



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

Implementación de una metodología GIS para la localización óptima de plantas fotovoltaicas en la Comunidad Valenciana

TRABAJO FIN DE MÁSTER EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y
GEOINFORMACIÓN

Autora: Sonia M^a Sandoval Valmaña

Tutor: Jose Carlos Martínez Llario

Cotutor: Salvador Bayarri Romar

Septiembre 2021

1. Compromiso

"El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía"

Firmado:

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, cursive script that is difficult to decipher but appears to be a personal name.

2. Resumen

Dada la urgencia climática que vivimos actualmente, se hace más patente que hay que avanzar por caminos alternativos a los seguidos hasta ahora. Es por ello que el impulso a las energías renovables se vuelve imperativo. Con esta idea en mente, se ha decidido contribuir en la implementación de la industria solar con el desarrollo de una metodología GIS para encontrar la localización óptima de la instalación de paneles solares y determinar qué superficie tendrían que ocupar estos paneles para alcanzar la potencia deseada.

Para lograr este objetivo, se realizará un análisis de la documentación y legislación vigente; y se obtendrán y procesarán, con la ayuda de un GIS de escritorio, los datos espaciales necesarios. Posteriormente, se incluirán en el software Pathfinder para generar un mapa de compatibilidad, el cual será exportado para ser usado en los geoprocursos desarrollados para calcular la ubicación y dimensiones de la planta.

Finalmente, utilizaremos la herramienta Pathfinder para realizar un ejemplo de conexión de esta hipotética planta a la red eléctrica.

Donada la urgència climàtica que vivim actualment, es fa més patent que hi ha que avançar per camins alternatius als seguits fins ara. És per això que l'impuls a les energies renovables és de vital importància. Amb aquesta idea, s'ha decidit fer una contribució a la implementació de la indústria solar amb el desenvolupament d'una metodologia GIS per a trobar la localització òptima de la instal·lació de panells solars i determinar quina superfície haurien d'ocupar aquests panells per a assolir la potència desitjada.

Per aconseguir aquest objectiu es realitzarà una anàlisi de la documentació i de la legislació actual; i s'obtidran i processaran, amb la ajuda de un GIS d'escriptori, les dades espacials necessàries. Posteriorment, s'inclouran en el software Pathfinder per angenerar un mapa de compatibilitat, el qual s'exportarà per a ser utilitzat en els geoprocessos desenvolupats per a calcular la ubicació i dimensions de la planta.

Finalment, utilitzarem la ferramenta Pathfinder per a realitzar un exemple de connexió d'aquesta hipotètica central a la xarxa elèctrica.

3. Índice de figuras

1.	Compromiso	2
2.	Resumen	3
3.	Índice de figuras	4
4.	Índice de tablas	6
5.	Índice de contenidos	7
6.	Introducción	9
7.	Objetivo	16
8.	Datos	17
9.	Metodología	23
	Recopilación de datos e información	23
	Tratamiento de datos	25
	Contorno del área de estudio	26
	Áreas de influencia y clasificación	27
	Irradiación Horizontal Global (GHI)	35
	Orientación y pendiente	37
	Generación del mapa de compatibilidad	39
	Metodología	39
	Generación del mapa oficial de compatibilidad	39
	Generación del mapa de idoneidad con factores adicionales	44
	Geoprocesos	51
	Determinar áreas óptimas potenciales	51
	Cálculo del área para planta fotovoltaica según la potencia	55
	Ejemplo de conexión a la red	59
10.	Resultados	64
11.	Presupuesto	66
	Coste personal	66
	Material	67
	Resumen del presupuesto	68
12.	Conclusiones	69
	Propuestas de mejora	71
	Impacto del trabajo	72
	Impacto tecnológico	72
	Impacto económico	73
	Impacto medioambiental	73
		4

Impacto social	73
Incorporación profesional	73
13. Bibliografía	74
14. Cartografía	77

4. Índice de tablas

Tabla 1. Datos empleados en el trabajo	22
Tabla 2. Tratamiento de datos	30
Tabla 3. Buffers aplicados	31
Tabla 4. Tabla de resistencias y áreas de influencia utilizadas en Pathfinder para generar el mapa oficial de compatibilidad. Valores entre -3 y 3, FB=Prohibido.	43
Tabla 5. Tabla de resistencias y áreas de influencia de los factores adicionales utilizados en Pathfinder para generar el mapa de compatibilidad completo. Valores entre -3 y 3, FB=Prohibido.	50
Tabla 6. Coste recursos humanos.	67
Tabla 7. Coste desglosado de cada proceso que compone el trabajo	68
Tabla 8. Costes materiales (Precio en caso de las licencias es €/año)	69
Tabla 9. Resumen del presupuesto	69

5. Índice de contenidos

1.	Compromiso	2
2.	Resumen	3
3.	Índice de figuras	4
4.	Índice de tablas	6
5.	Índice de contenidos	7
6.	Introducción	9
7.	Objetivo	16
8.	Datos	17
9.	Metodología	23
	Recopilación de datos e información	23
	Tratamiento de datos	25
	Contorno del área de estudio	26
	Áreas de influencia y clasificación	27
	Irradiación Horizontal Global (GHI)	35
	Orientación y pendiente	37
	Generación del mapa de compatibilidad	39
	Metodología	39
	Generación del mapa oficial de compatibilidad	39
	Generación del mapa de idoneidad con factores adicionales	44
	Geoprocesos	51
	Determinar áreas óptimas potenciales	51
	Cálculo del área para planta fotovoltaica según la potencia	55
	Ejemplo de conexión a la red	59
10.	Resultados	64
11.	Presupuesto	66
	Coste personal	66
	Material	67
	Resumen del presupuesto	68
12.	Conclusiones	69
	Propuestas de mejora	71
	Impacto del trabajo	72
	Impacto tecnológico	72
	Impacto económico	73

Impacto medioambiental	73
Impacto social	73
Incorporación profesional	73
13. Bibliografía	74
14. Cartografía	77

6. Introducción

La sociedad en la que vivimos ha hecho uso de diferentes fuentes de energía a lo largo de su historia según sus necesidades y opciones tecnológicas. La mayor producción de energía ha contribuido a aumentar el nivel de desarrollo del que nos beneficiamos todos, pero del que derivan una serie de problemáticas producidas por la explotación del medioambiente en este proceso de evolución. El consumo desmesurado de recursos naturales limitados, la emisión de gases y partículas contaminantes a la atmósfera o el vertido de residuos son algunas de las actividades que nos han conducido a esta emergencia climática actual (Fundación renovable, 2020)

En la línea de intentar frenar los efectos que tendrá sobre nuestro planeta esta forma de desarrollo, la Unión Europea aboga por desarrollar e implementar políticas más verdes y anima a todos los países miembros a seguir esta línea de acción. En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2019 (Cumbre del Clima COP 25) se presentó el Pacto Verde Europeo “Green Deal”, que se configura como la hoja de ruta climática de la UE para los próximos años, y comprenderá todos los sectores de la economía. (Gobierno de España, de 23 de junio 2020)

La energía solar tiene múltiples beneficios aparte de ser una energía renovable y limpia. La primera y más obvia es la mejora del medioambiente, ya que solo tendremos las emisiones derivadas de la construcción de las centrales fotovoltaicas, sumado a una disminución del consumo de petróleo. Pero también se tiene la posibilidad de optimizar el servicio eléctrico en zonas aisladas, además de ser un sistema silencioso y fácil de combinar con otros.

En el informe de *Tendencias de transición energética 2020 (Power Transition Trends 2020)* de BloombergNEF (BNEF) se destacan los grandes avances que ha realizado la energía solar en una década. En 2019 rebasó a la eólica para convertirse en la cuarta fuente de energía más grande en cuanto a capacidad (artículo de Javier López de Benito, SOLAR). En la misma línea, Luisa Demôro, analista de BNEF, asegura “*Las fuertes caídas en los costes de equipos solares, a saber, los módulos que van en los techos y en las grandes plantas, han hecho que esta tecnología esté ampliamente disponible para viviendas, empresas y redes*”

Siendo conocedores de esta realidad y de los costes adicionales por daños medioambientales, se ha decidido realizar un trabajo que potencie la utilización de energías renovables y limpias, más concretamente con la energía fotovoltaica.

Aunque los resultados de este trabajo están pensados para que se puedan implementar a nivel mundial, se llevará a cabo su implementación en la Comunidad Valenciana, España.

A nivel nacional se cuenta con un Real Decreto-Ley en *el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica* (Gobierno de España, de 23 de junio 2020) *“Este surge de la necesidad de impulsar la agenda de descarbonización y sostenibilidad como respuesta a la crisis compartida en el ámbito europeo y, en este contexto, España está en condiciones de liderar este proceso, aprovechando las ventajas competitivas de nuestro país en ámbitos como la cadena de valor de las energías renovables, la eficiencia energética o la digitalización”*

El PNIEC (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima) establece que para 2030 tiene que haber una potencia instalada de fotovoltaica de 39000 MW y 50000 de eólica. Teniendo en cuenta el peso económico y poblacional de la Comunidad Valenciana, esto supone que en el territorio se tienen que instalar aproximadamente 4000 MW de fotovoltaica y 5000 MW de eólica. Dadas las condiciones del lugar, más favorables que en otras zonas del Estado para la fotovoltaica por la mayor radiación solar (Ilustración 1) y la más complicada implantación eólica, por cuestiones administrativas y del propio territorio, se hace necesario ampliar el objetivo fotovoltaico y reducir el eólico (Secretaria Automòmica d’Emergència Climàtica i Transició Ecològica- Generalitat Valenciana, 2020).

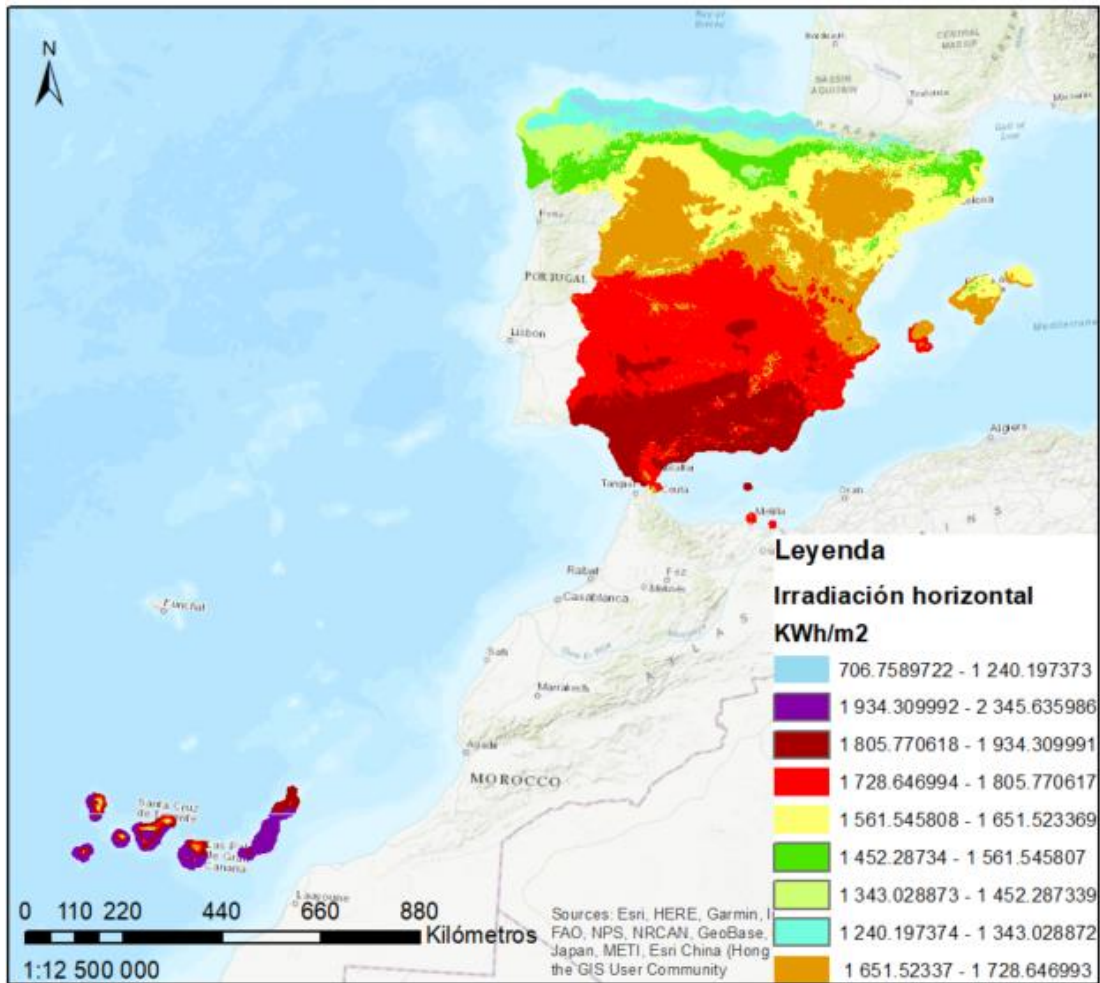


Ilustración 1. Mapa de irradiación horizontal global en España

Posteriormente, el Consell de la Comunidad Valenciana aprobó el *Decreto Ley 14/2020, de 7 de agosto, de medidas para acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de las energías renovables por la emergencia climática y la necesidad de la urgente reactivación económica*. En él se adjunta un mapa donde se pueden visualizar de forma clara las zonas compatibles con la instalación de centrales fotovoltaicas y eólicas, actualizado por la Conselleria de Agricultura y Transición Ecológica (Ilustración 2).

ANNEX I / ANEJO I

Mapa informatiu de la compatibilitat de les àrees sotmeses a protecció mediambiental per a l'emplaçament de centrals fotovoltaïques
Mapa informativo de la compatibilidad de las áreas sometidas a protección medioambiental para el emplazamiento de centrales fotovoltaicas

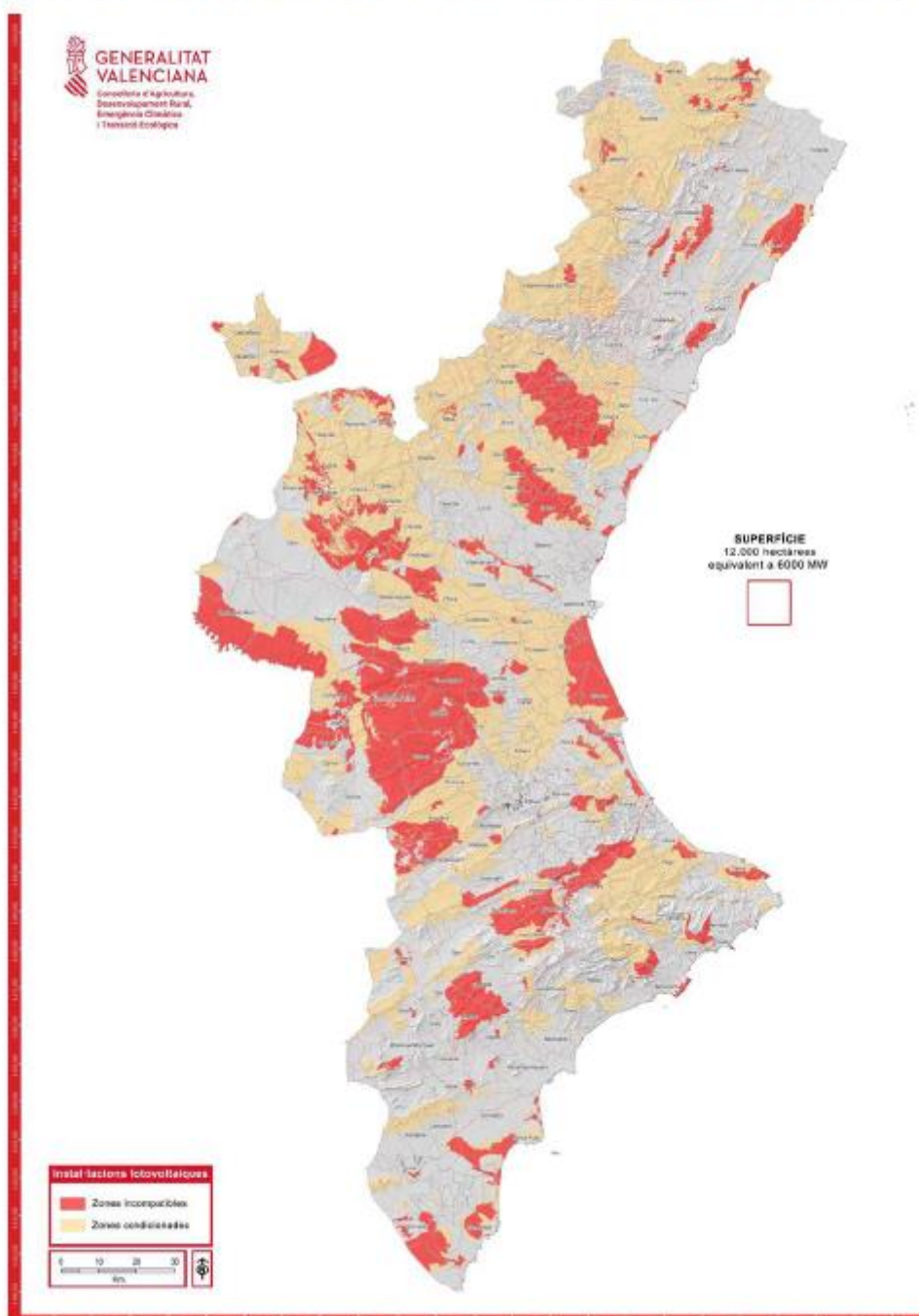


Ilustración 2. Mapa informativo de compatibilidad de las áreas sometidas a protección medioambiental para el emplazamiento de centrales fotovoltaicas del Decreto-Ley 14/2020

Como resumen de la normativa valenciana podemos decir que establece las preferencias de emplazamiento que han de ser compatibles con los planes territoriales y urbanísticos que cumplan con las condiciones medioambientales, funcionales y territoriales. (David Martínez, 2020).

Durante el desarrollo del presente trabajo se han realizado consultas a diversos estudios elaborados en relación al objeto que nos ocupa.

