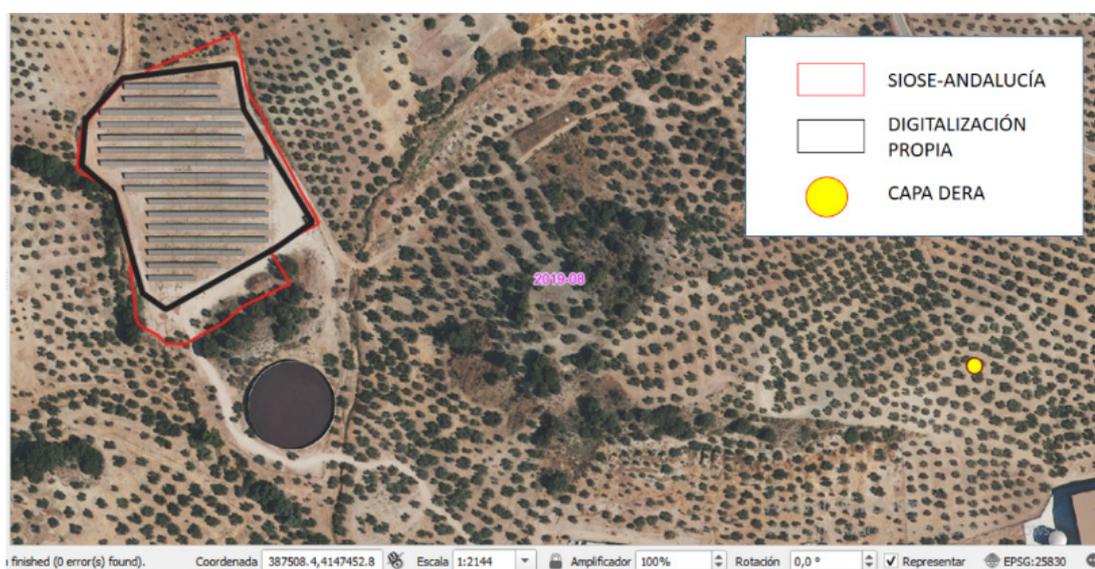
Fuente: Elaboración propia.

- Primera fase. La digitalización de las plantas fotovoltaicas y termosolares de Andalucía se ha llevado a cabo a partir de la fotointerpretación de la información espacial vinculada a la localización de estas centrales. Para ello se ha utilizado un Sistema de Información Geográfica (SIG), en este caso ArcGIS 10.7 y la última ortofotografía aérea disponible para la región en el momento de realización de este trabajo (2019), con una resolución espacial de 0,25m, que se encuentra publicada como *Web Map Service* (WMS) en el geoportal de la Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE). Posteriormente, la información espacial levantada ha sido completada con información temática procedente de los datos de centrales solares publicados por el IECA en la base de Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (en adelante DERA). En esta capa se recogen varios puntos por cada instalación solar en suelo o cubierta (cada central puede estar conformada por uno o varios registros). Cada uno de los puntos dispone de información sobre el nombre de la instalación y potencia instalada (medida en MW), para finales de 2021. Este conjunto de datos espaciales procede de la información aportada por la AAE, que los utiliza anualmente para la elaboración del Mapa de Infraestructuras Energéticas de Andalucía (MIEA). Un total de 8097 registros puntuales han sido revisados, excluyendo las placas solares instaladas en las cubiertas y las centrales de investigación.

La labor de levantamiento de datos, realizada a una escala 1:2500, se ha tornado, a veces, ardua debido a: i) la inexactitud de la localización de los puntos originales, complicando la asignación de la información alfanumérica a los nuevos datos, lo que ha supuesto la aparición de registros aún provisionales (marcados con valor 1 en el campo “DIGIT”) y ii) en ciertas ocasiones, la cercanía de varias centrales no ha permitido la asignación de cada punto a su correspondiente central. En estos casos, y siempre que se trate del mismo tipo de centrales (todas fotovoltaicas o todas termosolares), se ha generado un único registro para todos los polígonos, asignando, como potencia, la suma de las potencias de cada punto.

El recientemente publicado Mapa de usos del suelo de Andalucía, “SIOSE Andalucía” (Junta de Andalucía, 2023), recoge también la delimitación espacial de las centrales solares, pero no la información alfanumérica relativa al tipo de central (fotovoltaica o termosolar) o a la potencia instalada (Figura 2).

Figura 2. Digitalización de plantas solares en Andalucía



Fuente: Elaboración propia a partir de DERA y SIOSE

Esta cartografía tiene como referencia el año 2020 y un análisis preliminar de la misma muestra cómo aproximadamente 70 centrales presentes en la capa publicada en el DERA no han sido incluidas en SIOSE, que además incorpora en ocasiones instalaciones en cubiertas, no diferenciando entre las instalaciones sobre cubierta y suelo. Igualmente, dado que la información de SIOSE en Andalucía se levanta para 2020, es posible que haya centrales incluidas en esta capa que no se encontrasen instaladas en 2019. También hay centrales en SIOSE que, aun apareciendo en 2019, no aparecen en la capa publicada en el DERA (26 centrales). Para este trabajo se han digitalizado solamente las centrales presentes en la ortofotografía de 2019 a las que podía asignarse información alfanumérica procedente de la capa del DERA.

- Segunda fase. El cálculo y análisis exploratorio de los datos levantados, se ha basado en identificar la existencia de patrones espaciales y de densidad de la superficie ocupada por las plantas solares en Andalucía. Ambos análisis se han llevado a cabo a partir de los módulos *Spatial Analysis* y *Spatial Statistics* implementados en ArcGIS.

El análisis de patrones espaciales ha sido llevado a cabo mediante la herramienta de Análisis del Promedio del Vecino más Próximo (*Average Nearest Neighbor*), que permite el cálculo y la comparación de la distancia media observada y la distancia media esperada si la distribución de datos fuera aleatoria. De este modo, se puede conocer si la muestra presenta algún tipo de patrón espacial sobre el territorio andaluz, cuantificando este patrón con el cálculo del índice del vecino más próximo (ESRI, 2023).

La herramienta de densidad de Kernel permite crear un mapa de densidad, a partir de una superficie suavizada, donde es posible observar la densidad de los polígonos representativos de centrales solares en su vecindad con el resto de las centrales próximas (ESRI, 2023).

- Tercera fase. En esta fase, se han calculado diferentes tipos de indicadores tanto municipales (superficie en ha, y porcentaje de suelo municipal ocupado por estas centrales), usos del suelo transformados por estas instalaciones, localización en áreas de sensibilidad ambiental o sobre las áreas de interés para las aves. Resulta necesario mencionar que, si bien en muchos estudios se expresa la información de superficie ocupada por estas centrales en km<sup>2</sup>, en el presente trabajo se decidió proporcionar esta información en ha, unidad con la que la población está más familiarizada, permitiendo tener una mayor conciencia de lo que suponen los cambios y transformaciones generados.

Para el cálculo de los usos del suelo transformados por la instalación de centrales solares, se ha utilizado la información espacial perteneciente a la cartografía de los usos del suelo de Andalucía de 1999, disponible en la página web de la Infraestructura de Datos Espaciales de Andalucía (IDEA). Esta información, representa la cartografía de los usos y las coberturas vegetales del suelo de Andalucía del año 1999 a escala 1:25000 en formato *shapefile*, y fue levantada mediante fotointerpretación a partir de vuelos fotogramétricos e imágenes de satélite Landsat TM. La selección de la fecha 1999 se debe a que, mayoritariamente, las centrales solares comenzaron instalarse en el territorio andaluz a partir del año 2000.