En cuanto a la selección de la ubicación haciendo uso de un Sistema de Información Geográfica, aparte de tener en cuenta las indicaciones de la legislación vigente, el trabajo de Javier Domínguez (2002), del centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas de Madrid, habla del papel fundamental que juegan los sistemas de información geográfica en este sentido. Eduardo Orellana (2002), profesor en la Universidad Católica de Chile, hace uso de diferentes factores que influyen en la energía termosolar a los que aplica algunas restricciones según sus beneficios o desventajas a nivel productivo, obteniendo así las áreas con mayor potencial para ser utilizadas.

Javier Gutiérrez et al. (2018), de la Universidad Católica de Ávila, diseñaron una metodología basada en un enfoque multicriterio para evaluar esta correcta ubicación de instalaciones de energía fotovoltaica conectadas a la red eléctrica integrando en un modelo de decisión una serie de criterios de aptitud e impacto relativos a unas variables seleccionadas.

Se ha estimado interesante realizar una búsqueda de las herramientas web actuales en referencia a las plantas solares. Existe una página web llamada Global Solar Atlas¹ que te permite seleccionar un punto en el mapa, y en el que se obtienen diferentes datos como la irradiación o la temperatura del aire, y tras seleccionar el tipo de instalación que te interesa te devuelve una estimación de potencial fotovoltaico anual. Así se esboza una idea sobre qué valores se podrían esperar de instalaciones ubicadas en diferentes zonas.

Del mismo modo, se ha investigado el Solar PV forecasting tool², una aplicación web que proporciona previsiones de cuánta energía solar habrá en un lugar determinado a corto plazo basándose en las previsiones meteorológicas recientes.

¹ <https://globalsolaratlas.info/download/spain>

² <https://solarforecasting.energydata.info/#/>

E.sios³, de la Red Eléctrica de España, tiene publicado un mapa de instalaciones fotovoltaicas nacionales, el cual es interesante para ver la tendencia de los MW instalados en nuestro país. En él se detecta que en la Comunitat Valenciana aún son escasas. (Ilustración 3).

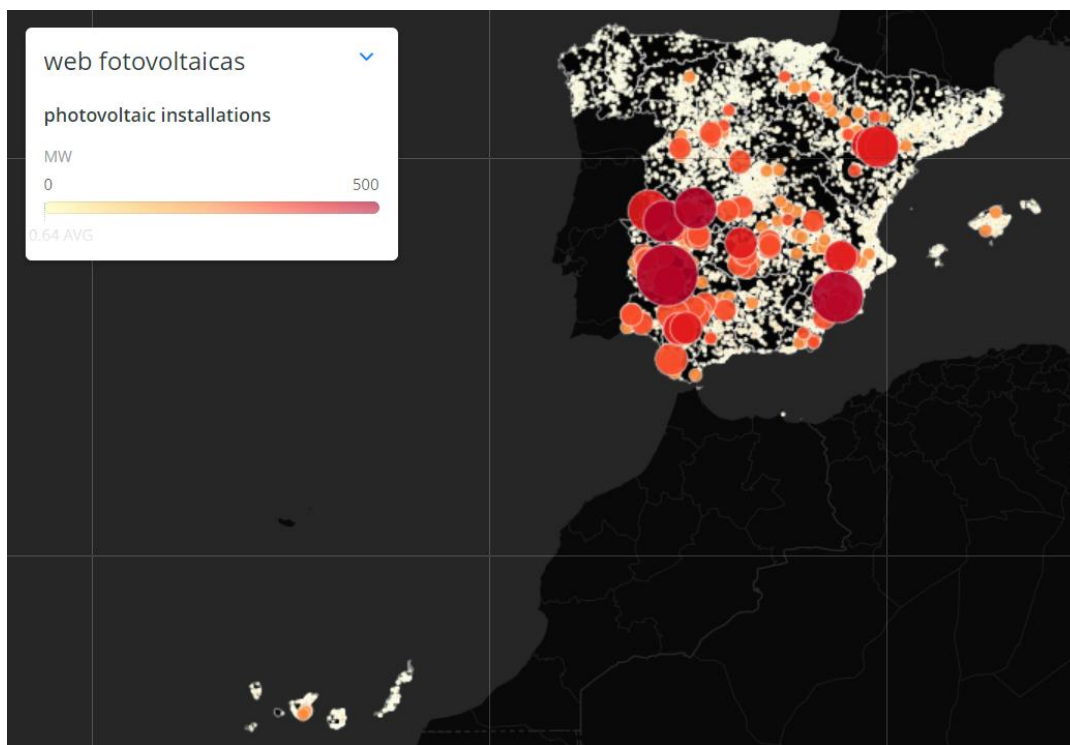


Ilustración 3. Mapa de instalaciones fotovoltaicas nacionales publicado por E.sios

En el presente trabajo se ha hecho uso de Pathfinder, un software desarrollado por la empresa Gilytics, cuya función es ayudar en la toma de decisiones para la instalación de infraestructuras de carácter lineal, como pueden ser el tendido eléctrico. (Ilustración 4)

Tras la integración de datos espaciales que representan aquellos factores que pueden influir en la localización de la infraestructura, se les asignan unos pesos a los mismos teniendo en cuenta restricciones geográficas que implican. Una vez hecho esto, podemos generar un mapa de compatibilidades que indica a simple vista qué áreas resultan óptimas para localizar el proyecto;

³ <https://www.esios.ree.es/es/mapas-de-interes/mapa-instalaciones-fotovoltaicas>

además, unos corredores indican las mejores zonas para conectar el punto inicial al final; y, finalmente, se calculan los posibles caminos óptimos teniendo en cuenta el mapa de compatibilidad.

El mapa de compatibilidades, o de resistencias como se le llama en la herramienta, se genera a partir de los pesos asignados a las diferentes capas de datos. Este resultado es el primero que utilizaremos en nuestro proyecto, para visualizar cuáles son las áreas con mayor potencial para albergar una central fotovoltaica.

En una fase final del trabajo, haremos uso de las funciones de cálculo de corredores y de caminos óptimos para simular la conexión de la central fotovoltaica resultante a una subestación para la distribución de la energía generada.



Ilustración 4. Diagrama de los pasos a seguir típicamente en Pathfinder

7. Objetivo

Como se ha explicado anteriormente, es necesario hacer una transición hacia energías más limpias como es la solar, es por ello que el objetivo global de este trabajo consiste en desarrollar una metodología GIS para facilitar la toma de decisiones en cuanto a la mejor situación y extensión de una planta de energía fotovoltaica, y así impulsar la instalación de las mismas.

Este objetivo ha sido consensuado con la empresa Gilytics S.L., en la que la autora ha realizado las prácticas del Máster en Ingeniería Geomática y Geoinformación.

Para la consecución de este objetivo general, se subdivide el proyecto en varios objetivos específicos que se detallan a continuación:

- Análisis de legislación y reglamento que afectan a la localización de plantas fotovoltaicas en la Comunidad Valenciana en lo relativo a la información espacial.
- Integración de la información geográfica relevante en Pathfinder
- Creación de un mapa ráster de localizaciones óptimas a partir de la información geoespacial recogida y la asignación de pesos.
- Implementación de geoprosos para el cálculo de zonas óptimas y del área necesaria de la planta solar dada una potencia determinada, integrados en un GIS.
- Ejemplo de cálculo de ruta para la conexión de una localización escogida con la red eléctrica, utilizando Pathfinder.

Así pues, como resultado final se podrá visualizar un ejemplo de flujo de trabajo completo con la metodología propuesta, obteniéndose el área que tendrían que ocupar las placas para conseguir la potencia deseada en un lugar escogido con la ayuda del mapa de compatibilidad generado, y el camino óptimo para conectar dicha planta al suministro de red eléctrica.

8. Datos

Los datos han sido recabados a partir de diferentes fuentes. Se detallan en la siguiente tabla (Tabla 1). En la sección de Metodología se describe su selección y tratamiento.

Categoría	Capa	Fuente	Fecha	Precisión / Escala ⁴
Áreas de protección	Corredores ecológicos	Servei d'Infraestructura Verda i Paisatge - Conselleria de Política Territorial, Obres Públiques i Mobilitat	27/11/2019	1: 10 000
	Elevado valor cultural	Servei d'Infraestructura Verda i Paisatge - Conselleria de Política Territorial, Obres Públiques i Mobilitat	23/11/2020	1: 10 000
	Espacios de interés paisajístico	Servei d'Infraestructura Verda i Paisatge - Conselleria de Política Territorial, Obres Públiques i Mobilitat	27/11/2019	1: 100 000
	Paisaje protegido	Servicio de Gestión de Espacios Naturales Protegidos - Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural	Publicación 18/04/2007	1: 5 000

⁴ En caso de tratarse de un ráster, se muestra la resolución; en caso de tratarse de un shapefile, se describe la escala del mismo.

			Revisión 30/10/2018	
	Parajes municipales	Servicio de Gestión de Espacios Naturales Protegidos - Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural	Publicación 15/02/2002 Revisión 23/04/2021	1: 5 000
	Parque natural	Servicio de Gestión de Espacios Naturales Protegidos - Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural	Publicación 30/05/2007 Revisión 16/02/2021	1: 5 000
	Parques naturales y micro-reservas	SERVICIO DE VIDA SILVESTRE - Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural	Publicación 19/04/2005 Revisión 01/03/2021	1: 10 000

	RAMSAR	Servicio de Infraestructura Verde y Paisaje - Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad	27/11/2019	1: 5 000
	Reserva natural sin planeamiento	Servicio de Gestión de Espacios Naturales Protegidos - Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural	Publicación 15/04/2011 Revisión 28/11/2011	1: 5 000
	Suelo forestal estratégico del PATFOR	SERVICIO DE ORDENACIÓN Y GESTIÓN FORESTAL - Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural	Publicación 08/05/2013 Revisión 01/04/2021	1: 25 000
	Red Natura 2000 - zonificación A-B	Servicio de Infraestructura Verde y Paisaje - Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad	27/11/2019	1: 50 000
	Red Natura 2000 - zonificación C-D	Servicio de Infraestructura Verde y Paisaje - Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad	27/11/2019	1: 50 000

	Áreas delimitadas por el planeamiento territorial	Servicio de Infraestructura Verde y Paisaje - Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad	27/11/2019	1: 5 000
Hidrología	Cauces	Servicio de Infraestructura Verde y Paisaje - Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad	24/11/2020	1: 10 000
	Zonas húmedas	Servicio de Gestión de Espacios Naturales Protegidos - Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural	Publicación 16/09/2002 Revisión 08/04/2011	1: 5 000
Vías de comunicación	cartografía oficial de la CV05	ICV	02/01/2014	1: 5 000
Litología	Arcillas	Instituto Valenciano de la Edificación - Conselleria de Vivienda y Arquitectura Bioclimática	Publicación 01/01/1994 Revisión	1: 100 000

			15/06/2006	
Clasificación del suelo	Suelo urbano	ICV	23/02/2021	1: 50 000
Equipamiento energético	Gasoducto, Líneas eléctricas, Oleoductos	Antigua Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transport (COPUT)	01/07/1998	1: 5 000
	cartografía oficial de la CV 1:5000	ICV	02/01/2014	1: 5 000
Riesgos	Peligro de inundación del PATRICOVA	Servicio de Infraestructura Verde y Paisaje - Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad	24/11/2020	1: 25 000
	Riesgos	Servicio de Infraestructura Verde y Paisaje - Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad	27/11/2019	1: 25 000
Usos del suelo	Corredores territoriales	Subdirección General de Ordenación del Territorio y Paisaje - Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad	20/05/2020	1: 50 000

Energía solar	Irradiación global horizontal	Global solar atlas		Resolución: 250m
	Potencial fotovoltaico	Global solar atlas		Resolución: 1km
MDT malla 10 m	Orientación	Institut Cartogràfic Valencià	15/02/2018	2m
	Pendiente			2m

Tabla 1. Datos empleados en el trabajo

9. Metodología

El desarrollo de la metodología se ha dividido en tres fases principales:

- Investigación, tratamiento y uso de los datos para generar un mapa de compatibilidades
- Determinación de áreas óptimas
- Conexión de un área óptima a la red.

A continuación, se explicarán de forma más detallada cada una de estas fases.

Recopilación de datos e información

Como paso previo a la manipulación de los datos, debemos saber qué capas de información necesitamos y de qué forma influyen en la generación de energía fotovoltaica. Para ello se ha realizado una búsqueda de la legislación existente en el país y zona de estudio, que en este caso es España y, más concretamente, la Comunidad Valenciana.

A nivel estatal tenemos el Real Decreto-Ley 23/2020, de 23 de junio, *por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica*. En él se fijan algunas metas concretas tales como que para el 2030 se llegue a que el 42% del consumo proceda de energías renovables o que a lo largo del periodo comprendido entre el 2020-2025 el parque renovable aumente en, aproximadamente, 29000 MW, de los que unos 25000 MW corresponden a energía eólica y fotovoltaica. También se habilita la hibridación, lo que quiere decir que, cuando sea técnicamente posible, se puede realizar el acceso a un mismo punto de la red de instalaciones que empleen distintas tecnologías de generación.

Posteriormente, el Consell de Comunidad Valenciana aprobó el *Decreto Ley 14/2020, de 7 de agosto, de medidas para acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de las energías renovables por la emergencia climática y la necesidad de la urgente reactivación económica*. Este decreto tiene validez en centrales de potencias menores de 50 MW que se encuentren dentro del territorio de la Comunidad Valenciana. En él se elimina la incertidumbre existente sobre criterios ambientales, puesto que marca claramente las zonas preferentes,

condicionadas y prohibidas, según la valoración de AVAENSEN, patronal del sector energético de la CV. También se fija el objetivo para 2030 de aumentar la instalación de energía fotovoltaica de 6000 MW, de los 364 MW actuales en la Comunitat.

Los criterios específicos de la Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica para zonificar la implantación de plantas fotovoltaicas son los siguientes:

- Espacios naturales protegidos
 - Incompatibles: reservas naturales, parques naturales, paisajes protegidos, monumentos naturales y zonas húmedas.
 - A determinar en función de la zonificación y normativa de cada PORN: Áreas de amortiguación de espacios naturales protegidos.
 - A determinar en función del plan especial de cada caso: parajes naturales municipales.

- Espacios de Red Natura 2000
 - ZEC y ZEPA con normativa de gestión aprobada:
 - Incompatibles en áreas A y B (hábitats prioritarios y de interés comunitario)
 - Condicionado a evaluación de repercusiones en áreas C
 - Compatible en áreas D.
 - Condicionado a la evaluación de repercusiones: LIC y ZEPA sin norma de gestión aprobada.

- Montes de utilidad pública: condicionado a la evaluación de la afección a la naturaleza del bien protegido.
- Vías pecuarias: incompatible
- Otras afecciones territoriales:
 - Incompatible: reservas de fauna y micro reservas
 - Condicionado a informe de la Dirección General: hábitats protegidos por el Decreto 70/2009

Además de los criterios ambientales, gracias a los trabajos de Domínguez J. (2002), Orellana E. (2009), Hung V. (2010) y Gutiérrez J. (2018), sabemos que otros elementos importantes son:

- La irradiación solar, es decir, la cantidad de radiación que llega a la Tierra medida en unidad de energía, tiempo y área. Buscaremos zonas con irradiaciones elevadas.
- Vías de comunicación, ya sean carreteras, caminos o ferrocarril. No pueden ser obstruidos, pero se busca una cercanía a ellos para facilitar el acceso.
- La pendiente como factor limitante para la instalación.
- La orientación del terreno, siendo más favorables las orientaciones Sur.
- La litología, ya que suelos más arcillosos nos convendrán menos por el coste de la construcción.
- Usos del suelo. (hidrológico, urbano...)
- Red eléctrica existente, dado que queremos conectar nuestra central resultante a la red.

Una vez determinados los datos espaciales necesarios, se ha procedido a su búsqueda. Afortunadamente, la Comunidad Valenciana cuenta con el Instituto Cartográfico Valenciano⁵ (ICV), que si bien no produce necesariamente todos los datos que ofrece, recopila una gran cantidad de ellos. De él se han descargado la mayoría de datos, a excepción de la pendiente y orientación que la hemos calculado a partir del modelo digital del terreno de 10 metros de resolución de la Comunidad Valenciana⁶ y la irradiación solar, obtenida del Atlas Global Solar⁷.

Tratamiento de datos

Dado que se hará uso de los datos en el software Pathfinder, es necesario definir los requerimientos necesarios para su correcto funcionamiento.

⁵ http://icv.gva.es/auto/aplicaciones/icv_geocat/#/

⁶ https://catalogo.icv.gva.es/geonetwork/srv/cat/catalog.search#/metadata/spaicvMDT10mCV_DATO

⁷ <https://globalsolaratlas.info/download/spain>

- Se requiere limitar el contorno del área de trabajo como un solo polígono, por lo que eliminaremos las islas y uniremos el Rincón de Ademuz.
- En caso de interesarnos hacer una selección por atributos para la asignación de pesos, se ha de generar una capa separada con esta selección.
- Las capas han de ser vectoriales.
- Es necesario dividir las capas muy grandes y con muchos objetos para evitar errores y tiempos largos de proceso. Esto pasa, por ejemplo, con la capa de vías de comunicación.

El primer paso será ver qué contiene cada capa de datos y confirmar si es útil para el presente trabajo. Para ello, las visualizamos y las tratamos con los programas ArcMap y qGIS, según conveniencia.

Contorno del área de estudio

Como se ha mencionado anteriormente, para delimitar el área de trabajo en Pathfinder, se necesita un polígono simple. Para ello se han eliminado las islas de la Comunitat Valenciana y se ha unido el Rincón de Ademuz con el software QGIS, utilizando la herramienta de *remodelar objetos* y posteriormente uniendo ambos polígonos con la de *disolver* para la unión, y la de *eliminar parte* para las islas. (Ilustración 5)



Ilustración 5. Tratamiento de datos del área de trabajo

Áreas de influencia y clasificación

En primer lugar, para trabajar con las capas en el SIG de escritorio, han de encontrarse en un mismo sistema de coordenadas (utilizamos ETRS89 UTM 30N). A la hora de introducir las capas en Pathfinder, esto no es importante porque las transforma automáticamente.

Algunas de las capas descargadas del ICV serán filtradas, ya que no nos interesan todos los elementos que contienen. También se ha de aplicar áreas de influencia, porque las restricciones no se limitan a la extensión original del elemento.

En la siguiente tabla se resume las acciones que se han realizado con cada una de las capas que se explicarán posteriormente (Tabla 2):

- División por atributos.
- Unión de capas.
- Área de influencia.
- Sin modificaciones.

Capa original	División por atributos	Unión de capas	Buffer (m)	Capas resultantes
Bienes culturales	-	-	500	Bienes culturales
Conectores y corredores ecológicos y funcionales	x	-	50	Cauces
		-	100	Corredores
		-	-	Vías pecuarias
Parques naturales y micro-reservas	-	-	-	Parques naturales y micro-reservas
Montes	x	-	-	Suelo forestal estratégico del PATFOR
Espacios de interés paisajístico	-	-	-	Espacios de interés paisajístico
Áreas delimitadas en el planeamiento territorial,	-	-	-	áreas delimitadas en el planeamiento territorial, ambiental y urbanístico

ambiental y urbanístico				
Patrimonio natural y biodiversidad RAMSAR	-	-	-	RAMSAR
Red Natura 2000 (LIC y ZEPA) Plan de gestión aprobado	x	-	-	ZEPA y ZEC zona A-B
		-	-	ZEPA y ZEC zona C-D
Paisaje protegido	-	-	500	Paisaje protegido
Parajes municipales	-	-	-	Parajes municipales
Parques naturales	-	-	-	Parques naturales
Zonas húmedas	-	x	500	Zonas húmedas
Zonas húmedas con influencia	-	x	-	
Montes gestionados	-	-	-	Montes gestionados

Corredores territoriales	-	-	-	Corredores territoriales
Peligrosidad de inundación PATRICOVA	x	-	-	Peligro de inundación del PATRICOVA nivel 1 a 4
		-	-	Peligro de inundación del PATRICOVA nivel 5 a 7
Litología	x	-	-	Arcillas
Carreteras	x	-	-	Tramo vial sin carreteras urbanas
Ferrocarril	-	x	-	Ferrocarril
Equipamiento energético	x	-	-	Líneas eléctricas
		-	-	Oleoductos
		-	-	Gasoductos
CV05	x	x	-	Líneas eléctricas

Tabla 2. Tratamiento de datos

A modo explicativo, se detalla a continuación cómo se han tratado los datos escogiendo una capa a la que se le han aplicado cada uno de los geoprosesos, ya que con el resto se procede de forma muy similar.

El área de influencia a aplicar, o buffer, viene marcada en la legislación, por lo que simplemente se usa la herramienta *Buffer* en QGIS para calcularla. (Tabla 3 e Ilustración 6).

Capa	Área de influencia
Bienes culturales	500m
Cauces	50
Corredores	100
Paisajes protegidos	500
Zonas húmedas	500

Tabla 3. Buffers aplicados

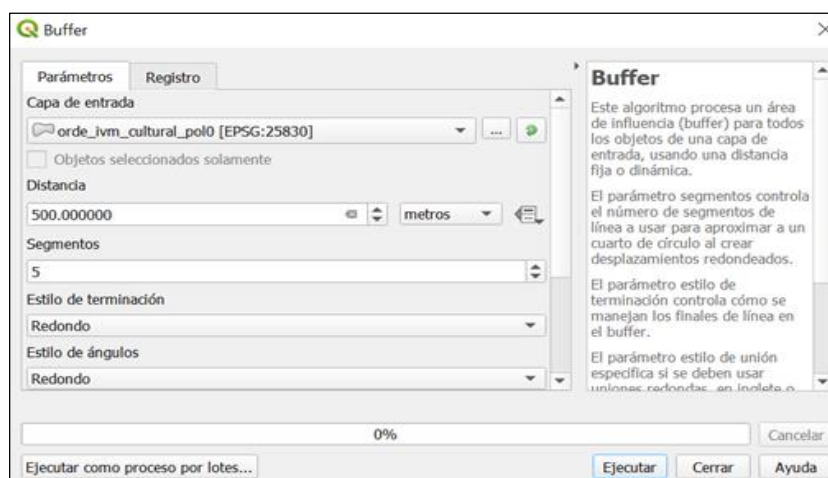


Ilustración 6. Aplicación de un buffer de 500 metros en la capa de Bienes culturales

Durante la revisión de los datos, se comprueba la existencia de capas distintas que contienen el mismo tipo de dato. En estos casos se usa la herramienta de *Unir capas vectoriales*. Es el caso de las capas de *zonas húmedas* y *zonas húmedas con influencia*, que se han unido en una sola tras aplicar el buffer de 500 metros a *zonas húmedas*, o de las capas de *ferrocarril* y *líneas eléctricas* provenientes de la cartografía de referencia, que por sus características de descarga se han ido obteniendo en áreas pequeñas que fue necesario unir. (Ilustración 7 y 8)

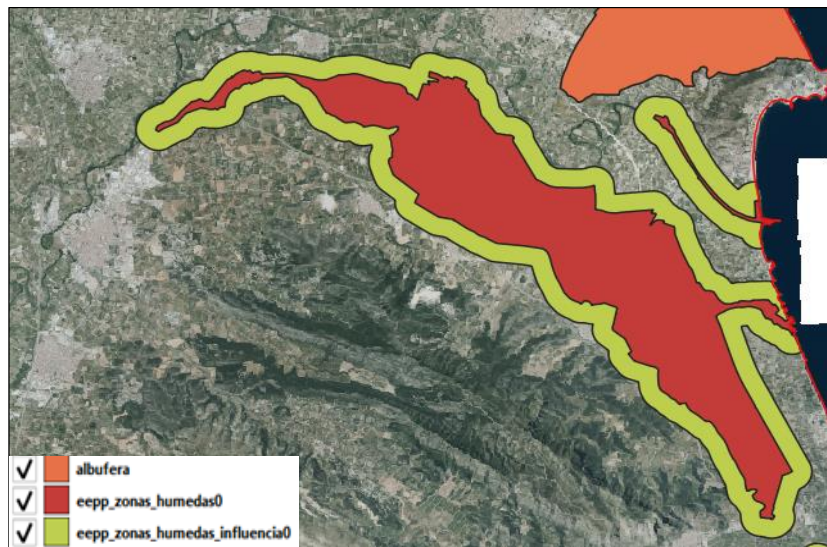


Ilustración 7. Visualización de las diversas capas de hidrología.

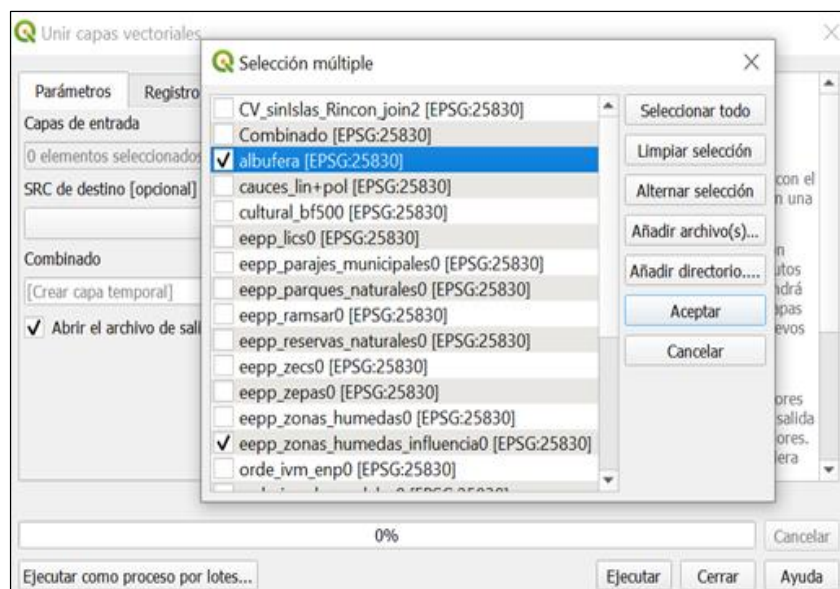


Ilustración 8. Herramienta "Unión de capas" aplicada a las capas con temática hidrológica.

En otras ocasiones, las capas se han dividido por valores de sus atributos, como es el caso de las de Red Natura 2000, según si tienen normativa de gestión aprobada y la zonificación que se les asigna. Para obtener las áreas sin normativa se hace una selección por localización, ya que marcamos las que tienen norma de gestión y luego se invierte esta selección. (Ilustración 9 y 10)

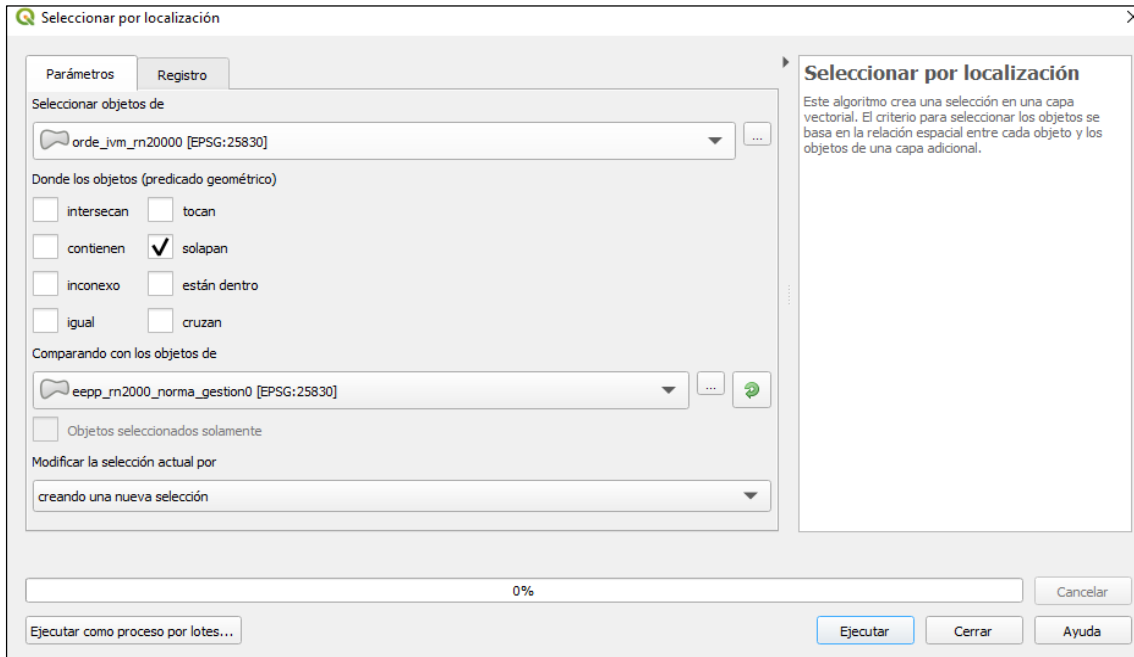


Ilustración 9. Herramienta de "Selección por localización" aplicada a la capa de Red Natura 2000

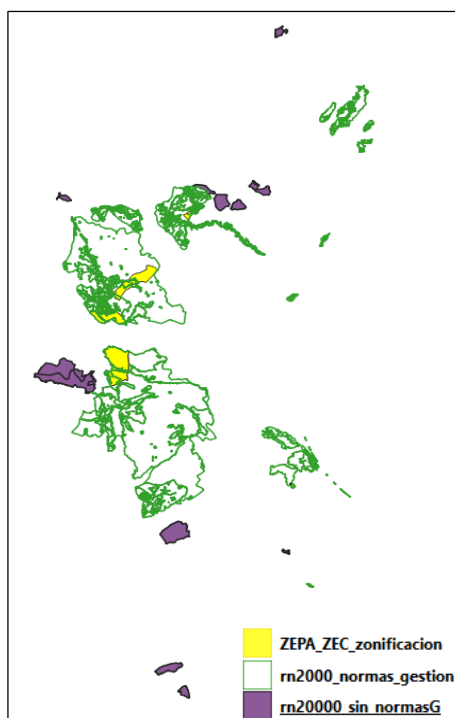


Ilustración 10. Visualización del resultado del uso de la herramienta "Selección por localización".

Posteriormente, para aquellas zonas que sí tienen normas de gestión, y por lo tanto están zonificadas, se realiza una selección por atributos para dividir las en zonificación A-B y C-D. (Ilustración 11 y 12)

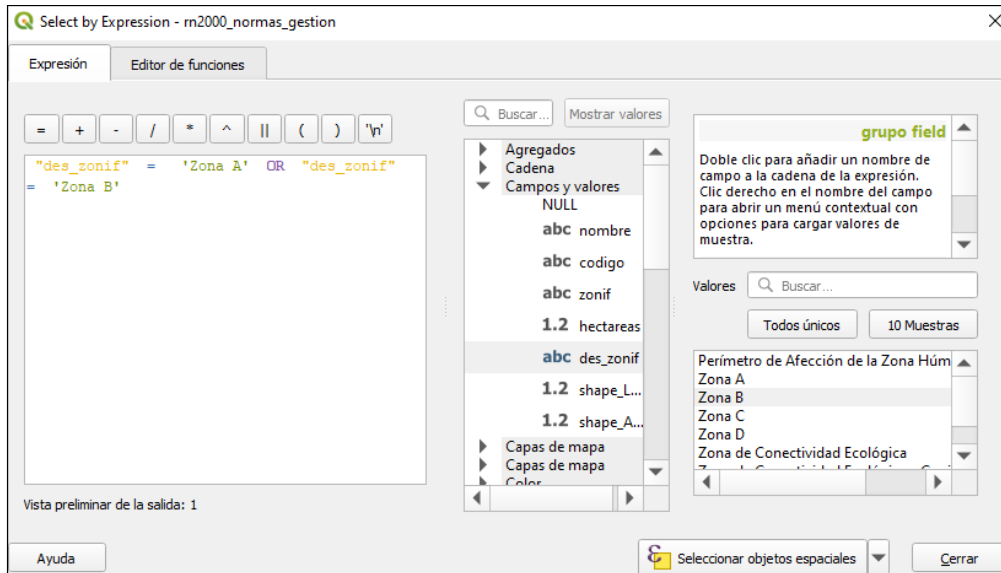


Ilustración 11. Utilización de la herramienta "Selección por expresión".

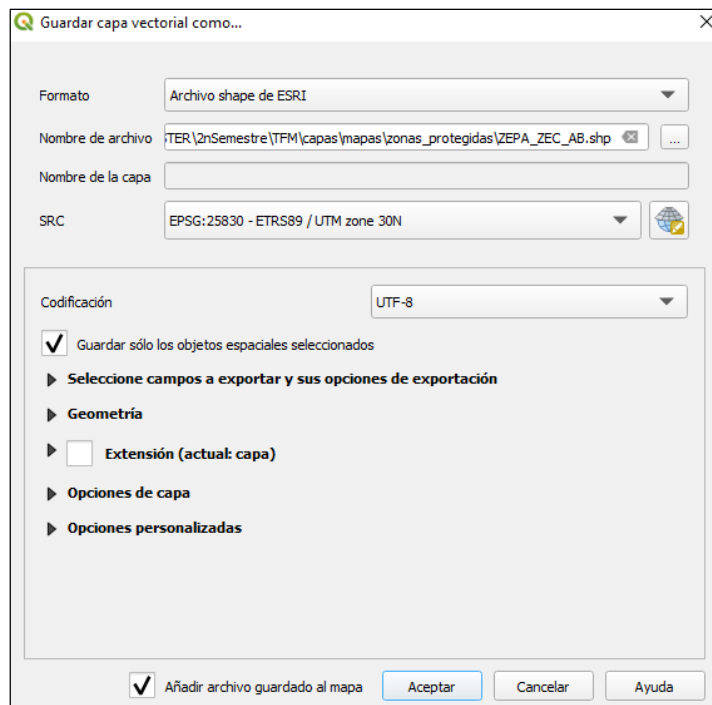


Ilustración 12. Guardar la selección para generar una nueva capa con las zonas de interés.

Esta operación de selección y división de capas por atributos se ha repetido para cada una de las capas señaladas en la tabla 2.

En el caso de la cartografía de referencia CV05, la división por atributos requirió una búsqueda complementaria para comprender cada uno de los acrónimos usados. Finalmente, esta información se obtuvo del *Institut Cartogràfic Valencià, 2017*⁸.

Dado que hay capas que contienen muchos atributos que no necesitamos, se han eliminado algunos de ellos para facilitar la posterior carga en Pathfinder. (Ilustración 13)

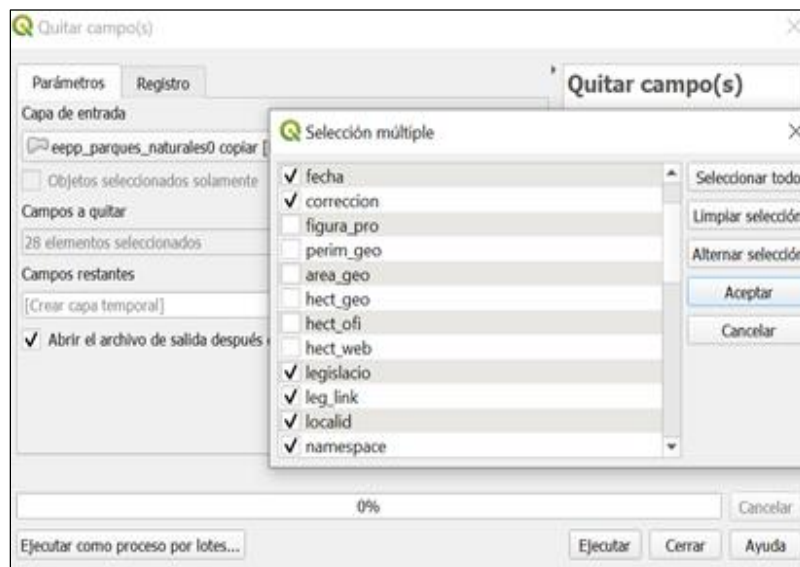


Ilustración 13. Herramienta "Quitar campo(s)" de la tabla de atributos.

Irradiación Horizontal Global (GHI)

En este caso, obtenemos datos de toda España en formato GeoTIFF⁹, por lo que tendremos que recortar la zona que nos interesa usando el contorno de la Comunitat Valenciana.