Para el análisis de la presencia de las centrales ya instaladas en las áreas de sensibilidad ambiental para la energía solar, se ha utilizado el *shapefile* de la clasificación del territorio según su sensibilidad para la implantación de este tipo de centrales elaborado por el Ministerio y previamente mencionado, que clasifica el territorio español en cinco clases de sensibilidad ambiental (Máxima, Muy alta, Alta, Moderada y Baja). En el caso de la energía solar fotovoltaica en Andalucía, el Ministerio ha catalogado como áreas excluidas los núcleos urbanos, las masas de agua y zonas inundables, ZEPAS, LICs, ZEC, Humedales RAMSAR, Espacios Naturales Protegidos, Reservas de la Biosfera (zonas núcleo y zonas de protección), vías pecuarias y Bienes del Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO. Posteriormente, el resto de las zonas se han ponderado y agregado para obtener el mapa final.

Por último, se ha analizado la distribución de estas centrales sobre las delimitaciones de las zonas de interés para las aves esteparias (ZIAE), que han sido recopiladas a partir de la información proporcionada por REDIAM. Esta capa recoge un campo con información correspondiente al número de especies amenazadas presentes. Por otro lado, desde el MITECO en 2021, se elaboraron unas recomendaciones generales aplicables para compatibilizar la implantación de este tipo de centrales con la conservación de la biodiversidad, centrándose en las especies más amenazadas y que están en régimen de protección especial en España (MITECO, 2021). Como resultado de esta guía, se ha analizado el área de distribución, para celdillas de 10 x 10 km de resolución disponible mediante archivo Excel en la página web del Ministerio, de ocho

especies de aves esteparias incluidas en el Catálogo Español de Especies Amenazadas “De este modo, estas especies, las más amenazadas y también algunas de las más representativas de los hábitats esteparios y medios agrarios, ejercerían de especies paraguas para amparar al resto de taxones de fauna con los que comparten comunidad” (MITECO, 2021, p. 15).

- Cuarta fase. Facilitar la difusión y el acceso a la información a todos los usuarios potenciales posibles, para reutilizar los datos de las centrales digitalizadas. Para ello se ha construido un mapa web mediante el complemento QGIS Cloud que permite la geovisualización de la información levantada y calculada por cualquier tipo de usuario, no necesariamente experto en el uso de tecnologías de la información geográfica. Este mapa web, disponible en la url: <https://qgiscloud.com/potencia/mapasolar>, permite también la descarga de esta información para que pueda ser reutilizada en estudios de investigación y/o estudios técnicos. Para lo que debe accederse mediante un SIG al servicio WFS ([https://wms.qgiscloud.com/potencia/mapa\\_solar/?Service=WFSS&Request=](https://wms.qgiscloud.com/potencia/mapa_solar/?Service=WFSS&Request=)).

### 3. Resultados

#### 3.1. Sobre las centrales solares implantadas en la región

Para la fecha de 2019 se han digitalizado un total de 391 polígonos pertenecientes a centrales solares instaladas en suelo andaluz (373 se corresponden con centrales fotovoltaicas, mientras que el resto, hace referencia a las 20 centrales termosolares instaladas en la región a finales de 2019). Estas instalaciones ocupan una superficie total de 6690ha (3544,8ha fotovoltaica y 3145,2ha termosolar), lo que supone el 0,07% del territorio andaluz (aproximadamente el doble de superficie que el municipio de Chipiona, en Cádiz).

En relación con la energía termosolar, excluyendo las centrales dedicadas a investigación, estas se encuentran presentes en nueve municipios andaluces (Tabla 2). Los municipios de Aldeire (en Granada), seguidos de Sanlúcar la Mayor (Sevilla) y Palma del Río (Córdoba), son los que mayor superficie y número de centrales solares instaladas poseen, y los que cuentan con mayor número de centrales termosolares. Resulta necesario mencionar en este punto, que los impactos sobre la distribución del suelo y el paisaje serán diferentes no sólo en función del tipo de central (fotovoltaica/termosolar), sino también de la tecnología utilizada (por ejemplo, tecnología de torre, tecnología de colectores cilindro parabólicas o discos Stirling en el caso de las plantas termosolares).

Tabla 2. Centrales termosolares y superficie instalada por municipios.

	Número de centrales	Superficie total (ha)
San José del Valle	2	380,8
Lebrija	1	185,5
Sanlúcar la Mayor	4	480,4
Morón de la Frontera	2	393,2
Palma del Río	3	433,5
Écija	2	241
Fuentes de Andalucía	1	199,6
Aldeire	3	606,3
El Carpío	2	224,8

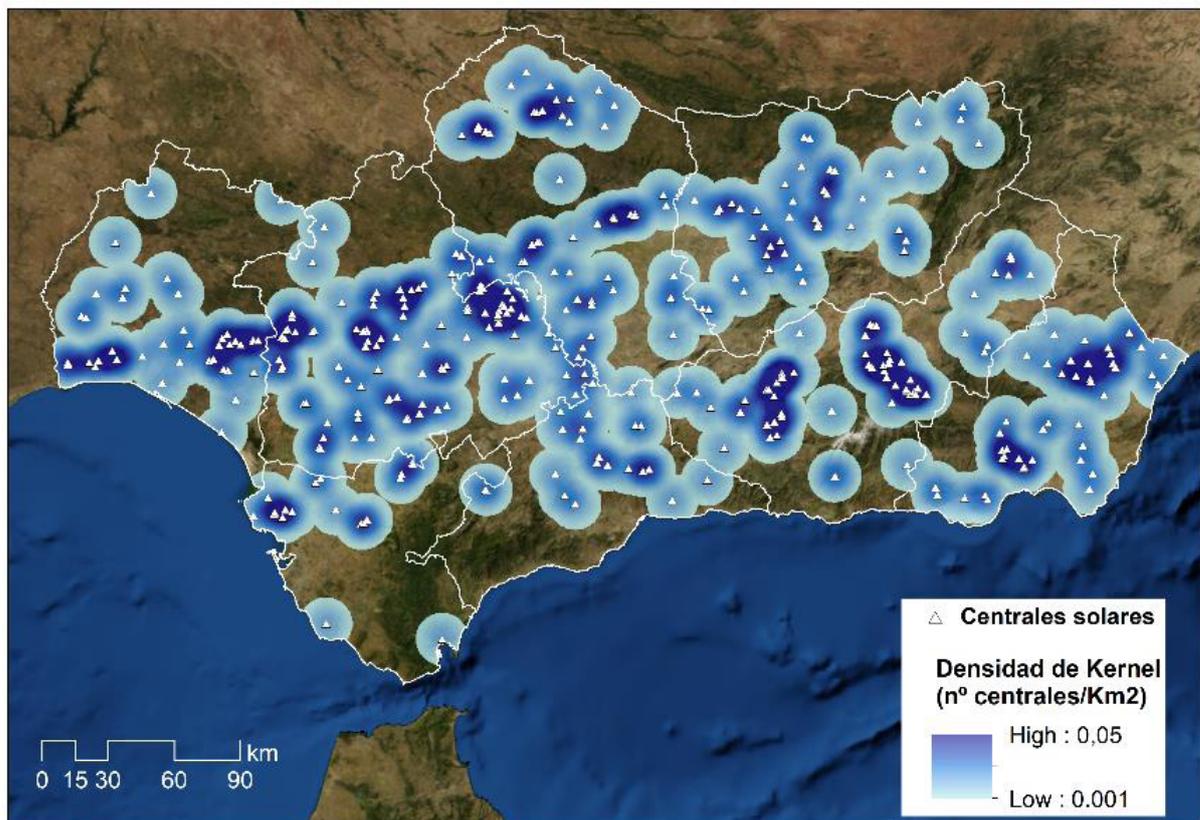
Fuente: Elaboración propia.