⁸ http://icv.gva.es/auto/aplicaciones/CatalegBCV05/CatalegCV05_rev_en2018.html#Abastiments

⁹ <https://globalsolaratlas.info/download?c=38.963203,-1.190185,7>

Seguidamente se reclasifican los valores del raster en siete clases diferenciadas. Esta acción es necesaria dado que el raster tiene valores continuos y para transformarlo a vectorial correctamente hay que modificarlo. A continuación, aplicaremos la herramienta *De ráster a polígono* de ArcMap. (Ilustración 14)

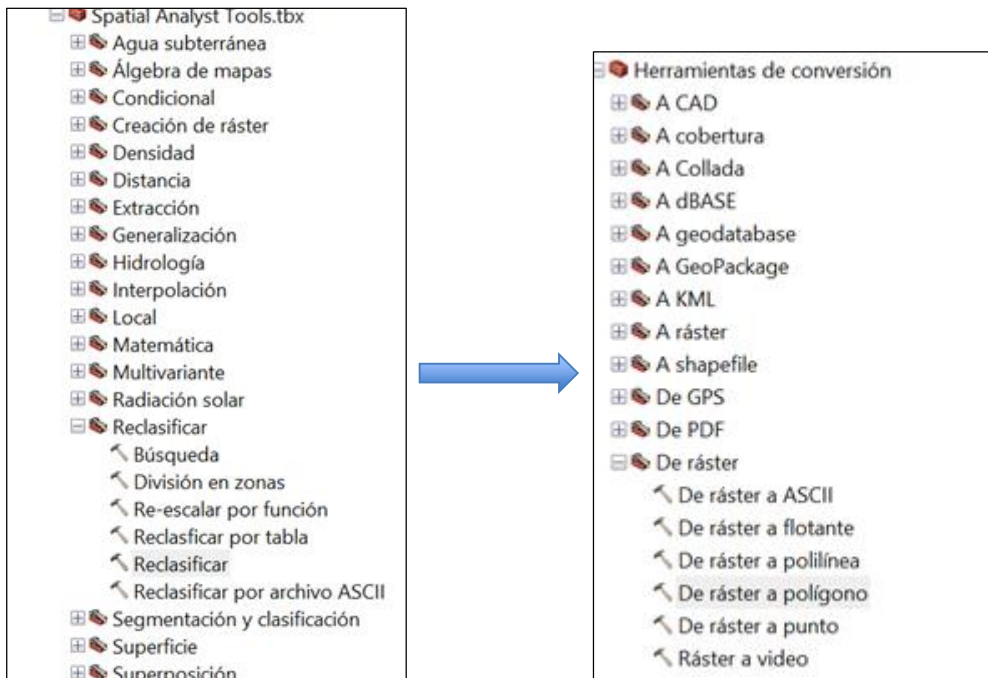


Ilustración 14. Herramientas utilizadas para la transformación de formato raster a vectorial

Por último, aplicamos un *Dissolve* para unificar al máximo los polígonos de igual valor y generar polígonos únicos. También hemos creado un campo nuevo en la tabla de atributos con el intervalo de valores que corresponde a cada clase, dado que no se crea automáticamente. (Ilustración 15 y 16)

Por último, aplicamos un *Dissolve* para unificar al máximo los polígonos de igual valor y generar polígonos únicos. También hemos creado un campo nuevo en la tabla de atributos con el intervalo de valores que corresponde a cada clase, dado que no se crea automáticamente. (Ilustración 15 y 16)

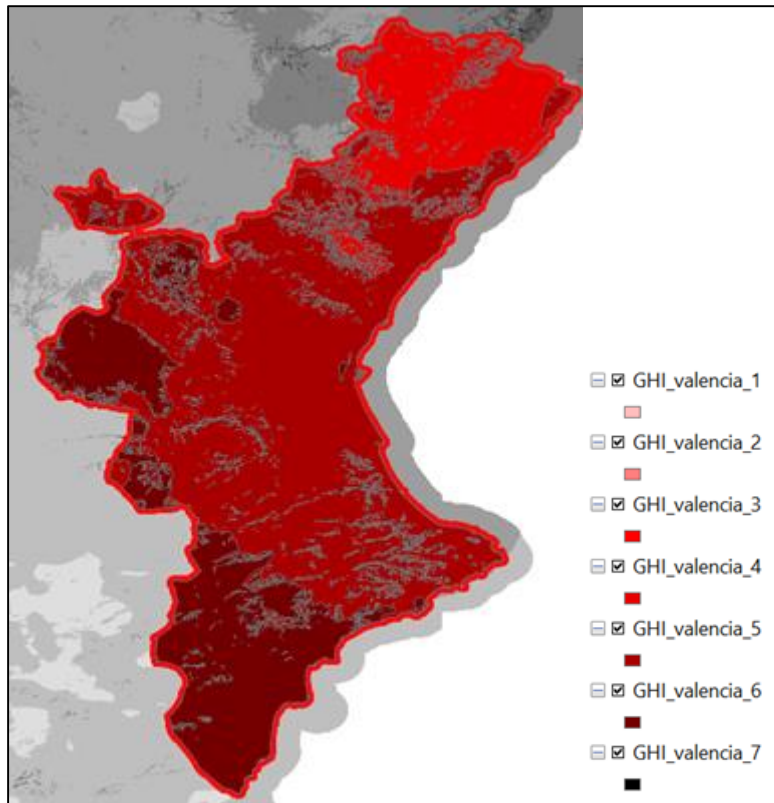


Ilustración 15. Visualización de la irradiación global horizontal en la Comunitat Valenciana.

GHI_Spain_shp_dissolve				
	FID	Shape *	gridcode	value
▶	0	Poligono	1	706.7589722 - 1 240.197373
	1	Poligono	2	1 240.197374 - 1 343.028872
	2	Poligono	3	1 343.028873 - 1 452.287339
	3	Poligono	4	1 452.28734 - 1 561.545807
	4	Poligono	5	1 561.545808 - 1 651.523369
	5	Poligono	6	1 651.52337 - 1 728.646993
	6	Poligono	7	1 728.646994 - 1 805.770617
	7	Poligono	8	1 805.770618 - 1 934.309991
	8	Poligono	9	1 934.309992 - 2 345.635986
	9	Poligono	706	mínimo
	10	Poligono	2345	máximo

Ilustración 16. Tabla de atributos resultante tras la vectorización.

Orientación y pendiente

Partiendo del MDT, malla 10 metros, obtenido del Institut Cartogràfic Valencià, aplicaremos una máscara para conservar únicamente la información referente a la Comunitat Valenciana.

Hecho esto, se aplica la herramienta de análisis espacial de orientación, que identifica la dirección de la pendiente descendente de la tasa de cambio máximo desde cada celda a sus vecinas. Una vez acabado el proceso, se obtiene un raster con los valores de norte, noreste, este, sureste, sur, suroeste, oeste, noroeste y plano. (Ilustración 17)

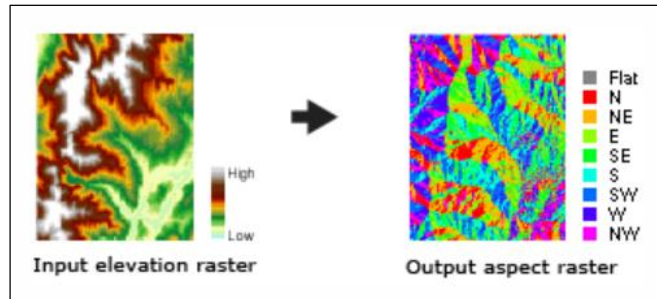


Ilustración 17. Utilización de la herramienta de Orientación

Se detectaron problemas a la hora de aplicar los siguientes geoprocursos debido al tamaño y resolución de la capa, esto sumado a que no es necesaria una resolución tan alta como la existente, hace que se tome la decisión de remuestrearla y cambiarla a 50 metros.

Posteriormente, reclasificamos el raster en tres clases: norte, sur e intermedia o plana. Por último, la transformamos a vectorial y aplicamos un *Dissolve*.

En el caso de la pendiente seguimos los mismos pasos, usando la herramienta de Pendiente. (Ilustración 18)

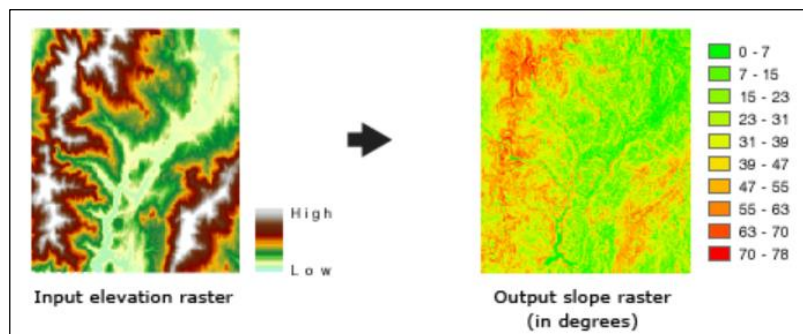


Ilustración 18. Utilización de la herramienta de Pendiente

Generación del mapa de compatibilidad

Metodología

La generación del mapa de zonas compatibles con las centrales fotovoltaicas se realiza en dos fases.

La primera es intentar reproducir el mapa de la legislación valenciana mencionado anteriormente, con las zonas compatibles, condicionadas y prohibidas teniendo en cuenta las restricciones medioambientales.

La siguiente es añadir capas de factores que, más allá de la compatibilidad ambiental, pueden ser beneficiosos o desfavorables para la instalación, obteniendo así un mapa más completo. Estos factores serán la irradiación horizontal, la proximidad a infraestructuras como caminos o líneas eléctricas, la pendiente, la orientación y la clasificación del suelo.

Generación del mapa oficial de compatibilidad

Para generar el mapa de compatibilidad se ha utilizado Pathfinder. Los pasos que se han seguido en la generación del nuevo proyecto (Ilustración 19) han sido los siguientes:

1. Importar el área de trabajo y definir la resolución del mapa en 50 metros.
2. Importar las capas que se estiman relevantes.
3. Asignar un área de influencia a las capas que así lo requieran.
4. Asignar el valor de resistencia por el coste o beneficio que implica cada capa.
5. Calcular el mapa de compatibilidad o mapa de resistencias.
6. Exportar el mapa resultante en formato raster.

En la tabla 4 se pueden ver las áreas de influencia y resistencias, en un rango de -3 a 3 siendo -3 la menor resistencia posible y 3 la mayor, aplicadas a cada capa.

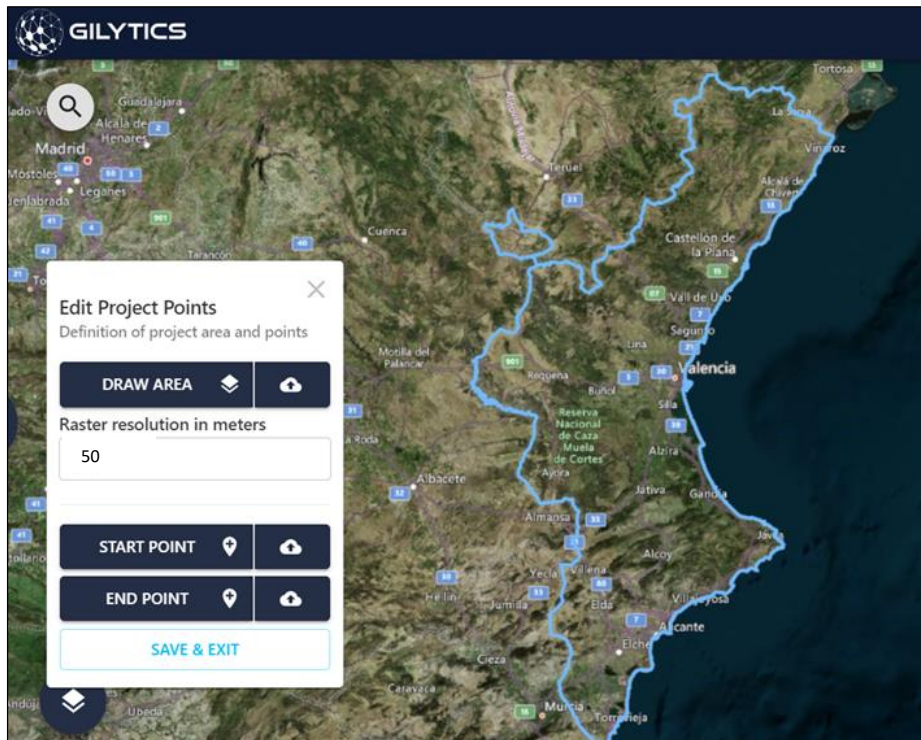


Ilustración 19. Creación del proyecto en Pathfinder.

Categoría	Capa	Buffer	Resistencia	Buffer2	Resistencia2	Buffer3	Resistencia3
Áreas de protección	Corredores ecológicos	-	FB	-	-	-	-
	Elevado valor cultural	-	FB	-	-	-	-
	Espacios de interés paisajístico	-	2	-	-	-	-
	Paisaje protegido	-	FB	-	-	-	-
	Parajes municipales	-	3	-	-	-	-
	Parque natural	-	FB	-	-	-	-
	Parques naturales y micro-reservas	-	FB	-	-	-	-
	RAMSAR (figura de protección internacional)	-	FB	-	-	-	-
	Reserva natural sin planeamiento	-	3	-	-	-	-

	Suelo forestal estratégico del PATFOR	-	2	-	-	-	-
	ZEPA y ZEC zonificación A-B	-	FB	-	-	-	-
	ZEPA y ZEC zonificación C-D	-	3	-	-	-	-
	Vías pecuarias	-	FB	-	-	-	-
	Áreas delimitadas por el planeamiento territorial	-	2	-	-	-	-
Hidrología	Cauces bf50	-	FB	-	-	-	-
	zonas húmedas	-	FB	-	-	-	-
Riesgos	Peligro de inundación del PATRICOVA nivel 1a4	3	-	-	-	-	-
	Peligro de inundación del PATRICOVA nivel 5a7	0	-	-	-	-	-

	Riesgos	-	FB	-	-	-	-
--	---------	---	----	---	---	---	---

Tabla 4. Tabla de resistencias y áreas de influencia utilizadas en Pathfinder para generar el mapa oficial de compatibilidad. Valores entre -3 y 3, FB=Prohibido.

En una primera fase, se ha reproducido el mapa que se incluye en la legislación con las zonas con protección medioambiental con Pathfinder. De esta forma, se ha podido comprobar que la herramienta es efectiva, ya que se dispone del mapa original para la comparación del raster resultante (Ilustración 20).

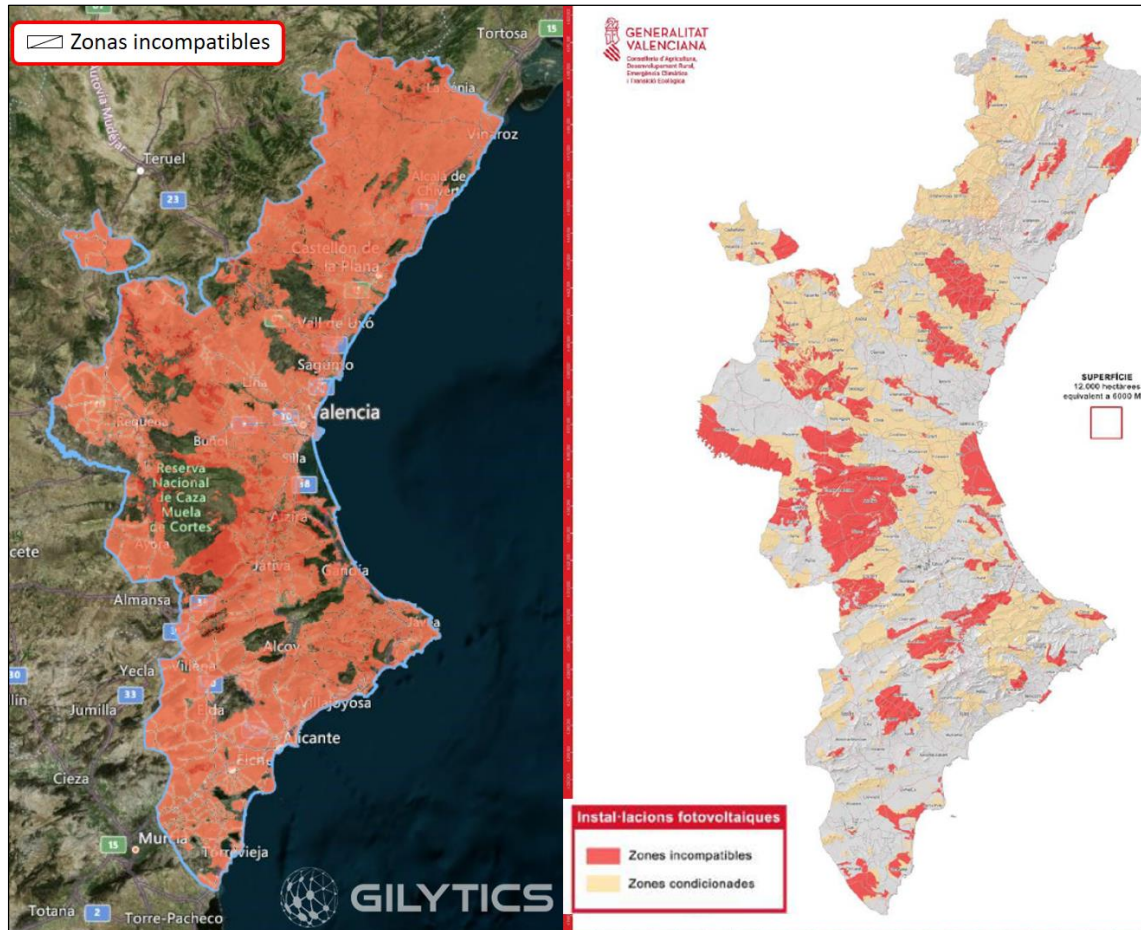


Ilustración 20. Reproducción del mapa de compatibilidad medioambiental. Mapa generado en Pathfinder (izq.), mapa extraído de la legislación vigente (dcha.)