Las centrales solares describen un patrón de distribución espacial clusterizado, si atendemos a los resultados del análisis del promedio del vecino más próximo, obteniéndose un índice de 0,63 (para un valor  $p$  de 0,000 y un valor  $Z$  de -15,95). A partir de este análisis, es posible obtener también la distancia promedio observada (12703m), entendida como la media de las distancias observadas entre cada polígono y su vecino más cercano. Esta distancia es la utilizada en geoestadística para generar el mapa de densidad Kernel, donde se utiliza un tamaño de celdilla de 250m.

Las mayores densidades (Figura 3) se registran en el valle del Guadalquivir y las depresiones interiores (Vega de Granada, Hoyas de Guadix, Baza...), categorizadas como paisajes agrarios productivos, con una gran riqueza patrimonial por sus valores históricos, artísticos, etnográficos y ambientales (Menor, 2000; Castillo, 2010; Valverde y Medina, 2009).

Respecto a la potencia instalada, los resultados muestran 948,29MW termosolar y 1211,2MW de fotovoltaica (a finales de 2018, existía un total de 997,4MW y 897MW de potencia instalada termosolar y fotovoltaica en la región, -AAE, 2019-). Los datos muestran, además, cómo la energía solar fotovoltaica es menos exigente en el consumo de suelo, de manera que, de media, para instalar 100kW de potencia fotovoltaica se han necesitado 0,29ha mientras que en el caso de la termosolar han sido necesarias 0,34ha. Si se tiene en cuenta que Andalucía, según la Unión Española Fotovoltaica (Contreras, 2022), debería instalar 5500MW de potencia solar fotovoltaica (con respecto a las cifras de 2021) para cumplir los objetivos del PNIEC, esto se traduciría, según las cifras obtenidas para 2019, en aproximadamente 15950ha más (0,18% del territorio andaluz, sin incluir la superficie ya ocupada por las centrales instaladas entre 2019 y 2022).

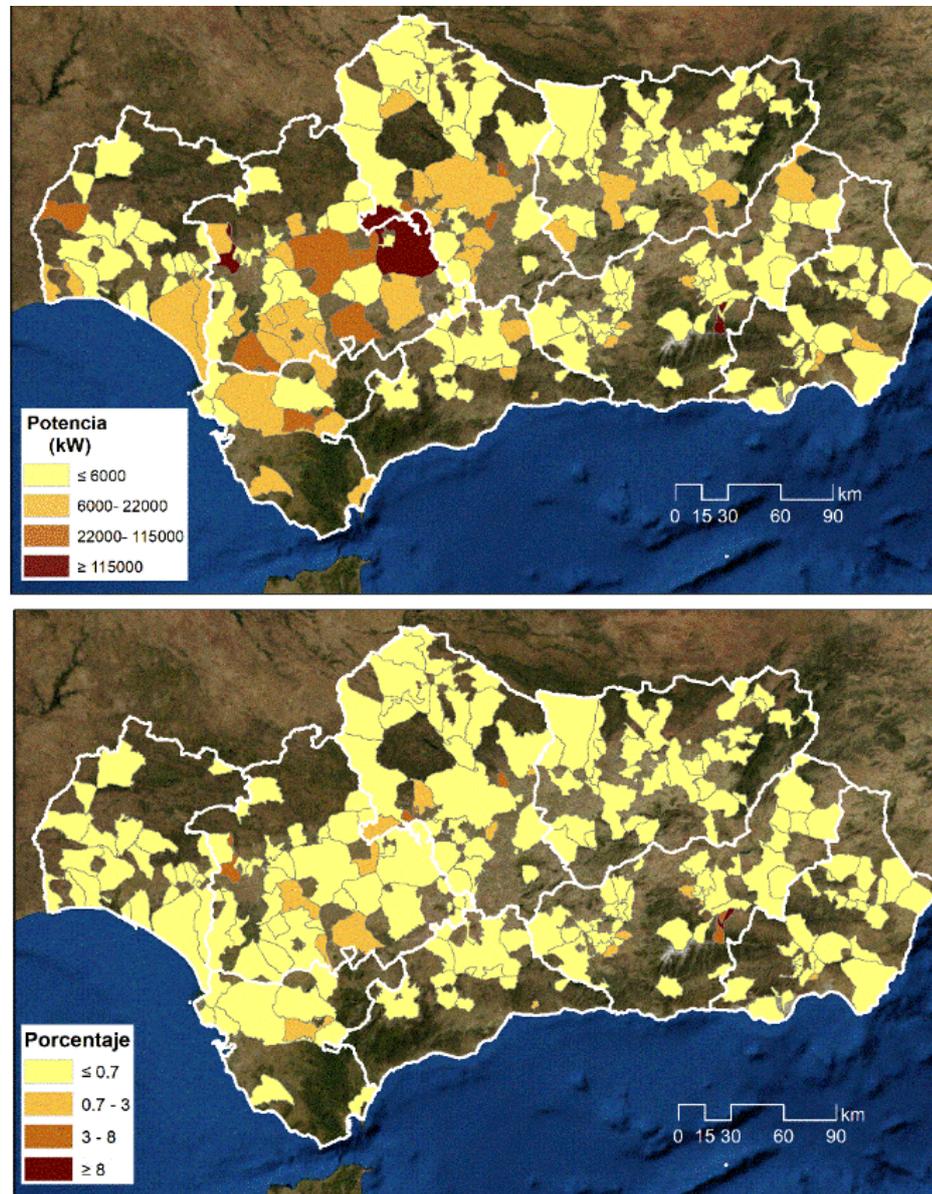
Figura 3. Densidad de centrales solares en Andalucía, 2019



Fuente: Elaboración propia

Atendiendo a la distribución por municipios, la Figura 4 muestra la potencia instalada y el porcentaje de suelo municipal ocupado por estas infraestructuras (representados mediante el algoritmo de cortes naturales de Jenks). Se observa como las instalaciones de energía solar están presentes en 209 de los 785 municipios andaluces. Los mayores valores se presentan en los municipios del Valle del Guadalquivir, siendo el municipio de Palma del Río (Córdoba), el que dispone de más potencia instalada (con casi 200MW), seguido de Sanlúcar la Mayor y Alcalá de Guadaíra (Sevilla). Por el contrario, Villanueva de la Concepción (en Málaga) y Santaella (Córdoba), son los municipios que poseen menor potencia instalada (Figura 4a). En cuanto al porcentaje de suelo municipal ocupado por centrales de este tipo, 18 municipios disponen de un porcentaje de 1% o mayor, siendo La Calahorra y Aldeire (Granada) y El Carpio (Córdoba), los que tienen mayor porcentaje de su territorio ocupado por plantas solares, cercano al 16%, 9% y 6% respectivamente (Figura 4b).

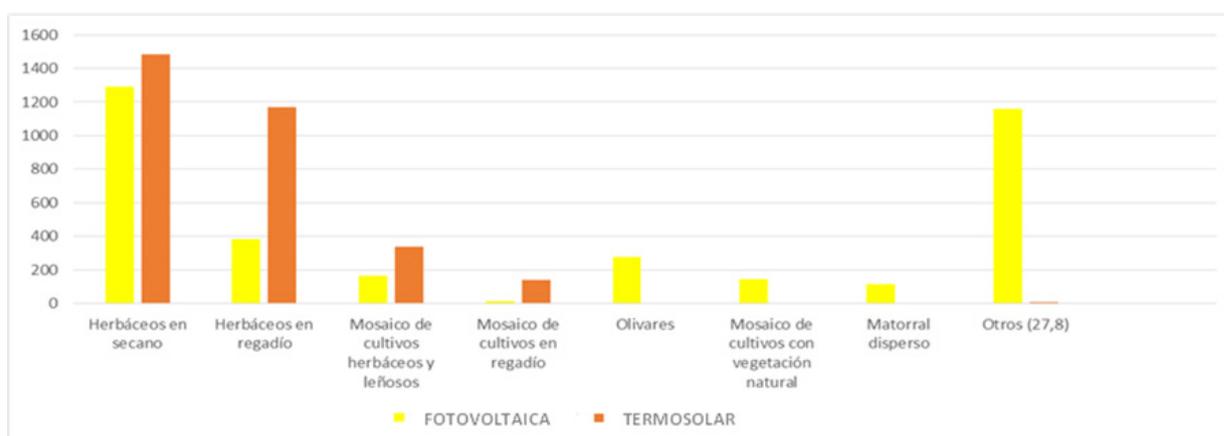
Figura 4a. Potencia instalada por municipios y 4.b. Porcentaje de suelo municipal ocupado por placas solares en Andalucía, 2019.



Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de los usos de suelo ocupados, se ha identificado aquellos usos previos a las instalaciones, utilizándose para ello la capa del mapa de usos y cobertura de suelo correspondiente al año 1999. Los resultados muestran cómo más del 41% de la superficie actualmente ocupada por centrales de este tipo se correspondían con cultivos herbáceos en secano en 1999, mientras que el 23% eran cultivos herbáceos en regadío (Figura 5). En el caso de la solar fotovoltaica, esta se localiza sobre una mayor cantidad de usos diferentes (hasta 34) pero fundamentalmente sobre cultivos herbáceos en secano, mientras que la termosolar está presente en una menor cantidad de usos (12), con gran intensidad tanto en cultivos herbáceos en secano como en regadío. La menor cantidad de usos ocupados por la termosolar respecto a la fotovoltaica, hace referencia a que las primeras son mucho menos numerosas que las segundas.

Figura 5. Superficie (ha) de suelo de 1999 ocupada por centrales solares en 2019.



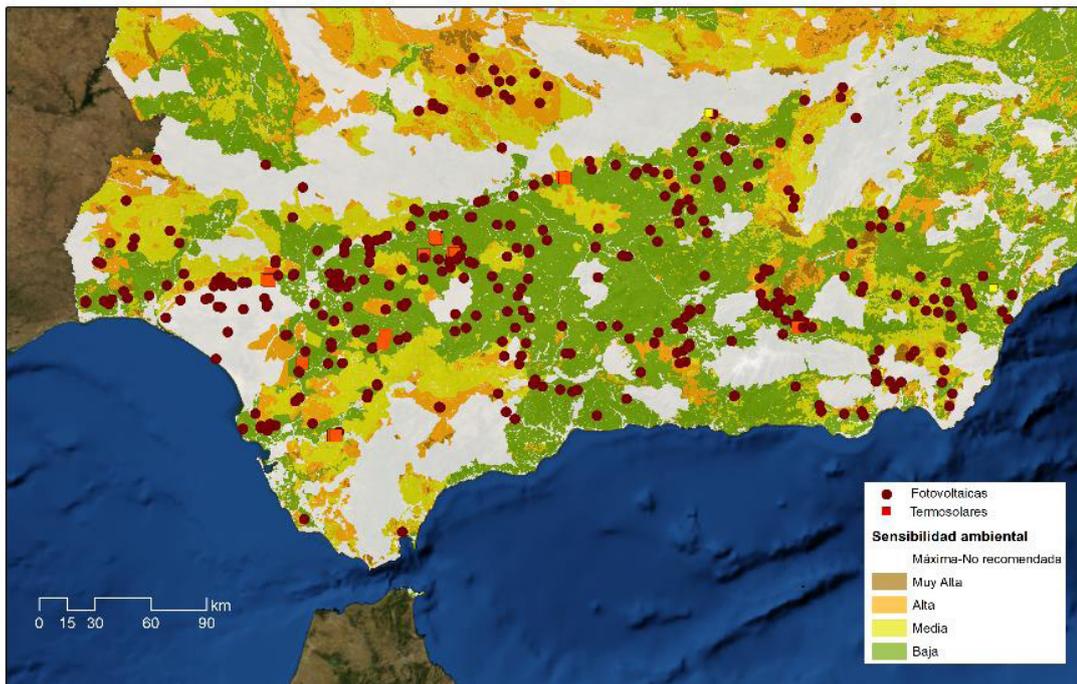
Fuente: Elaboración propia

### 3.2. Centrales solares en las zonas de mayor sensibilidad ambiental

En la Figura 6, se muestran las centrales solares digitalizadas en Andalucía en 2019 y las áreas de sensibilidad ambiental para la implantación de parques solares fotovoltaicos elaboradas por el Ministerio (MITECO, 2020a). De los 391 polígonos digitalizados, casi el 75% se localizan en zonas catalogadas por el Ministerio como de sensibilidad baja y moderada para la implantación de centrales fotovoltaicas, mientras que un 12% se localizan en zonas de sensibilidad alta o muy alta y el resto (13%) en zonas de sensibilidad máxima, donde la instalación de estas centrales no está recomendada.

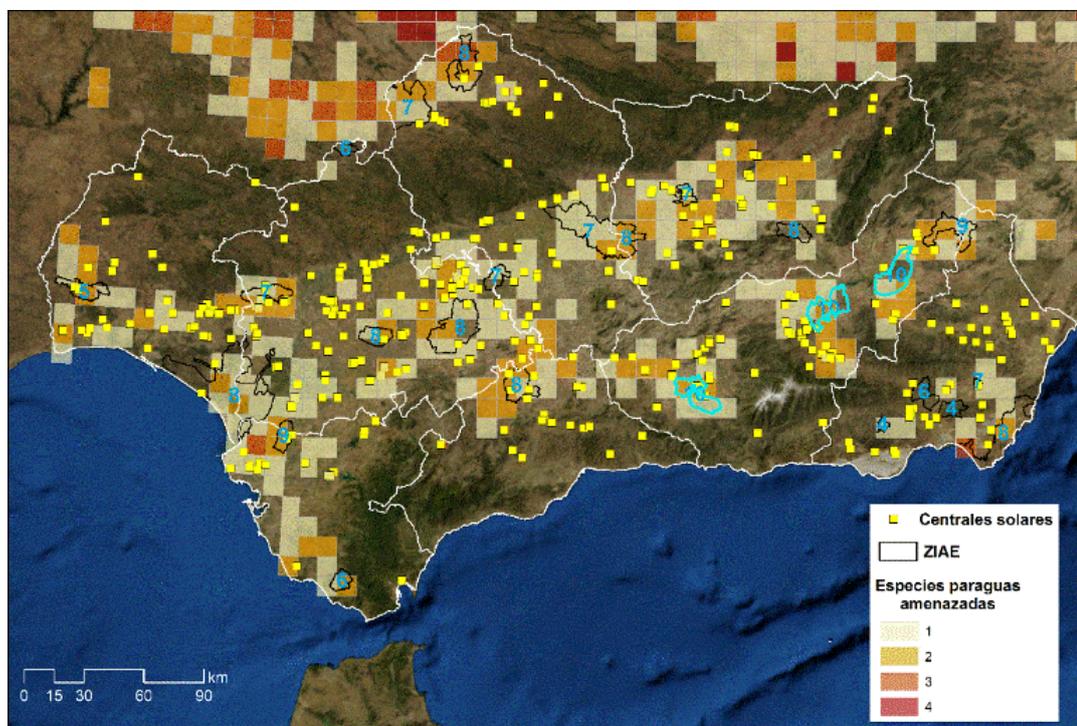
Por último, respecto a las aves esteparias, la Figura 7 muestra las ZIAE (Zonas de interés para las aves esteparias), junto con un número, que representa el número de especies amenazadas presentes en el interior. También recoge las cuadrículas 10 x 10km, representadas en función de la presencia de ocho especies de aves esteparias incluidas en el Catálogo Español de Especies Amenazadas. Los resultados muestran como once de las 25 áreas ZIAE existentes en Andalucía presentan alguna instalación de este tipo, siendo particularmente importante la presencia de centrales en las ZIAE Hoyas de Guadix, de Baza y El Temple/lomas de Padul (resaltadas en la Figura 7), donde están presentes hasta 10 especies amenazadas. Por otro lado, 93 polígonos (casi el 24% del total) se encuentran en cuadrículas con alta sensibilidad para las aves esteparias, 39 de ellos debido a la presencia de dos especies paraguas.