Generación del mapa de idoneidad con factores adicionales

Una vez hecha esta comprobación con el mapa oficial, se han añadido los datos espaciales adicionales para realizar un mapa más completo y complejo de compatibilidad. (Ilustración 21)

En el caso del ferrocarril y equipamiento energético, tal como oleoductos y gasoductos, se ha estimado necesario especificar que la instalación de placas fotovoltaicas ha de respetar la

continuidad de estas construcciones. En el caso de las carreteras, caminos y tendido eléctrico también se ha tenido en cuenta la no rotura de estas infraestructuras, pero siendo conocedores de las ventajas que subyacen del hecho de ubicar las centrales próximas a estos, se da prioridad a las zonas colindantes. Estas ventajas son en el caso de las vías de comunicación facilitar el acceso, evitar tener que crear nuevas vías de acceso o reducir la longitud de estas; y en cuanto a las líneas eléctricas, nos facilitan la conexión a la red.

Otros factores relevantes en cuanto a eficiencia y construcción son la orientación, la pendiente y la litología. Idealmente se han de buscar zonas con orientación Sur, ya que tendremos más horas de sol. La pendiente, cuanto menos pronunciada mejor, por lo que se ha dividido en tres rangos que van de menor del 5%, entre 5 y 25% y más del 25% de inclinación, evitando así las pendientes muy pronunciadas y dando prioridad a zonas llanas. En cuanto a la litología se refiere, es importante definir los materiales a evitar por ser más inestables, como la arcilla.

Se ha tenido en cuenta la irradiación y potencial fotovoltaico del territorio para determinar las zonas óptimas. Se han añadido ya que, a más irradiación y potencial fotovoltaico, mayor potencia generada por panel solar.

Finalmente, se considera que no puede instalarse ninguna central en suelo urbano por el uso que se le da al mismo, destinado a viviendas.

En la tabla 5 se puede ver un resumen de los pesos y áreas de influencia utilizados en cada uno de los datos adicionales.

Categoría	Capa	Buffer	Resistencia	Buffer2	Resistencia2	Buffer3	Resistencia3
Vías de comunicación	Ferrocarril	20	FB	100	2	-	-
	Tramo vial	25	FB	500	-1	1000	-1
Litología	Arcillas	-	3	-	-	-	-
Clasificación del suelo	Suelo Urbano	-	FB	-	-	-	-
Equipamiento energético	gasoducto	2	FB	-	-	-	-
	líneas eléctricas	2	FB	500	-3	500	-2

	oleoductos	2	FB	-	-	-	-
	tensión menos 66kw	-	-	-	-	-	-
	tensión 132kv	-	-	-	-	-	-
	tensión 220kw	-	-	-	-	-	-
	tensión 400kw	-	-	-	-	-	-
	tensión 66kw	-	-	-	-	-	-
Usos del suelo	Usos del suelo	-	0	-	-	-	-

Irradiación global horizontal	706.76 - 1240.20	-	3	-	-	-	-
	1240.20 - 1343.03	-	0	-	-	-	-
	1343.03 - 1452.29	-	0	-	-	-	-
	1452.29 - 1561.54	-	0	-	-	-	-
	1561.54 - 1651.52	-	-1	-	-	-	-
	1651.52 - 1728.65	-	-2	-	-	-	-
	1728.65 - 1805.77	-	-3	-	-	-	-

	1805.77 - 1934.31	-	-3	-	-	-	-
Potencial fotovoltaico	1184.86 - 1280.14	-	0	-	-	-	-
	1280.14 - 1381.03	-	0	-	-	-	-
	1381.03 - 1481.92	-	0	-	-	-	-
	1481.92 - 1560.38	-	-1	-	-	-	-
	1560.38 - 1616.43	-	-2	-	-	-	-
	1616.43 - 1666.87	-	-3	-	-	-	-

	1666.87 - 1728.53	-	-3	-	-	-	-
Pendiente	< 5%	-	-2	-	-	-	-
	5% - 25%	-	-1	-	-	-	-
	> 25%	-	3	-	-	-	-
Orientación	Norte	-	1	-	-	-	-
	Sur	-	-1	-	-	-	-

Tabla 5. Tabla de resistencias y áreas de influencia de los factores adicionales utilizados en Pathfinder para generar el mapa de compatibilidad completo. Valores entre -3 y 3, FB=Prohibido.

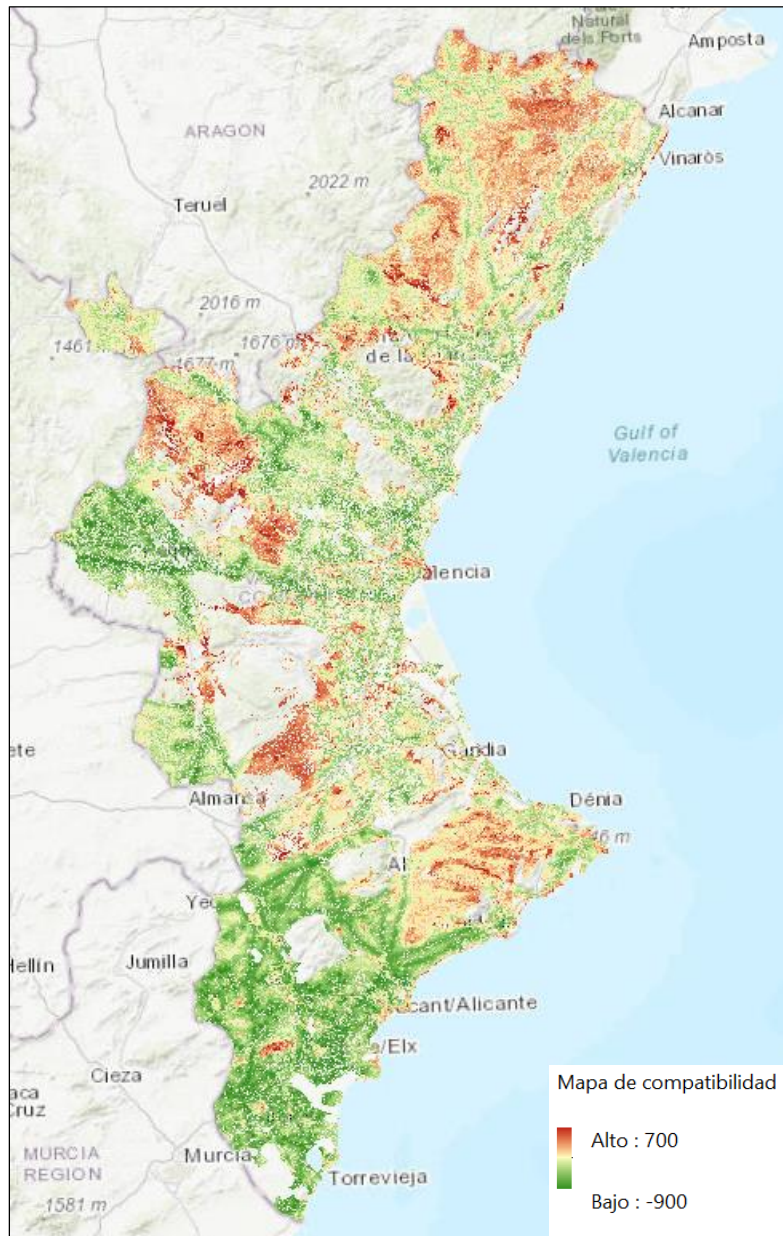


Ilustración 21. Mapa de compatibilidad completado con información adicional y exportado de Pathfinder.

Geoprocesos

Determinar áreas óptimas potenciales

El objetivo de esta sección es extraer en forma vectorial las zonas óptimas para el emplazamiento de una central fotovoltaica, teniendo en cuenta un porcentaje de tolerancia asignado por el usuario sobre el mapa de compatibilidad. Este geoproceso se desarrolla como una herramienta para ArcMap utilizando el paquete *arcpy* con el lenguaje Python.

El script, que se adjunta en el anexo I, funciona de la siguiente manera:

1. Accede al raster del mapa de compatibilidad.
2. Recorta de dicho ráster el área donde interesaría a priori ubicar la planta.
3. Reclasifica los valores de este recorte, asignando el valor 1 a los píxeles con valores dentro de la tolerancia que hemos definido, y el valor 2 a los que quedan fuera.
4. Convierte la capa de ráster a vectorial, con un atributo *gridcode* correspondiente al valor.
5. Selecciona los elementos cuyo atributo *gridcode* tenga valor 1 y crea una capa nueva con esta selección.

Tras esto, añadimos el script a la *Toolbox* para poder ejecutarlo desde de ArcMap. Se tendrán que introducir tres inputs, que serán el mapa de compatibilidad, el área de interés y el porcentaje de tolerancia para el mapa de resistencia que consideramos óptimo. (Ilustración 22, 23 y 25)

Como resultado obtenemos una capa nueva con todas las áreas con un valor de resistencia dentro de la tolerancia escogida. Así se consigue acotar mejor las zonas óptimas una vez se ha realizado un primer cribado con el mapa de compatibilidad. Las ilustraciones 24 y 26 muestran los resultados de este geoproceso, con la capa vectorial en color azul para dos porcentajes de tolerancia diferentes.

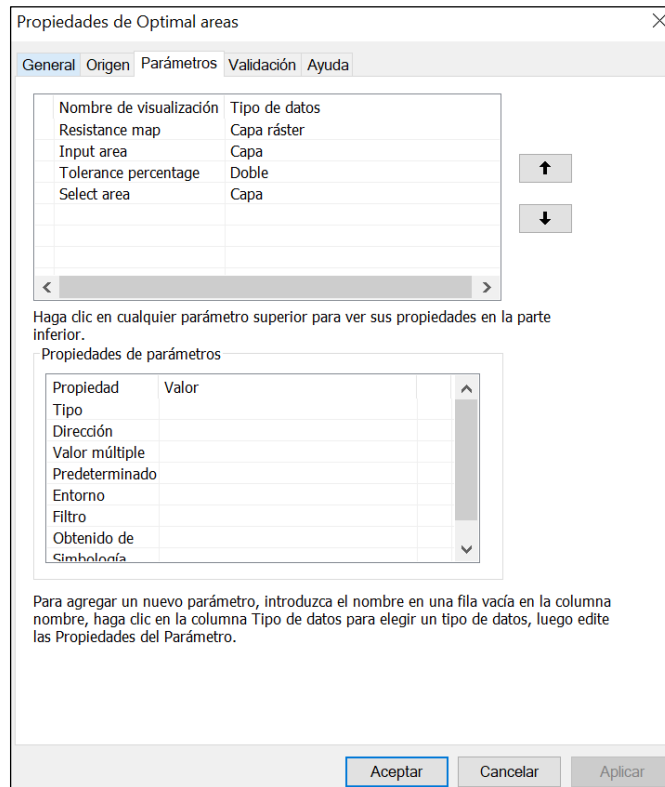


Ilustración 22. Implementar herramienta desarrollada en ArcMap

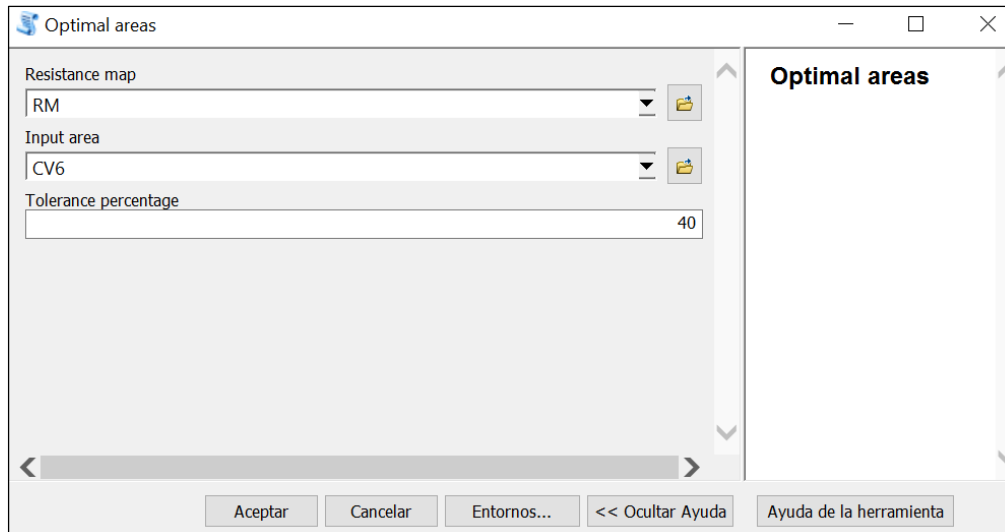


Ilustración 23. Utilización de la herramienta desarrollada "Áreas óptimas" (1)

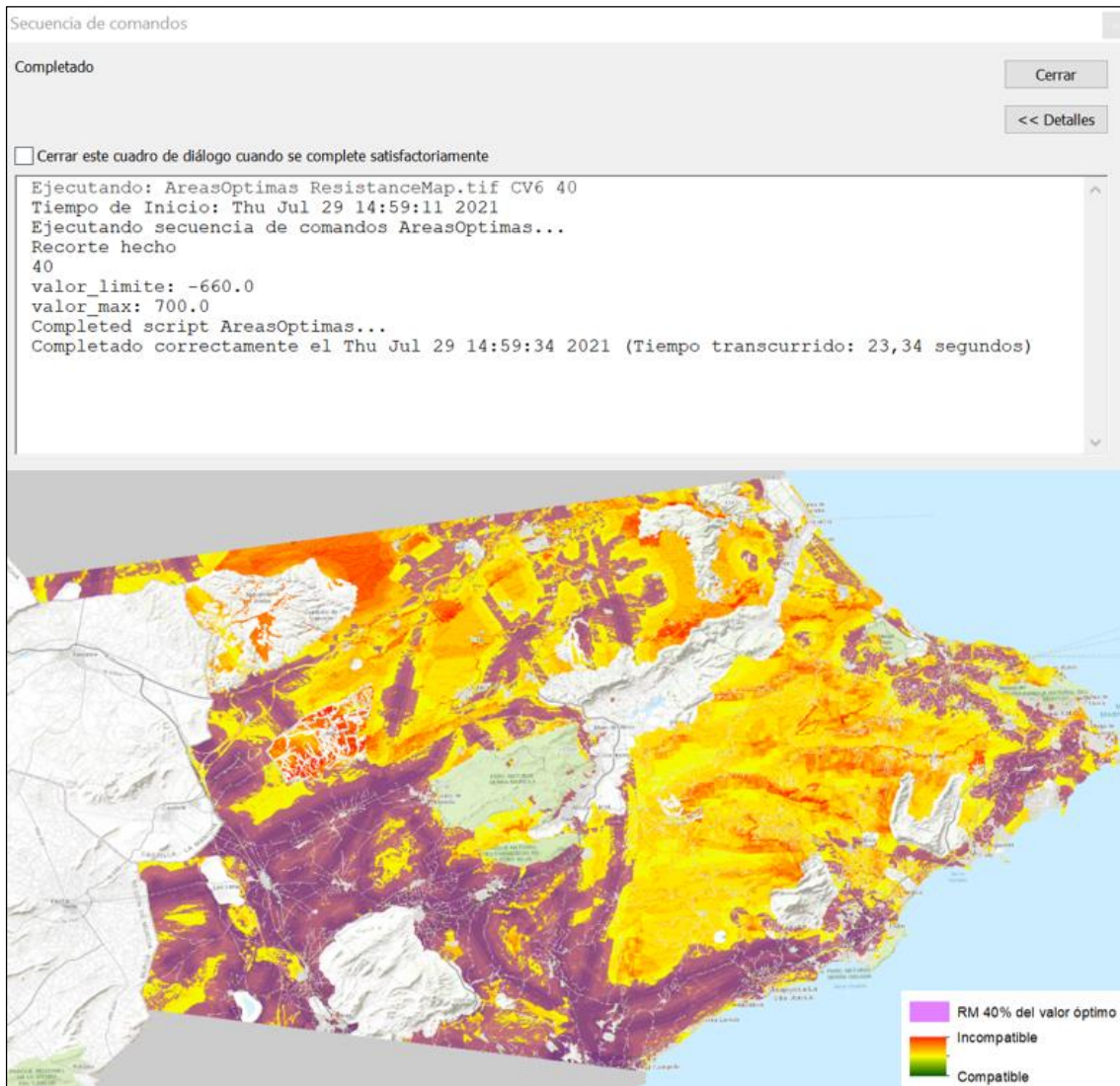


Ilustración 24. Resultado del uso de la herramienta "Áreas óptimas"(1)

Optimal areas

Resistance map
 RM

Input area
 CV6

Tolerance percentage
 30

Ilustración 25. Utilización de la herramienta desarrollada "Áreas óptimas" (2)

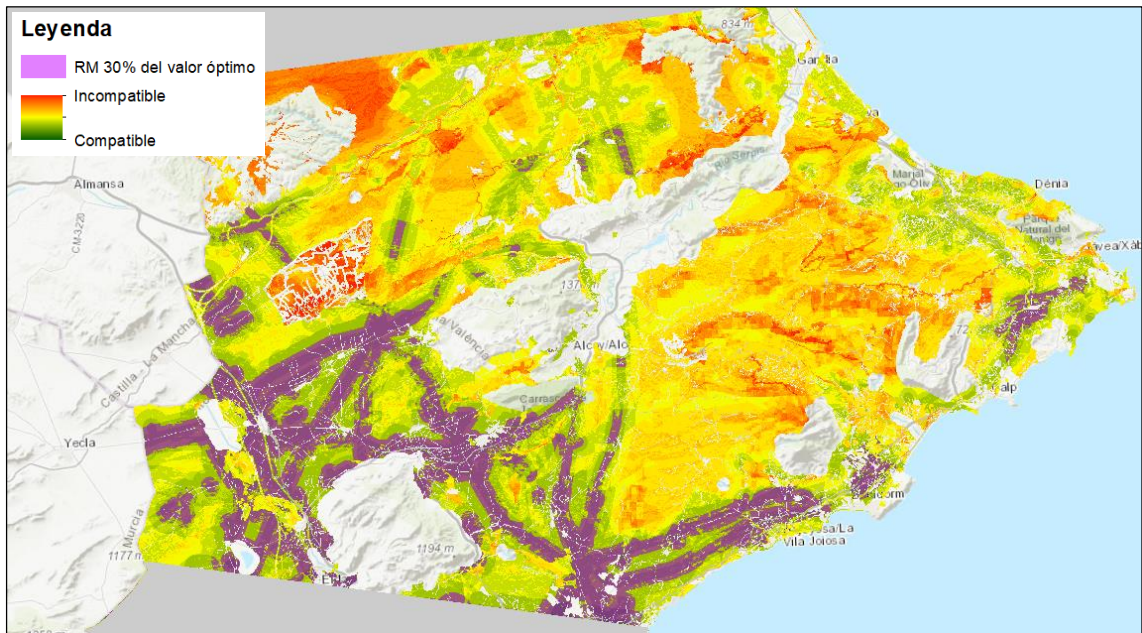


Ilustración 26. Resultado del uso de la herramienta "Áreas óptimas"(2)

Cálculo del área para planta fotovoltaica según la potencia

En base a las zonas de mejor compatibilidad obtenidas anteriormente, se desea implementar una herramienta que, a partir de un punto escogido para la ubicación de la central fotovoltaica (Ilustración 27 y 30), calcule el área necesaria para obtener una potencia determinada (anexo II).

Este cálculo se realizará recorriendo, a partir del píxel central, avanzando en forma de espiral y sumando los valores de irradiación de cada celda válida (ilustraciones 28, 29, 31 y 32).

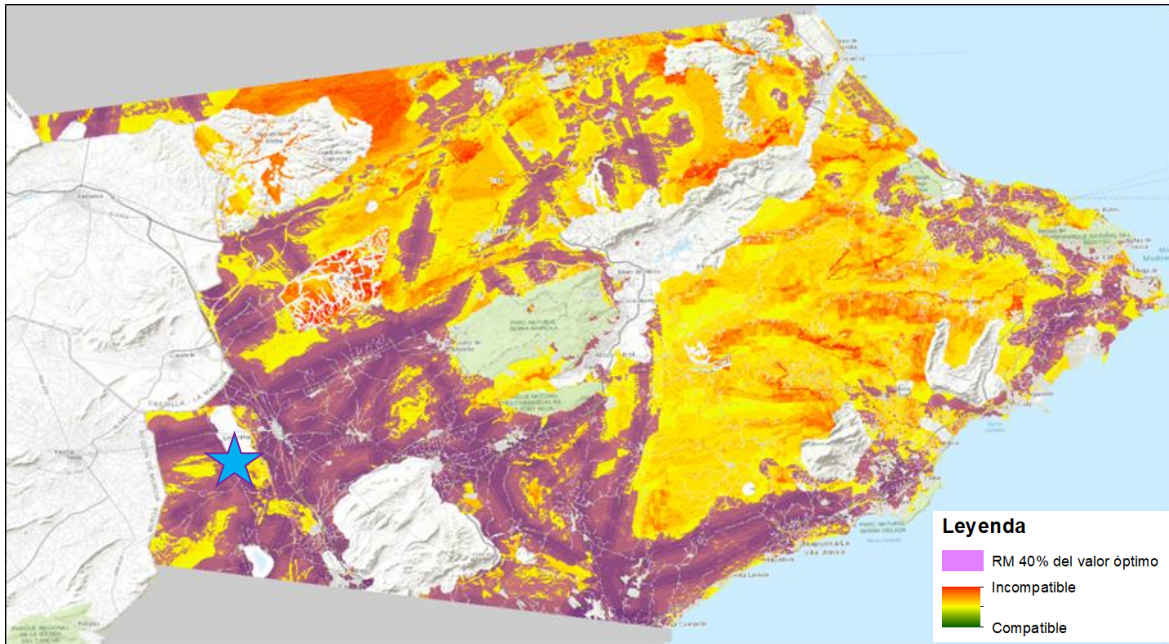


Ilustración 27. Escogemos una ubicación para la planta fotovoltaica apoyándonos en el resultado de la herramienta “Áreas óptimas” con un porcentaje de tolerancia del 40%, señalada en la ilustración con una estrella.

A partir del punto escogido, se determina el píxel central de la vista del proyecto, siempre y cuando tenga un valor válido, y se van recorriendo los píxeles en forma de espiral. A medida que el proceso avanza, se extraen valores de la capa de irradiación para, aplicando la fórmula de potencia objetivo¹⁰, sumar estos valores hasta que alcance el valor de la potencia objetivo. Se entiende por píxel válido aquel que se encuentra en una zona donde se pueden ubicar los paneles solares, es decir, que no tenga un valor nulo (prohibido) y que dicho valor se encuentre dentro del rango que hemos definido como óptimo.

Para el cálculo de la potencia que se desea producir, se ha utilizado una fórmula que tiene en cuenta el área, la irradiación y factores de los paneles solares que influyen en su eficiencia para determinar la potencia por píxel (1).

$$P = \frac{A*r*H*PR}{h} \quad (1)$$

¹⁰ <https://photovoltaic-software.com/principle-ressources/how-calculate-solar-energy-power-pv-systems>

P = potencia que se desea generar.

A = área total en metros cuadrados de cada píxel.

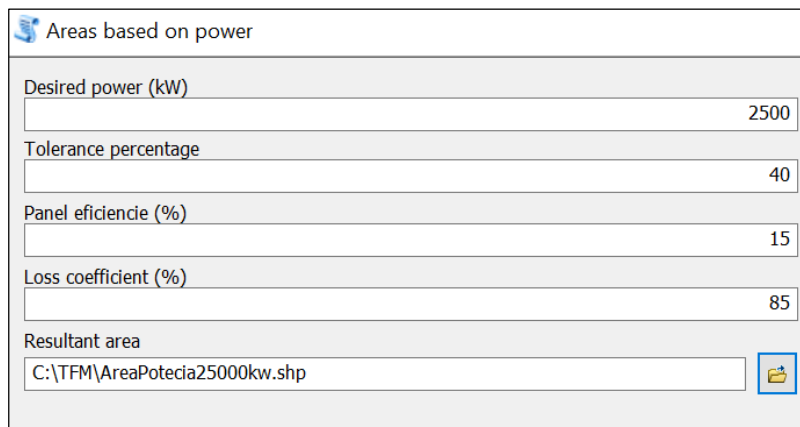
r = eficiencia del panel teniendo en cuenta factores ambientales.

H = irradiación solar anual.

PR = coeficiente de pérdidas del panel. Valor entre el 50% y el 90%.

h = horas en un año.

El último paso del geoproceso consiste en convertir a polígonos el área calculada en formato raster.



Areas based on power	
Desired power (kW)	2500
Tolerance percentage	40
Panel eficiencia (%)	15
Loss coefficient (%)	85
Resultant area	C:\TFM\AreaPotencia25000kw.shp

Ilustración 28. Utilización de la herramienta desarrollada "Áreas según potencia (KW)" (1)

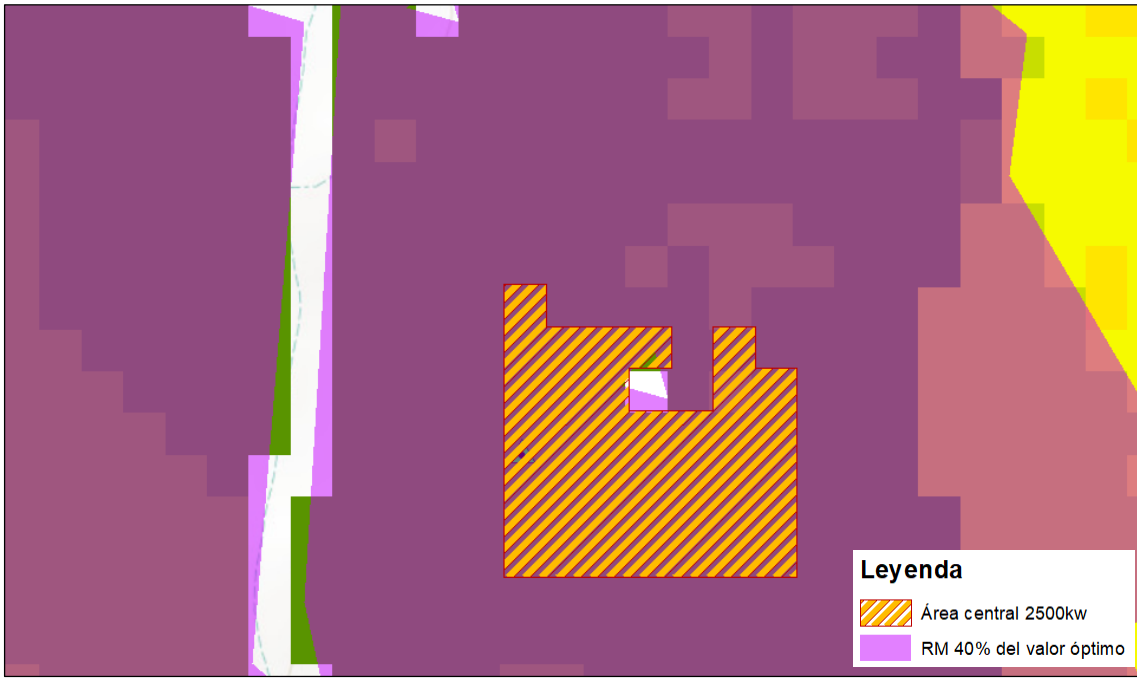


Ilustración 29. Resultado de la utilización de la herramienta "Áreas según potencia (kW)" (1)

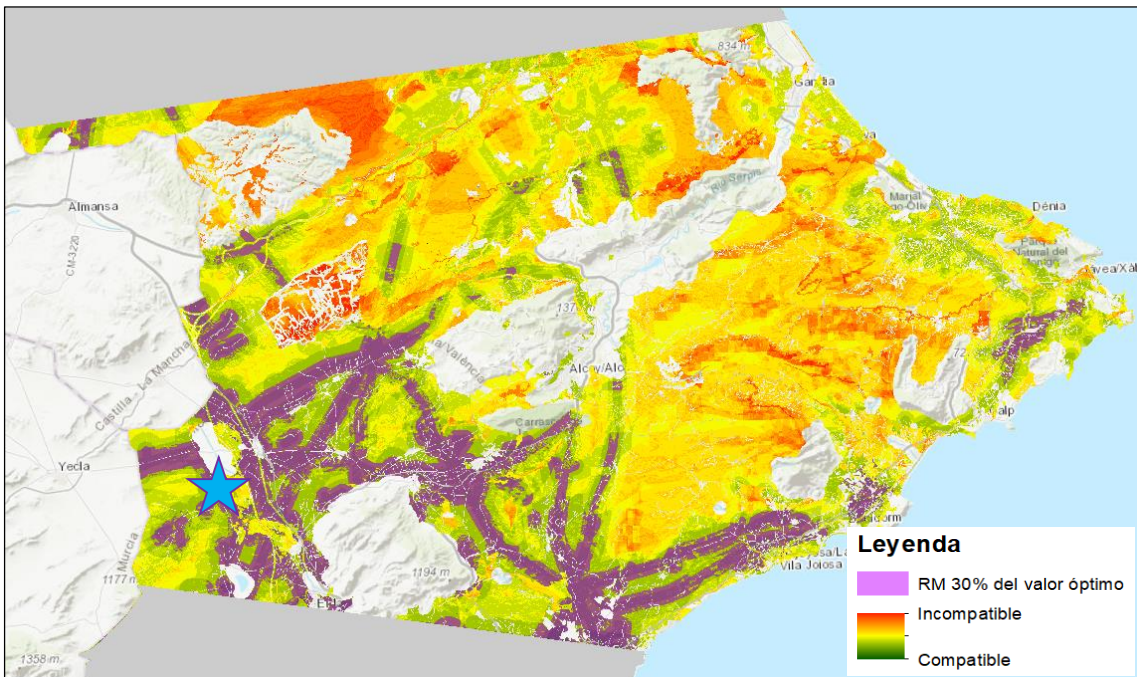


Ilustración 30. Escogemos una ubicación para la planta fotovoltaica apoyándonos en el resultado de la herramienta "Áreas óptimas" con un porcentaje de tolerancia del 30%, señalada en la ilustración con una estrella.

Areas based on power	
Desired power (kW)	10000
Tolerance percentage	30
Panel eficiencia (%)	15
Loss coefficient (%)	85
Resultant area	C:\TFM\AreaPotecia10000kw.shp

Ilustración 31. Utilización de la herramienta desarrollada "Áreas según potencia (kW)" (2)



Ilustración 32. Resultado de la utilización de la herramienta "Áreas según potencia (kW)" (2)

Ejemplo de conexión a la red

Definida la ubicación de la planta de energía solar, se utiliza el software Pathfinder para calcular el camino óptimo que permitiría su conexión a la red de líneas eléctricas.

Para el cálculo de las rutas, los pasos a seguir son muy similares a los realizados en un primer momento para calcular el mapa de compatibilidad, pero modificando algunas resistencias asociadas a capas que no influyen de igual forma para la ubicación de la central que para su conexión a la red. Es el caso de la irradiación y la orientación del terreno, que no resultan relevantes. A las capas que no resultan relevantes se les asigna un valor especial de resistencia NC (*Not Considered*).

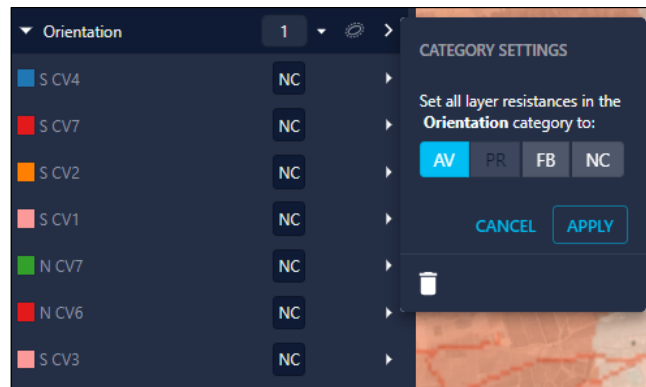


Ilustración 33. Cambio del valor de las capas necesarias a “Not considered”

Una vez hemos cambiado y/o añadido las capas necesarias, hay que definir un punto inicial, que será la central, y un punto final, el de conexión a la red. En nuestro caso, crearemos **tres escenarios** con tres posibles puntos de conexión a la red para evaluar cuál es el más óptimo (ilustración 40).



Ilustración 34. Definición del punto inicial -central fotovoltaica- y punto final -conexión a la red.

Una vez realizados estos cambios, se realiza el cálculo del mapa de resistencia y los corredores que nos señalan las mejores zonas para la conexión y los caminos óptimos para cada escenario (ilustraciones 35 a 38).