Figura 6. Áreas de sensibilidad ambiental y centrales solares, 2021.



Fuente: Elaboración propia a partir de MITECO (2020a)

Figura 7. Plantas solares y Zonas de Importancia para las Aves Esteparias (ZIAE).



Fuente: Elaboración propia a partir de REDIAM y MITECO (2021)

## 4. Discusión

Son varios los puntos que merecen ser discutidos en este trabajo.

Los resultados muestran una mayor densidad de centrales solares en valles y depresiones interiores andaluzas categorizadas como paisajes agrarios productivos de gran riqueza patrimonial y permiten comprender los cambios en la ocupación del suelo por parte de estas centrales a lo largo de dos décadas. Esto demuestra que estas fuentes de energía renovable suponen una nueva forma de competencia por el suelo debido a la aparición de una dicotomía funcional entre la preservación de las tierras con fuerte potencial agrícola y patrimonial y la expansión masiva de la producción de energías renovables (Poggi *et al.*, 2017). Por tanto, una implantación ordenada y eficiente de las centrales de energía renovables exige la formulación de una nueva zonificación del suelo rural que sea compatible con la actividad agraria, la protección del paisaje, la preservación de la biodiversidad y, a su vez, que pueda integrarse coherentemente en el planeamiento y la gestión municipales.

A pesar de haberse producido algunos esfuerzos por planificar estas instalaciones, supeditar la instalación o no de una infraestructura de este tipo a posibles zonificaciones realizadas a escala regional resulta incongruente y altamente desaconsejable, pues la instalación de cualquier infraestructura sobre el territorio requiere de un análisis minucioso que debe ser realizado en todas sus dimensiones y repercusiones y, por tanto, incompatible con el tratamiento del problema a una sola escala (Díaz *et al.*, 2017; Gutiérrez, 2001; Zoido, 2001). A escala regional, señalar zonas donde instalar o prohibir la instalación de este tipo de centrales resulta altamente desaconsejable, pero también lo es supeditar la instalación a la propia evaluación del proyecto en sí en la escala local, donde es difícil tener en cuenta el escenario previsible de instalaciones y por tanto los efectos acumulativos y sinérgicos de las mismas, entre otros aspectos, lo que demuestra que la implantación de una infraestructura puede tener un efecto positivo o negativo según la escala de análisis (Gutiérrez, 2001). Sin embargo, estas dos escalas de trabajo tampoco son suficientes, dado que los impactos sobre las aves, la aceptación social o el paisaje, exigen de la consideración de una escala intermedia de análisis. Resulta por tanto necesario realizar un análisis multiescalar, comenzando con una zonificación a escala regional, que señale los sitios con potencialidad donde realizar análisis más detallados (subregional y local).

La información que pone a disposición este trabajo junto a los primeros resultados del análisis de datos muestra la importancia y necesidad de esta para los responsables de la toma de decisiones, investigadores y población en general. Esta información permite tomar conciencia de la intensidad y magnitud de la implantación de este tipo de centrales sobre el territorio, valorando no sólo la localización sino el consumo de suelo en la región, comarca y/o localidad, su localización en zonas de interés para las aves esteparias o su concentración/dispersión sobre el territorio. Este punto resulta de gran importancia, ya que el grado de aceptación de la instalación de energías renovables varía entre tecnologías y en función de criterios y situaciones tales como: el ritmo de implantación y la saturación en el territorio (Frolova & Pérez, 2008), la localización de la instalación y su tamaño, el beneficio económico a la población local y el nivel de participación de los ciudadanos en las diferentes etapas de los proyectos energéticos (Rodríguez-Segura *et al.*, 2023a).

Entre los principales resultados obtenidos, destacan el mayor consumo de suelo por potencia instalada de las centrales termosolares (de media, es 0.4ha más/ MW), la identificación de municipios donde la presencia de estas instalaciones ocupa ya casi el 10% de su territorio, o los patrones de consumo de suelo de cada tipo de central. Así, por ejemplo, mientras que las solares fotovolta-

taicas se distribuyen por hasta 34 usos distintos, si bien parecen preferir los cultivos herbáceos en secano, las termosolares, tienen una menor distribución, estando presentes en 12 usos distintos, con una elevada incidencia sobre los cultivos herbáceos en regadío, de gran importancia agrícola en la región. Estos resultados, pueden ser útiles para decidir el futuro de la transición energética ante el escenario del cambio climático que supondrá, por ejemplo, una menor disponibilidad de suelos agrícolas productivos y, por tanto, una particular vulnerabilidad de los sistemas de producción de alimentos y de agua en general y, por ende, mayores restricciones para usos industriales (Acuerdo de París, 2015; Amor, 2019; Bermúdez, 2001; Nicholls & Altieri, 2013).

Otro resultado clave de este trabajo es la estimación, a partir de las centrales ya implantadas, de las hectáreas necesarias para cumplir con los objetivos planteados de instalación solar en 2030 en la región, cifra que asciende a cerca de 16000ha. Aunque parezca pequeña la cifra de hectáreas necesarias (0,2% de la superficie total andaluza), podría ocasionar graves daños sobre la biodiversidad o el paisaje de la región, sobre todo si sigue sin realizarse ningún tipo de planificación multiescalar. Una primera aproximación regional que determine zonas, a priori, compatibles para la instalación, permitiría ser más eficiente en la búsqueda de esta superficie y por tanto de posibles emplazamientos a escalas más detalladas. Estos resultados, pueden ser útiles para decidir el futuro de la transición energética ante el escenario del cambio climático que supondrá, por ejemplo, una menor disponibilidad de suelos agrícolas productivos y, por tanto, una particular vulnerabilidad de los sistemas de producción de alimentos y de agua en general y, por ende, mayores restricciones para usos industriales (Amor, 2019; Bermúdez, 2001; Nicholls & Altieri, 2013).

## 5. Conclusiones

El presente trabajo mejora la información espacial relativa a las centrales fotovoltaicas y termosolares instaladas en Andalucía en 2019, además de dotarla de información alfanumérica incluyendo la superficie, el tipo de central y la potencia instalada, lo que permite a la población en general ser conscientes de la intensidad de la implantación de este tipo de centrales sobre los territorios. La información generada también permite mejorar los análisis realizados con las coordenadas  $x$  e  $y$  del punto central de los parques solares andaluces realizada por la Agencia de la Energía y compartida por el IECA, poniendo esta información a disposición de científicos e investigadores, así como de los actores clave en el desarrollo de este tipo de proyectos: políticos, planificadores, propietarios de terrenos y empresas del sector energético renovable. Ello permitirá avanzar en la identificación de impactos y patrones espaciales que hasta este momento han seguido las instalaciones, realizar estimaciones sobre la necesaria superficie futura, disminuir los impactos más relevantes y la tasa de rechazo de las nuevas infraestructuras de energías renovables.