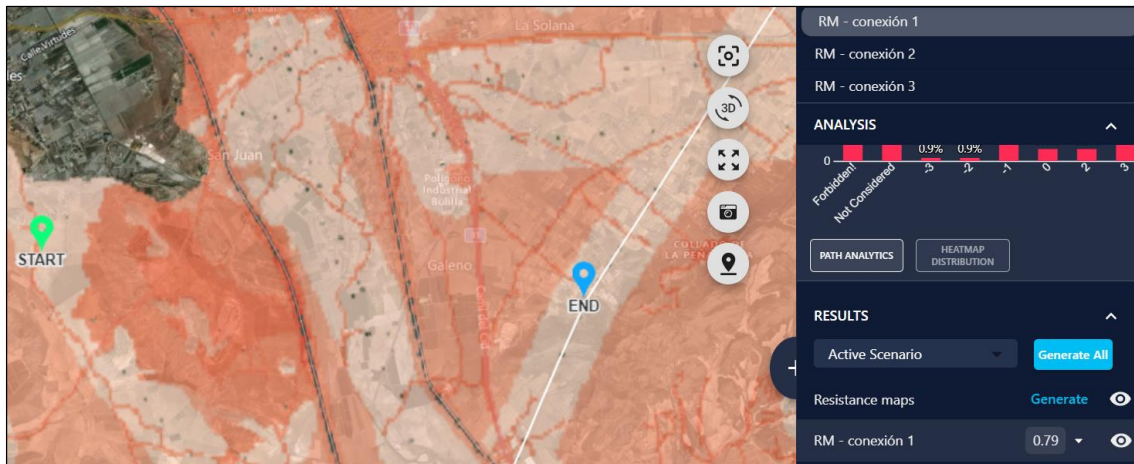


Ilustración 35. Mapa de resistencia del escenario n°1

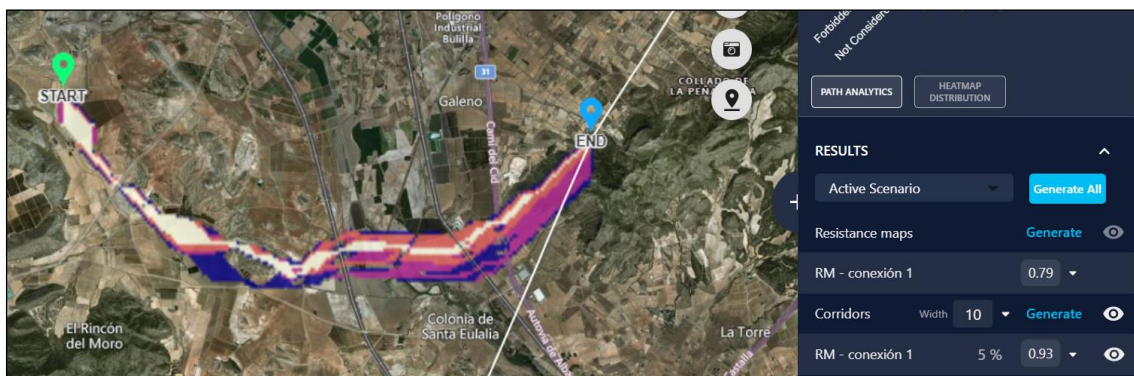


Ilustración 36. Corredor del escenario n°1

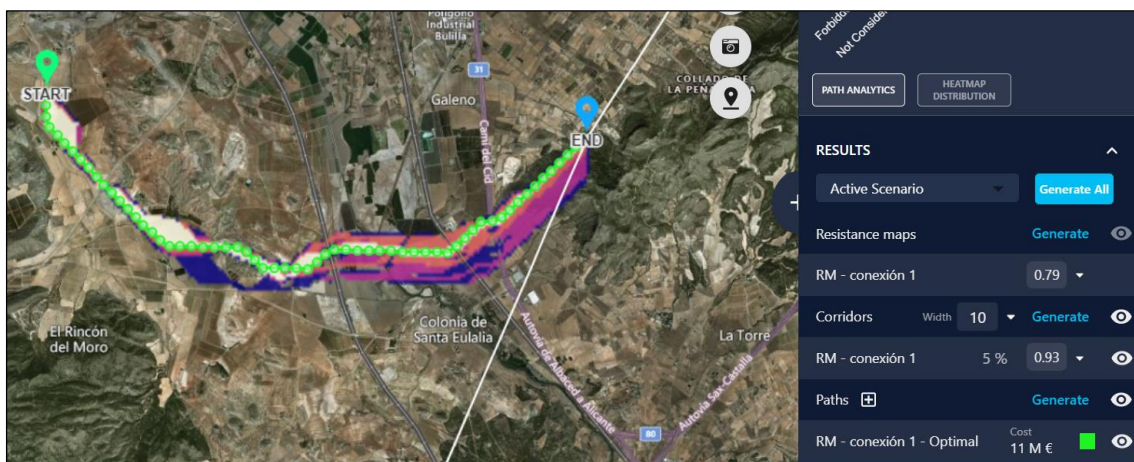


Ilustración 37. Camino óptimo escenario n°1

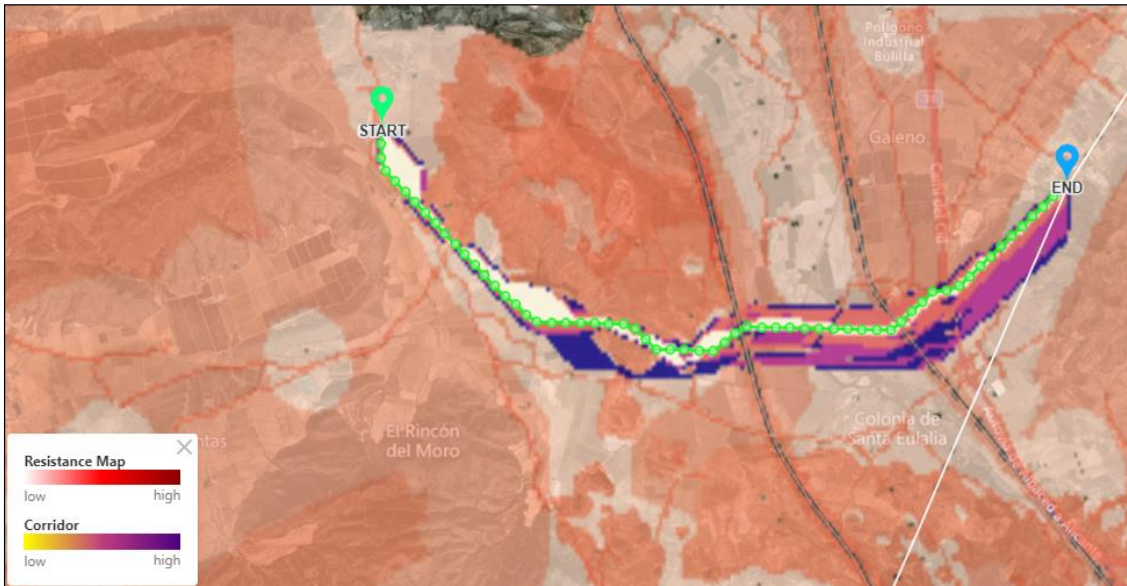


Ilustración 38. Mapa de resistencia, corredores y camino óptimo resultantes del escenario n°1

Otra funcionalidad de la herramienta Pathfinder es el cálculo aproximado del coste monetario de cada ruta de conexión. Se puede asignar un valor base por kilómetro y un coste adicional para capas específicas, lo que da lugar al informe de coste (ilustración 39).

Monetary cost			
Slope multipliers: This path does not have slope multipliers information			
Item	Path length (m)	Price per km(EUR)	Final price(EUR)
Full Base Path	8,850	1,100,000	9,735,000
1616.436248 - 1666.879415	1,650	0	0
1651.52 - 1728.65	150	0	0
1666.879416 - 1728.532175	7,200	0	0
1728.65 - 1805.77	8,700	0	0
706.76 - 1 240.20	8,850	0	0
Clay	200	250,000	50,000
Danger of flooding level 5 to 7 PATRICOVA	4,800	200,000	960,000
Electrical lines	250	0	0
ferrocarril	50	0	0
N_CV6	1,250	0	0
Power line, less than 66kw	250	0	0
rt_tramo_via_A6	250	0	0
Territorial corridors	3,300	0	0
TOTAL COST			10,745,000

Ilustración 39. Coste aproximado del escenario n°1

Pathfinder permite la comparación entre las diferentes rutas de una forma muy intuitiva y visual, y también de sus longitudes y costes (Ilustración 41)

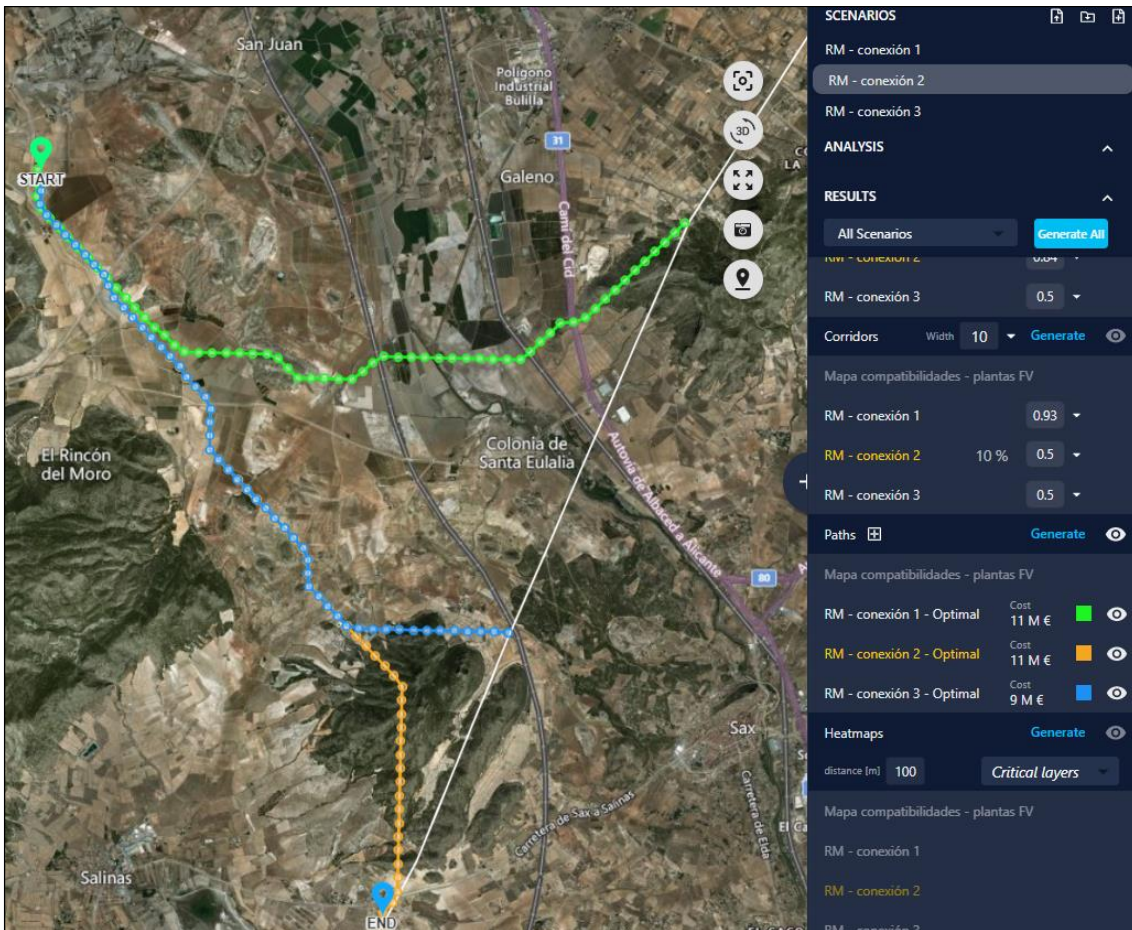


Ilustración 40. Comparación entre los tres escenarios generados

Path Cost Summary		
Path	Path length (km)	Price (EUR)
RM - connection 1 A	10.46	10,745,000
RM - connection 2 A	11.46	10,967,500
RM - connection 3 A	9.35	9,102,500

Ilustración 41. Comparación de longitud y costes por escenario generado

10. Resultados

A lo largo del presente trabajo se han ido obteniendo resultados intermedios, en algunas ocasiones útiles para continuar con apartados siguientes y en otros casos resultados finales, los cuales se sintetizan a continuación.

Uno de los objetivos buscados ha sido reproducir correctamente el mapa de protección ambiental de la legislación valenciana y, además, completarlo añadiendo otros factores relevantes. Este propósito se ha cumplido, obteniéndose dos mapas de compatibilidad mediante la combinación de capas vectoriales con diferentes pesos (resistencias) y zonas de influencia. Como se ha podido observar, al añadir restricciones espaciales más allá de las ambientales, resulta un mapa con las zonas compatibles, incompatibles y condicionadas más completo que el proporcionado por la legislación vigente para evaluar la idoneidad final de las instalaciones. En él se observa que las regiones más adecuadas para la instalación de estas centrales fotovoltaicas se encuentran en la provincia de Alicante y el interior de la provincia de Valencia.

Así mismo, se ha desarrollado un script que, partiendo del mapa de compatibilidad, selecciona las zonas óptimas para emplazar las centrales fotovoltaicas, generando una nueva capa poligonal con las áreas cuyos valores de resistencia se encuentran dentro de una tolerancia marcada por el usuario. Con esto conseguimos acotar los lugares más próximos al coste óptimo.

Se obtiene también otra capa poligonal a partir de un segundo script, con el área necesaria para alcanzar la potencia deseada por el usuario a partir de una posición central seleccionada por este.

Por otro lado, se ha simulado la conexión de la central fotovoltaica a la red eléctrica con el software Pathfinder. Dado que se han definido tres puntos posibles para la conexión a la red, obtenemos tres resultados diferentes fácilmente comparables tanto en el mapa como con los informes resultantes. Así sabemos que la infraestructura más económica resulta en la tercera opción de conexión (ilustración 42).

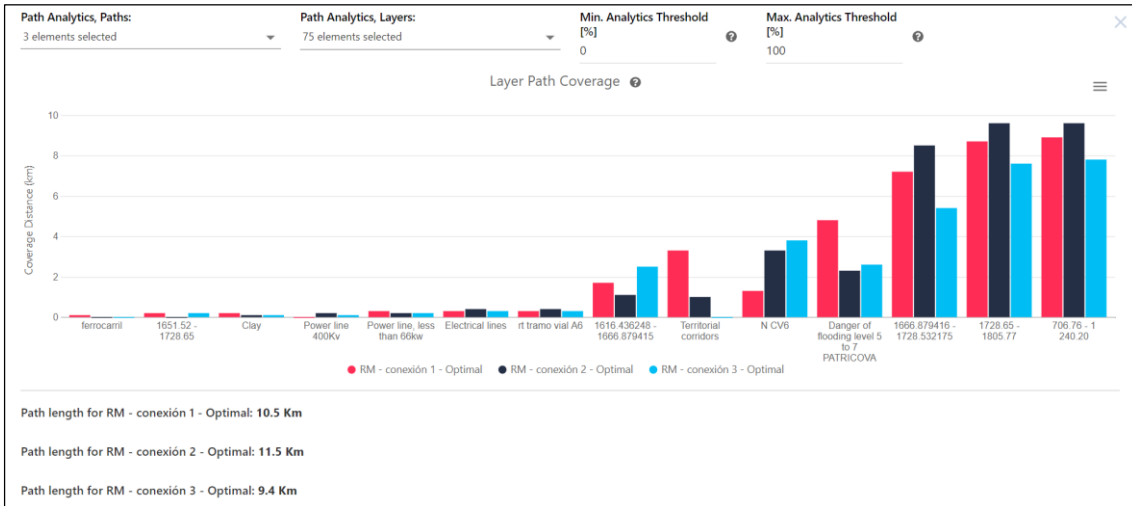


Ilustración 42. Comparación de resultados entre los tres escenarios propuestos.

11. Presupuesto

Se detalla a continuación el presupuesto necesario para la realización de este trabajo. Al tratarse del desarrollo de una metodología, los costes se centran en las licencias del software utilizado, el material informático y los recursos humanos necesarios para llevar a cabo el análisis.

Coste personal

Los recursos humanos necesarios para la elaboración del trabajo se han calculado según la expresión de la ilustración 43.

$$\text{Coste (€)} = \text{Coste hora} \left(\frac{\text{€}}{\text{h}} \right) \times \text{Horas dedicadas (h)}$$

Ilustración 43. Fórmula de coste de mano de obra

Las retribuciones del personal estarán constituidas por el salario base y complementos del mismo, los cuales son costes de la seguridad social e indemnizaciones y costes indirectos que puedan suceder.

Para el cálculo del coste de una hora de trabajo para un trabajador con la titulación que este máster otorga, se ha empleado la información de las tarifas recomendadas del salario base en el BOE nº253, para el grupo profesional nivel II. Asigna a las personas trabajadoras, en jornada completa, el salario mínimo garantizado anual de 18.074'56€ brutos para el año 2021, 1736 horas de trabajo por 217 días, 10'41 €/h, al cual se le descuenta el 6.35% de cotización y el 5% del IRPF. (tabla 6)

	Importe €/año	Importe €/h
Sueldo base	18074'56	10'41
Cotización	-1296'96	-0.74
IRPF	-1021'21	-0.58
Total	15.756'39	9'09

Tabla 6. Coste recursos humanos.

Así, teniendo en cuenta las horas invertidas para cada proceso del proyecto, se obtiene lo especificado en la tabla 7.

Tarea	Horas	Precio (€/h)	Coste parcial (€)
Documentación	45.00	9.09	409.05
Búsqueda de datos cartográficos	24.00		218.16
Instalación softwares	2.00		18.18
Reproducción del mapa de compatibilidad oficial	4.00		36.36
Generación del mapa de idoneidad	1.00		9.09
Desarrollo geoproceto "Áreas potenciales"	40.00		363.6
Desarrollo geoproceto "Área basada en la potencia deseada"	80.00		727.2
Conexión central fotovoltaica con la red eléctrica	1.00		9.09
TOTAL			1790.73

Tabla 7. Coste desglosado de cada proceso que compone el trabajo

Material

El coste de la amortización del material empleado, ordenador y softwares, se usa la fórmula:

$$\text{Coste (€)} = \text{Precio} \times \frac{\text{meses de uso}}{12 \text{ meses}} \times \frac{1}{\text{Periodo de amortización (años)}}$$

Ilustración 44. Fórmula del cálculo del coste del material.

El periodo de amortiguación para un equipo informático son 5 años, ya que se encuentra por debajo de 25000€. Por lo tanto, el coste del material empleado es el que se muestra en la tabla 8.

Concepto	Precio	Meses de uso	Periodo de amortización en años	Unidades	Coste (€)
Ordenador	1300	5	5	1	108.33
Software QGIS	0	5	5	1	0
Software ArcMap	10000	5	5	1	833.33
Software Pathfinder	10000	5	5	1	833.33
Total					1775

Tabla 8. Costes materiales (Precio en caso de las licencias es €/año)

Resumen del presupuesto

Tras tener en cuenta todos los costes, el presupuesto total del presente trabajo es de 3090.73€ (Tabla 9)

Concepto	Coste (€)
Recursos humanos	1790.73
Material	1300
Total	3090.73

Tabla 9. Resumen del presupuesto

12. Conclusiones

Se ha conseguido el objetivo principal de este proyecto, crear una metodología GIS para la óptima localización de plantas fotovoltaicas en la Comunidad Valenciana, aunque es extensible a otras zonas del mundo, así como los objetivos específicos fijados.

Como primer paso, se ha validado la metodología para crear un **mapa de compatibilidad**, haciendo un estudio previo del estado de la industria y de los elementos influyentes, así como un repaso a la **legislación** actual, analizando las leyes vigentes en la Comunitat Valenciana, nuestra área de estudio, y la legislación a nivel estatal y autonómico sobre la energía y economía. Afortunadamente, en Europa se apuesta por un incremento en el uso de energías renovables, por lo que España va en la misma dirección. Si bien a nivel estatal existe el Real Decreto-Ley 23/2020, de 23 de junio, *por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica*, en la Comunitat, con fecha del 7 de agosto de 2020, se redactó el Decreto-Ley 14/2020 *de medidas para acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de la energías renovables por la emergencia climática y la necesidad urgente de reactivación económica*, en el cual hemos encontrado descrita de forma muy clara las limitaciones a nivel ambiental y se ha reafirmado la idea de cuán importante es continuar en la línea de investigación y desarrollo de las energías tanto fotovoltaica como eólica.

Seguidamente, hemos obtenido los **datos** espaciales necesarios para el estudio de compatibilidad a partir de diferentes plataformas que ofrecen datos abiertos, tanto a nivel nacional como autonómico. En España encontramos una gran cantidad de datos libres, lo cual facilita la búsqueda de los mismos. Una vez tratados para amoldarlos a nuestras necesidades con un GIS de escritorio, hemos reproducido el mapa de compatibilidad existente en la legislación, utilizando el software Pathfinder, desarrollado por Gilytics, para comprobar que efectivamente tanto los datos como la funcionalidad de la herramienta son correctos. El resultado ha sido satisfactorio, ya que se ha conseguido la reproducción del mapa oficial con éxito.

Una vez reproducido el mapa de compatibilidad ambiental, se han añadido otros elementos relevantes para la ubicación óptima de una planta de energía solar, tales como la irradiación

solar, la pendiente, la orientación y la proximidad a vías de comunicación, obteniendo así el mapa final de **idoneidad** en formato raster que se ha utilizado en pasos posteriores.

Dado que en el visor cartográfico del ICV tenemos acceso a los proyectos de centrales fotovoltaicas que se encuentran en trámite, ha sido posible realizar una comparación entre el mapa de idoneidad generado y la localización solicitada para dichas plantas fotovoltaicas. Si bien se han encontrado proyectos en zonas no compatibles en el mapa oficial, en su gran mayoría coinciden con las zonas recomendables según el mapa de idoneidad, lo cual permite concluir la validez del estudio realizado.