Los impactos en el paisaje, junto con el impacto sobre las aves o su localización en áreas de alto interés agrícola, han sido algunos de los temas que más interés han suscitado entre investigadores e investigadoras, así como para la población. En el caso andaluz, además, los objetivos propuestos en la Estrategia Energética de Andalucía 2030 y la LISTA, hacen prever un impulso de estas instalaciones en los próximos años, generando un exacerbado debate sobre la necesidad de controlar el proceso de implantación de estas tecnologías para evitar conflictos con el uso/ocupación del suelo en las zonas rurales. De hecho, los problemas de contestación social originales están evolucionando hacia lo que podría denominarse como “alarma social” debido, sobre todo, a la proliferación de centrales solares fotovoltaicas en el territorio rural en los dos últimos años, donde la

potencia instalada se ha triplicado, poniendo estas zonas rurales, al servicio de las zonas urbanas más demandantes de energía.

Junto con lo anterior, una reflexión debe ser realizada sobre el papel de las administraciones públicas encargadas de generar información, que debería ser pública, detallada y actualizada, permitiendo a la población comprender la magnitud de las transformaciones y ser conscientes de la intensidad de la implantación de estas centrales en el territorio, lo que daría lugar a respuestas informadas. Esto es muy relevante ya que, el ritmo de implantación de estas instalaciones en los últimos años, pone de manifiesto que la superficie ocupada por las plantas solares debe ser mucho mayor en la actualidad. De hecho, mientras que la cifra de potencia instalada en energía solar termoelectrica se mantiene prácticamente igual a finales de 2022, en el caso de la solar fotovoltaica ha cambiado notablemente, alcanzando los 4703MW en diciembre de 2022 (Agencia Andaluza de la Energía, 2022), que a una superficie media de 0,29ha por cada 100kW de potencia fotovoltaica instalada, cifra obtenida en este trabajo, supondría a fecha de 2022 unas 13640ha de suelo agrícola ocupadas por centrales solares fotovoltaicas (más del triple de lo instalado en 2019).

## Bibliografía

- Agencia Andaluza de la Energía (2019). Datos Energéticos de Andalucía 2018. Junta de Andalucía. Recuperado de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/DatosEnergeticos2018/>
- Agencia Andaluza de la Energía (2020a). Potencial de energías renovables en Andalucía. Consejería de la Presidencia, Administración Pública e Interior. Recuperado de [https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/Renovables/3\\_2\\_0164\\_20\\_publicacion\\_resumen\\_potencial\\_renovable\\_andalucia.pdf](https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/Renovables/3_2_0164_20_publicacion_resumen_potencial_renovable_andalucia.pdf).
- Agencia Andaluza de la Energía (2020b). Datos Energéticos de Andalucía 2019. Junta de Andalucía. Recuperado de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/DatosEnergeticos2019/>
- Agencia Andaluza de la Energía (2022). Informe de Infraestructuras Energéticas de Andalucía. Consejería de Política Industrial y Energía. Junta de Andalucía. Recuperado de [https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/Infraestructuras/20221231\\_informe\\_andaluz\\_miea.pdf](https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/Infraestructuras/20221231_informe_andaluz_miea.pdf).
- Amor, M. D. M. M. (2019). El cambio climático y la transición energética en la legislación española, con especial atención al ámbito agrícola y ganadero. *Revista de derecho agrario y alimentario*, 35(75), 121-155.
- Banco Mundial (2017). *Global Solar Atlas*. Disponible en <https://globalsolaratlas.info/map>
- Barral, M.A., Iglesias-Pascual, R., Carmona, R., Prados, M.J. (2019). Planificación, participación e innovación social en los paisajes de las energías renovables. *Estudios Geográficos*, 80(286), e010-e010. Recuperado de <https://estudiosgeograficos.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeograficos/article/download/748/834>
- Bermúdez, F. L. (2001). Cambio climático y desertificación, amenazas para la sostenibilidad de las tierras del Arco Mediterráneo. Situación y perspectiva. *Revista valenciana d'estudis autonòmics*, (36), 93-116. Recuperado de <https://www.divulgameteo.es/uploads/CC-desertificaci%C3%B3n.pdf>
- Calvert, K., & Mabee, W. (2015). More solar farms or more bioenergy crops? Mapping and assessing potential land-use conflicts among renewable energy technologies in eastern Ontario, Canada. *Applied Geography*, 56, 209-221. doi: 10.1016/j.apgeog.2014.11.028.
- Castillo Ruíz, J. (2010). La vega de Granada. La construcción cultural de un territorio a través de la actividad agraria. *Revista Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 74, 18-73. Recuperado de <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/2950/2950> (Último acceso 01/04/2023).
- Chiabrando R, Fabrizio E, Garnero G (2009) The territorial and landscape impacts of photovoltaic systems: definition of impacts and assessment of the glare risk. *Renew Sustain Energy Rev*, 13(9), 2441-2451. doi: 10.1016/j.rser.2009.06.008
- Civieta, O.F. (13 de enero de 2023). Las organizaciones ecologistas rechazan la propuesta del Gobierno para acortar los trámites ambientales de los proyectos renovables. *La Marea*. Recuperado de <https://www.lamarea.com/2023/01/13/gobierno-espana-permitira-proyectos-energias-renovables-sin-evaluacion-impacto-ambiental/>

- Contreras, P. (20 de noviembre de 2022). Andalucía necesita 11.000 hectáreas para instalar 5.500 MW de potencia solar fotovoltaica antes de 2030. *Lavozdelsur.es*. 20/02/2021 Recuperado de [https://www.lavozdelsur.es/actualidad/economia/andalucia-instalar-5500-mw-solar-fotovoltaica-2030-necesita-11000-hectareas\\_286214\\_102.html](https://www.lavozdelsur.es/actualidad/economia/andalucia-instalar-5500-mw-solar-fotovoltaica-2030-necesita-11000-hectareas_286214_102.html)
- Contreras, J. S. & Matarán Ruíz, A. (2023). *Colonialismo energético. Territorios de sacrificio para la transición energética corporativa en España, México, Noruega y el Sáhara Occidental*. Barcelona, España: Icaria.
- Cousse, J. (2021). Still in love with solar energy? Installation size, affect, and the social acceptance of renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111107. doi: 10.1016/j.rser.2021.111107
- de Andrés-Ruiz, C., Iranzo-García, E., & Espejo-Marín, C. (2015). *Solar Thermoelectric Power Landscapes in Spain: A New Kind of Renewable Energy Landscape?*. En Frolova, M., Prados, M.J. Nadaï, A. (eds). *Renewable energies and European landscapes: Lessons from Southern European cases* (pp. 255-277). Dordrecht, Reino Unido: Springer. doi: 10.1007/978-94-017-9843-3\_14
- Delicado, A., Figueiredo, E., & Silva, L. (2016). Community perceptions of renewable energies in Portugal: Impacts on environment, landscape, and local development. *Energy Research & Social Science*, 13, 84-93. doi: 10.1016/j.erss.2015.12.007
- DERA (2023). *Datos Espaciales de Referencia de Andalucía*. Recuperado de/Retrieved from <https://www.junta-deandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/index.htm>
- Díaz-Cuevas, P., Camarillo-Naranjo, J.M., Pérez-Alcantara, J.P. (2018). Relational spatial database and multi-criteria decision methods for selecting optimum locations for photovoltaic power plants in the province of Seville (southern Spain). *Clean Technol. Environ. Policy*, 20, 1889-1902. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1587-2>
- Díaz Cuevas, P., Pita López, M. F., Fernández Tabales, A., & Limones Rodríguez, N. (2017). Energía eólica y territorio en Andalucía: diseño y aplicación de un modelo de potencialidad para la implantación de parques eólicos. *Investigaciones Geográficas*, (67), 9-29. <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.67.01>
- Díaz Pacheco, J., Hewitt, R., López Díez, A., & Dorta Antequera, P. (2018). Valoración de Bases de Datos de Usos de Suelo para la localización y distribución espacial de la energía solar y eólica en España. *Investigaciones Geográficas*, 56, 114-137. doi: 10.5354/0719-5370.2018.51333
- Espejo-Marín, C. & García-Marín, R. (2010) La energía solar termoeléctrica en España. *Anales de Geografía*, 30 (2) 81-105. Recuperado de <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/download/AGUC1010220081A/30709>
- Espejo-Marín, C. & Aparicio-Guerrero, A. E. (2020). La producción de electricidad con energía solar fotovoltaica en España en el siglo XXI. *Revista de Estudios Andaluces*, 39, 66-93. doi: 10.12795/rea.2020.i39.04
- ESRI (2023). Cómo funciona Vecino más cercano promedio. Recuperado de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/2.9/tool-reference/spatial-statistics/h-how-average-nearest-neighbor-distance-spatial-st.htm#:~:text=La%20relaci%C3%B3n%20de%20vecino%20m%C3%A1s,cubren%20la%20misma%20C3%A1rea%20total>.
- Eurostat (2023). Energy datasheets: EU countries of 27 April 2023. Recuperado de [https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/eu-energy-statistical-pocketbook-and-country-datasheets\\_en](https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/eu-energy-statistical-pocketbook-and-country-datasheets_en)
- Frolova, M., Prados, M. J., & Nadaï, A. (2015). *Emerging renewable energy landscapes in southern European countries*. En Frolova, M., Prados, M.J. Nadaï, A. (eds). *Renewable energies and European landscapes: Lessons from Southern European cases* (pp. 255-277). Dordrecht, Reino Unido: Springer. doi: 10.1007/978-94-017-9843-3\_14
- Frolova, M., Pérez-Pérez, B., & Herrero-Luque, D. (2022). Diverse responses of coastal communities to offshore wind farming development in Southern Spain. *Moravian Geographical Reports*, 30(4), 324-339. <https://doi.org/10.2478/mgr-2022-0021>
- Giralt, D., Robleño, I., Estrada, J., Mañosa, S., Morales, M. B., Traba, J., & Cabau, G. B. (2018). Manual de gestión de barbechos para la conservación de aves esteparias. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya. Recuperado de [https://www.custodia-territorio.es/sites/default/files/recursos/livre\\_barbecho\\_per\\_web.pdf](https://www.custodia-territorio.es/sites/default/files/recursos/livre_barbecho_per_web.pdf)
- Gutiérrez Puebla, J. (2001). Escalas espaciales, escalas temporales. *Estudios geográficos*, 62(242), 89-104. doi: 10.3989/egregor.2001.i242.295
- Hernández, R. R., Easter, S. B., Murphy-Mariscal, M. L., Maestre, F. T., Tavassoli, M., Allen, E. B., Barrows C.W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R. & Allen, M. F. (2014). Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 29, 766-779. doi: 10.1016/j.rser.2013.08.041
- Junta de Andalucía (2022). *Estrategia Energética de Andalucía 2030*. Recuperado de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/transicion-energetica/estrategia-energetica-de-andalucia-2030>
- Junta de Andalucía (2023). *Base Cartográfica SIOSE Andalucía. Escala 1:10.000. Año 2020*. Recuperado de [https://portalrediam.cica.es/descargas?path=%2F01\\_CHARACTERIZACION\\_TERRITORIO%2F06\\_USOS\\_COBERTURAS%2F06\\_SIOSE%2F06\\_SIOSEA\\_2020%2FSioseA20\\_OS\\_Detalle\\_2023\\_02](https://portalrediam.cica.es/descargas?path=%2F01_CHARACTERIZACION_TERRITORIO%2F06_USOS_COBERTURAS%2F06_SIOSE%2F06_SIOSEA_2020%2FSioseA20_OS_Detalle_2023_02)

- Kagan, R. A., Viner, T. C., Trail, P. W., & Espinoza, E. O. (2014). Avian mortality at solar energy facilities in southern California: a preliminary analysis. *National Fish and Wildlife Forensics Laboratory*, 28, 1-28. Recuperado de <https://usiraq.procon.org/sourcefiles/avian-mortality-solar-energy-ivanpah-apr-2014.PDF>
- Losa, J. L. (20 de febrero de 2021). La Junta retira su mapa de parques solares de Andalucía tras la presión de los inversores. *El Confidencial*. 20/02/2021 Recuperado de [https://www.elconfidencial.com/espana/andalucia/2021-02-20/junta-retira-mapa-parques-solares-andalucia\\_2959336/](https://www.elconfidencial.com/espana/andalucia/2021-02-20/junta-retira-mapa-parques-solares-andalucia_2959336/)
- Márquez-Sobrino, P., Díaz-Cuevas, P., Pérez-Pérez, B. et al. Twenty years of energy policy in Europe: achievement of targets and lessons for the future. *Clean Techn Environ Policy* (2023). <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02543-x>
- McKenna, R., Mulalic, I., Soutar, I., Weinand, J. M., Price, J., Petrović, S., & Mainzer, K. (2022). Exploring trade-offs between landscape impact, land use and resource quality for onshore variable renewable energy: an application to Great Britain. *Energy*, 250, 123754. doi: 10.1016/j.energy.2022.123754
- Medina, M. A. (14 de enero de 2023). Ecologistas y técnicos alertan de una ola de denuncias por eximir de evaluación ambiental a proyectos de energías renovables. *El País*. Recuperado de [https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/Renovables/3\\_2\\_0164\\_20\\_publicacion\\_resumen\\_potencial\\_renovable\\_andalucia.pdf](https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/Renovables/3_2_0164_20_publicacion_resumen_potencial_renovable_andalucia.pdf)
- Menor, J. (2000). Reflexiones en torno a los modelos productivistas y postproductivistas en la Vega de Granada. *Cuadernos Geográficos*, 30. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/171/17103016.pdf>
- Mérida, M., Lobón, R., Perles, M. J., Zayas, B., Reyes, S. & Cantarero, F. J. (2012). Paisajes solares. Integración paisajística de plantas fotovoltaicas en Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Vivienda, Sevilla. Recuperado de [https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2021-05/60acb156baff7-paisajes\\_solares.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2021-05/60acb156baff7-paisajes_solares.pdf)
- Mérida-Rodríguez, M., Lobón-Martín, R. & Perles-Roselló, M. J. (2015). The Production of Solar Photovoltaic Power and Its Landscape Dimension: The Case of Andalusia (Spain). En Frolova, M., Prados, MJ, Nadaï, A. (eds). *Renewable energies and European landscapes: Lessons from Southern European cases* (pp. 255-277). Dordrecht, Reino Unido: Springer. doi: 10.1007/978-94-017-9843-3\_14
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020a). *Zonificación ambiental para la planificación de energías renovables: Eólica y Fotovoltaica. Sensibilidad ambiental y clasificación del territorio*. Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacion-ambiental/documento1memoria\\_tcm30-518028.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacion-ambiental/documento1memoria_tcm30-518028.pdf)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020b) *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC)*. Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/images/es/pniec\\_completo\\_tcm30-508410.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/pniec_completo_tcm30-508410.pdf)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). *Guía metodológica para la valoración de repercusiones de las instalaciones solares sobre especies de avifauna esteparia*. Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/guiafotovoltaicas\\_y\\_esteparias\\_tcm30-529601.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/guiafotovoltaicas_y_esteparias_tcm30-529601.pdf)
- Nicholls, C., & Altieri, M. (2013). Agroecología y cambio climático. Metodología para evaluar la resiliencia socio-ecológica en comunidades rurales. Lima: Redagres. [https://biblioteca.hegoa.ehu.es/downloads/19800/%2Fsystem%2Fpdf%2F3465%2Fagroecologia\\_y\\_cambio\\_climatico.pdf](https://biblioteca.hegoa.ehu.es/downloads/19800/%2Fsystem%2Fpdf%2F3465%2Fagroecologia_y_cambio_climatico.pdf)
- Observatorio de Sostenibilidad de España (2023). *Atlas de las Energías Renovables 2023*. Recuperado de <https://www.observatoriosostenibilidad.com/2023/03/17/atlas-de-las-energias-renovables-2023/>
- Palacín, C., Alonso, J. C., Martín, C. A., & Alonso, J. A. (2017). Changes in bird-migration patterns associated with human-induced mortality. *Conservation Biology*, 31(1), 106-115. doi: 10.1111/cobi.12758
- Pasqualetti, M. J. (2011). Social barriers to renewable energy landscapes. *Geographical review*, 101(2), 201-223. doi: 10.1111/j.1931-0846.2011.00087.x
- Pasqualetti, M. J., & Frantál, B. (2022). The evolving energy landscapes of coal: Windows on the past and influences on the future. *Moravian Geographical Reports*, 30(4), 228-236. doi: 10.2478/mgr-2022-0015
- Pérez, B.P. & Díaz-Cuevas, P. (2022). Connections between Water, Energy and Landscape: The Social Acceptance in the Monachil River Valley (South of Spain). *Land*, 11, 1203. <https://doi.org/10.3390/land11081203>
- Poggi, F., Firmino, A., & Amado, M. (2018). Planning renewable energy in rural areas: Impacts on occupation and land use. *Energy*, 155, 630-640. doi: 10.1016/j.energy.2018.05.009
- Polatidis, H., Haralambopoulos, D. A., Munda, G., & Vreeker, R. (2006). Selecting an appropriate multi-criteria decision analysis technique for renewable energy planning. *Energy Sources, Part B*, 1(2), 181-193. doi: 10.1080/009083190881607

- Prados Velasco, M. J. (2010). Renewable energy policy and landscape management in Andalusia, Spain: The facts. *Energy Policy*, 38 (11), 6900-6909; doi: 10.1016/j.enpol.2010.07.005
- Red Eléctrica de España (2023). Red Eléctrica de España (2023). Red eléctrica (datos). Recuperado de <https://www.ree.es/es/datos/generacion/potencia-instalada>
- Rodríguez-Segura, F.J., Osorio-Aravena, J.C., Frolova, M., Terrados-Cepera, J. & Muñoz-Cerón, E. (2023a). Social acceptance of renewable energy development in southern Spain: Exploring tendencies, locations, criteria, and situations. *Energy Policy*, 173(113356). doi: 10.1016/j.enpol.2022.113356
- Rodríguez-Segura F. J., Frolova M. & Osorio-Aravena J. C. (2023b). Aceptación social de las energías renovables en Europa: Estudio comparativo entre la provincia de Jaén (España) y condado de Somogy (Hungría). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 43(1), 211-236. doi: 10.5209/aguc.85946
- Rodríguez-Sojo, J. (5 de agosto de 2022). El mapa de la electricidad en España: ¿qué comunidades producen más energía y cuáles son las mayores consumidoras? Cadena SER. Recuperado de/ Retrieved August, 5th, 2022, from <https://cadenaser.com/nacional/2022/08/05/el-mapa-de-la-electricidad-en-espana-que-comunidades-producen-mas-energia-y-cuales-son-las-mayores-consumidoras-cadena-ser/>
- Serrano, D., Margalida, A., Pérez-García, J. M., Juste, J., Traba, J., Valera, F., ... & Donázar, J. A. (2020). Renewables in Spain threaten biodiversity. *Science*, 370(6522), 1282-1283. Serrano, D. et al. (2020) Renewables in Spain threaten biodiversity. *Science*, 370 (6522) 1282-1283. doi: 10.1126/science.abf6509
- Tahri M, Hakdaoui M & Maanan M (2015) The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. *Renewable and sustainable energy reviews*, 51, 1354–1362. doi: 10.1016/j.rser.2015.07.054
- Torres-Sibille AC, Cloquell-Ballester VA & Artacho Ramírez MA (2009) Aesthetic impact assessment of solar power plants: an objective and a subjective approach. *Renew Sustain Energy Rev*, 13, 986–999. doi: 10.1016/j.rser.2008.03.012
- Turney, D. & Fthanakis, V. (2011). Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (6), 3261– 3270. doi: 10.1016/j.rser.2011.04.023
- Uyan, M. (2017). Optimal site selection for solar power plants using multi-criteria evaluation: a case study from the Ayranci region in Karaman, Turkey. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(1), 2231–2244. doi: 10.1007/s10098-017-1405-2
- Valverde, F. A. N. & Medina, J. S. (2009). Arquitectura etnográfica en las comarcas de Guadix-Baza (Granada). Necesidad de constituir paisajes culturales. *Gazeta de Antropología*, 25(2). Recuperado de <http://www.gazeta-antropologia.es/?p=2027>
- Van de Ven, D. J., Capellan-Peréz, I., Arto, I., Cazcarro, I., de Castro, C., Patel, P. & González-Eguino, M. (2021). The potential land requirements and related land use change emissions of solar energy. *Scientific reports*, 11(1), 1-12. doi: 10.1038/s41598-021-82042-5
- Walker, G. (1995). Renewable energy and the public. *Land use policy*, 12(1), 49-59. doi: 10.1016/0264-8377(95)90074-C
- Watson J. J. & Hudson M. D. (2015). Regional scale wind and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. *Landscape and Urban Planning*, 138, 20–31. doi: 10.1016/j.landurbplan.2015.02.001
- Zoido, F. (2001). La ordenación del territorio a distintas escalas espaciales. En: A. Gil y J. Gómez. (Coords.) *Geografía de España* (pp. 505-618). Barcelona, España: Ariel.

## Agradecimientos

La publicación es parte del Proyecto TED2021-129484A-I00, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea “NextGenerationEU”/PRTR.

Las autoras y los autores agradecen al Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, así como a la Agencia Andaluza de la Energía la ayuda prestada.

## Contribución de autorías

Las tareas asociadas a este trabajo se han distribuido de forma homogénea trabajando especialmente la revisión, contextualización y redacción de este Pilar Díaz y Belén Pérez mientras que el levantamiento de la informa-

ción ha estado a cargo de Antonio Prieto y Gabriel Orozco, autor este último encargado además de la publicación de datos y servicios a través de la plataforma web.

El resto de tareas (metodología, análisis, discusión y conclusiones) se han compartido de manera equitativa.

## **Financiación**

La publicación es parte del Proyecto TED2021-129484A-I00, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea “NextGenerationEU”/PRTR.

## **Conflicto de intereses**

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.