Para refinar el proceso de selección del emplazamiento para una central fotovoltaica, se han desarrollado dos **geoprocesos** ejecutables en el software ArcMap, independientes uno del otro.

Con uno de los geoprocesos obtenemos, a partir del mapa generado con Pathfinder, las áreas definidas de **mayor idoneidad**, que son las de menor coste/resistencia. Esto se consigue reclasificando el mapa de idoneidad con un porcentaje de tolerancia aplicado sobre el valor mínimo para definir qué zonas consideraremos adecuadas en el proceso de selección. El resultado tiene un formato vectorial, de manera que puede integrarse fácilmente en otros cálculos posteriores.

El segundo geoproceso genera un único polígono con el **área necesaria para conseguir generar una potencia determinada**, a partir de un punto central. Al ejecutar este geoproceso, el usuario introduce la potencia requerida, el porcentaje de tolerancia con respecto a la máxima idoneidad, la eficiencia de los paneles fotovoltaicos y su coeficiente de pérdidas.

Por último, se ha realizado un ejemplo de cálculo de **rutas alternativas para la conexión** del área escogida con la red de transmisión existente. Para ello se ha utilizado de nuevo el software Pathfinder, que permite además comparar varias opciones de conexión de forma sencilla. Así se ha comprobado qué conexión de entre las tres propuestas es la más conveniente tanto a nivel de impacto como de coste monetario.

Propuestas de mejora

Si bien tanto el objetivo general como los específicos han sido alcanzados, expondremos a continuación algunas propuestas de mejora.

Tras el desarrollo del presente trabajo, se ha lanzado una actualización de Pathfinder¹¹ que simplifica el proceso de preparación de datos. En la nueva versión, es posible trabajar con el formato ráster, por lo que no serían necesarias algunas de las transformaciones realizadas. Otra mejora implantada en esta versión es la posibilidad de hacer una selección por atributos a la hora de definir una capa de datos en el proyecto, con lo que se ahorraría el tiempo empleado en clasificar algunos conjuntos de datos de forma previa a su uso en Pathfinder.

En cuanto a los geoprocursos se refiere, en el caso del que calcula el área necesaria para obtener una potencia deseada, una mejora necesaria es forzar que el polígono resultante sea contiguo, evitando huecos y divisiones provocadas por la presencia de zonas de menor idoneidad, como áreas de pendiente elevadas.

También se puede mejorar el mapa de idoneidad. En el proceso de documentación se identificó una gran cantidad de factores que pueden ser tenidos en cuenta en el rendimiento y el coste de construcción y operación de una instalación solar. Si bien se ha intentado integrar el máximo número posible de estos factores, algunos se han quedado fuera del proceso, ya sea por falta de disponibilidad de datos o por tiempo para su análisis. Por ejemplo, hay dos parámetros que influyen en el rendimiento fotovoltaico: la irradiancia y la temperatura. El voltaje proporcionado por un módulo disminuye a medida que aumenta la temperatura, de forma que a mayor temperatura la tensión disminuye (Determinación del efecto de aerosoles y nubes en la generación energética mediante sistemas fotovoltaicos, Arturo Villarroya, 2019). Así pues, sería un elemento a considerar en el cálculo de la idoneidad.

¹¹ <https://docs.gilytics.com/es/whatsNew.html>

Se debería también abordar la validación de algunos resultados, como los de los geoprocesos. Aunque se ha comprobado con varios ejemplos que el resultado es lógico y se han realizado comparaciones numéricas con datos de las centrales en trámite, sería necesario visitar alguna de las zonas obtenidas para verificar en campo si realmente el sitio es adecuado.

Otra mejora a considerar es utilizar un mapa de irradiación y de compatibilidad con una resolución más elevada, para poder realizar consultas de instalaciones menores a 2.500 m² o 125 kW.

Una lección que se considera importante es la necesidad de un **equipo interdisciplinar** para realizar un trabajo óptimo en la implementación de esta metodología en el territorio, ya que desde el momento que se decide realizar la instalación hasta que se hace efectiva la conexión a la red hay muchos factores a considerar. Estos factores son más fáciles de identificar cuanto más conocimiento se tiene de ellos, es por esto que esta metodología puede ser susceptible de más mejoras no consideradas.

Impacto del trabajo

Este trabajo tiene una aplicabilidad directa en la sociedad, dado que la energía es un elemento imprescindible para el desarrollo de múltiples actividades, con un alto coste, pero también grandes beneficios si su producción se realiza de forma adecuada. El hecho de que se pretenda facilitar e impulsar una energía renovable como es la solar, conlleva beneficios tecnológicos, económicos, sociales y ambientales.

Impacto tecnológico

Se impulsa el uso de la tecnología GIS para la correcta ubicación de las plantas de producción de energía fotovoltaica, dado que se hace patente lo útil de la misma en cuanto a la toma de decisiones de ubicación y la automatización de este proceso (por ejemplo, en la valoración de propuestas de instalaciones). Adicionalmente, dado que todos los elementos utilizados (datos, geoprocesos, resultados) utilizan formatos abiertos y algoritmos conocidos, se consigue una mejor transparencia en la toma de decisiones y la discusión pública de las propuestas.

Impacto económico

La instalación y producción de energía tiene un impacto obvio en la actividad económica, tanto en lo que se refiere a la construcción, mantenimiento y operaciones de estas instalaciones como en el uso de la energía producida. La mayor eficiencia conseguida con la ubicación en zonas de mayor idoneidad permite optimizar el retorno de las inversiones efectuadas. En su aplicación local, también permitiría una independencia respecto a las grandes compañías, lo que abarataría el precio de la electricidad, y por tanto aumentaría la equidad y se favorecería la implantación de negocios locales a menor coste.

Impacto medioambiental

El aumento en la producción fotovoltaica, optimizada mediante la metodología propuesta, reduciría el uso de fuentes de energía no renovables, poco respetuosas con el planeta, con múltiples mejoras en cuanto a cantidad de emisiones de partículas y gases de efecto invernadero, ayudando a reducir los efectos del cambio climático y reduciendo la huella de carbono.

Impacto social

A nivel social, la implantación de la energía fotovoltaica consigue que la electricidad llegue a una mayor parte de la población, ya que se favorece la instalación en zonas de baja demanda o de difícil acceso, lo que potencia una mayor igualdad entre zonas rurales y urbanas. Los beneficios ambientales y económicos también favorecen el desarrollo social en estas zonas, y una mejora en salud, por la reducción de emisiones de gases.

Incorporación profesional

Tras la finalización de este trabajo, la empresa Gilytics ha procedido a la contratación de la autora en su plantilla.

13. Bibliografía

AGUILÓ PASTRANA, M.L., GUTIÉRREZ VELAYOS, J. y VELÁZQUEZ SAORNIL, J. (2018). *Metodología para la localización óptima de instalaciones de energía solar fotovoltaica en la Isla de Tenerife, España* - Madrid: CONAMA 2018.

DOMÍNGUEZ, J. (2002). *Los Sistemas de Información Geográfica en la Planificación e Integración de Energías Renovables* - Madrid: CIEMAT

ENERGYDATA.INFO. *Solar forecasting tool*. < <https://solarforecasting.energydata.info/#/> > [Consulta: junio 2021]

España. Decreto-Ley 14/2020, de 7 de agosto, del Consell, de medidas para acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de las energías renovables por la emergencia climática y la necesidad de la urgente reactivación económica. *DOG*V, 28 de agosto de 2020 núm. 8893, p.1-38

España. Real Decreto-Ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica. *BOE*, 24 de junio de 2020, núm. 175, p 43879-43927

FUNDACIÓN RENOVABLES. *Hoja de ruta para la estrategia energética de Valencia 2020/2030* <<https://fundacionrenovables.org/wp-content/uploads/2020/12/20201211-Hoja-de-Ruta-estrategia-energetica-valencia-2030.pdf>> [Consulta: junio de 2021]

GILYTICS. *Introducción a Pathfinder*. < <https://docs.gilytics.com/es/intro.html#introduccion-a-pathfinder> > [Consulta: julio 2021]

GLOBAL SOLAR ATLAS. *Map and data downloads.* <
<https://globalsolaratlas.info/download/spain> > [Consulta: junio 2021]

HUNG GONZÁLEZ, V (2011). *Propuesta metodológica de selección de emplazamientos viables para instalaciones de energía solar fotovoltaica: Lanzarote.* Trabajo final de máster. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

INSTITUT CARTOGRÀFIC VALENCIÀ (2017). *Catàleg de fenòmens de la sèrie CV05* <http://icv.gva.es/auto/aplicaciones/CatalegBCV05/CatalegCV05_rev_en2018.html#Abastiments > [Consulta: julio de 2021]

IVACE-España. *Plan de Energía Sostenible de la Comunitat Valenciana 2020 - PESCV2020* <http://www.ivace.es/images/energia/2018/Plan_Energ%C3%ADa_Sostenible_CV_2020_Para_web.pdf > [Consulta: junio de 2021]

LÓPEZ DE BENITO, J. (2020). *La energía solar y eólica logran un 67% del total de la nueva capacidad de generación a nivel mundial.* Madrid: Energy News - SOLAR <<https://www.energynews.es/energia-solar-y-eolica-nueva-capacidad/> >

MARTÍNEZ, D. (2020). *Así es el decreto para desatascar la fotovoltaica: menos celo ambiental y descentralización.* Alicante: Alicante plaza - Energías renovables <<https://alicanteplaza.es/asi-es-el-decreto-para-desatascar-la-fotovoltaica-menos-celo-ambiental-y-descentralizacion> >

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. *Zonificación ambiental para la implantación de energías renovables: Eólica y Fotovoltaica. Sensibilidad ambiental y clasificación del territorio.* Gobierno de España (2020) <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacion-ambiental/documento1memoria_tcm30-518028.pdf > [Consulta: julio de 2021]

ORELLANA BUSTAMANTE, E. *Determinación de áreas con potencial para la instalación de plantas de energía termoeléctrica solar. Caso de estudio: III Región de Atacama - Santiago de Chile.* Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009

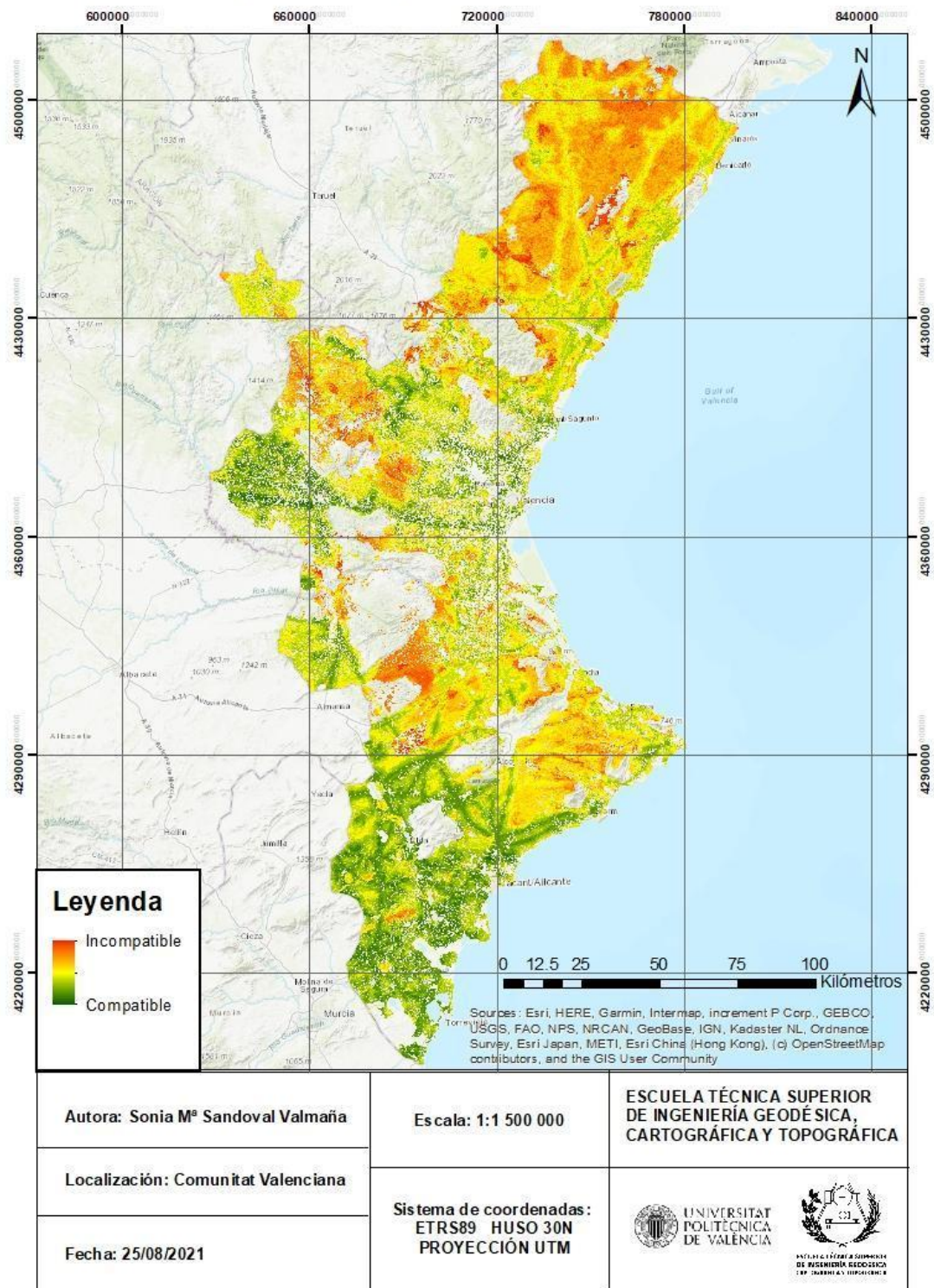
PATEL, S. *Site selection criterial for a solar PV plant.* Gujarat Institute of solar energy (GISE). India <https://www.gise.in/uploads/downloads/1490881948_site-selection.pdf> [Consulta: junio de 2021]

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL OPERADOR DEL SISTEMA. *Mapa instalaciones fotovoltaicas.* < <https://www.esios.ree.es/es/mapas-de-interes/mapa-instalaciones-fotovoltaicas> > [Consulta: julio de 2021]

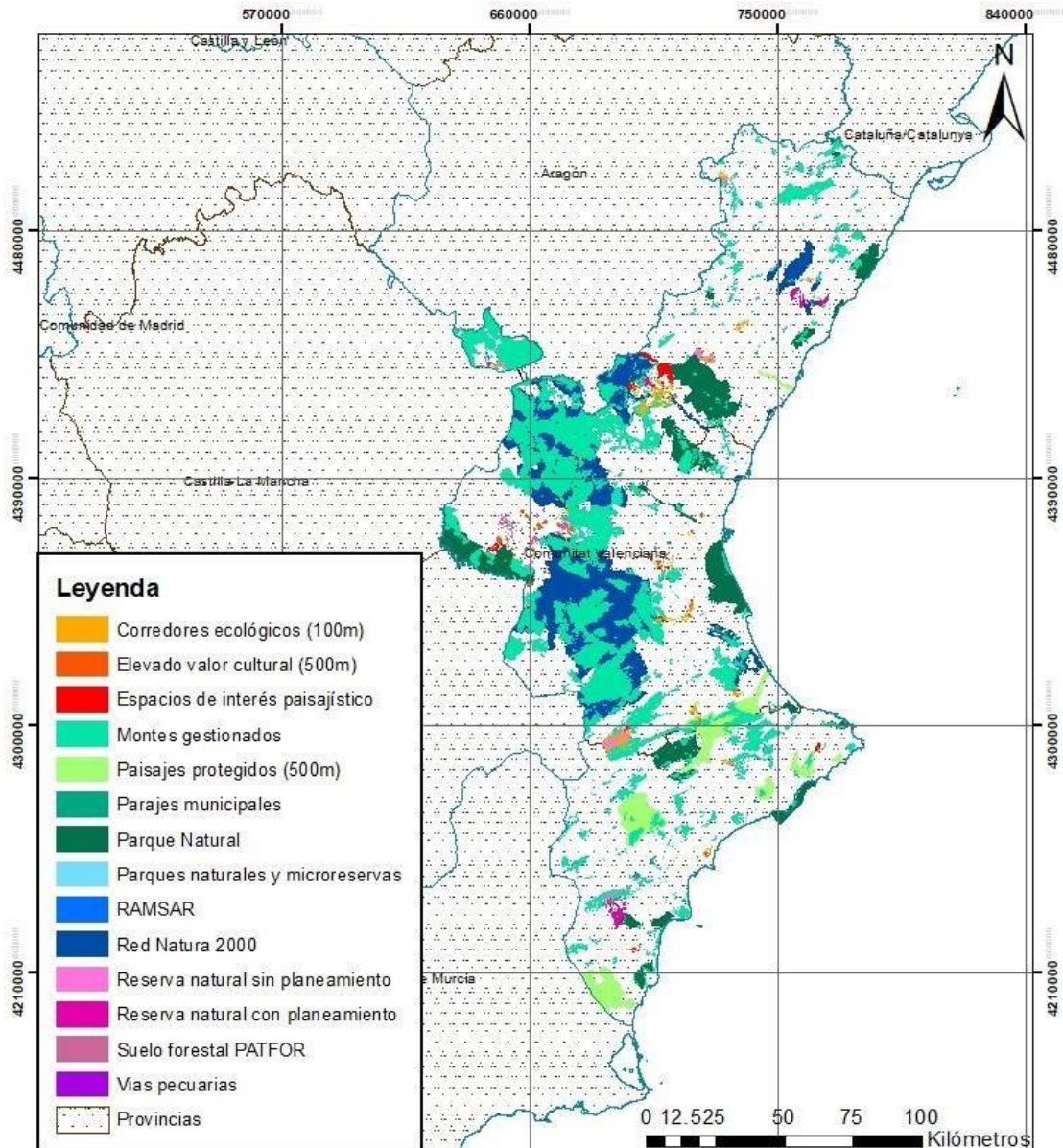
VILLARROYA CARPIO, A. (2019) *Determinación del efecto de aerosoles y nubes en la generación energética mediante sistemas fotovoltaicos.* Trabajo fin de grado. Valencia: Universitat de València.


14. Cartografía

Mapa de compatibilidad para ubicar una central fotovoltaica

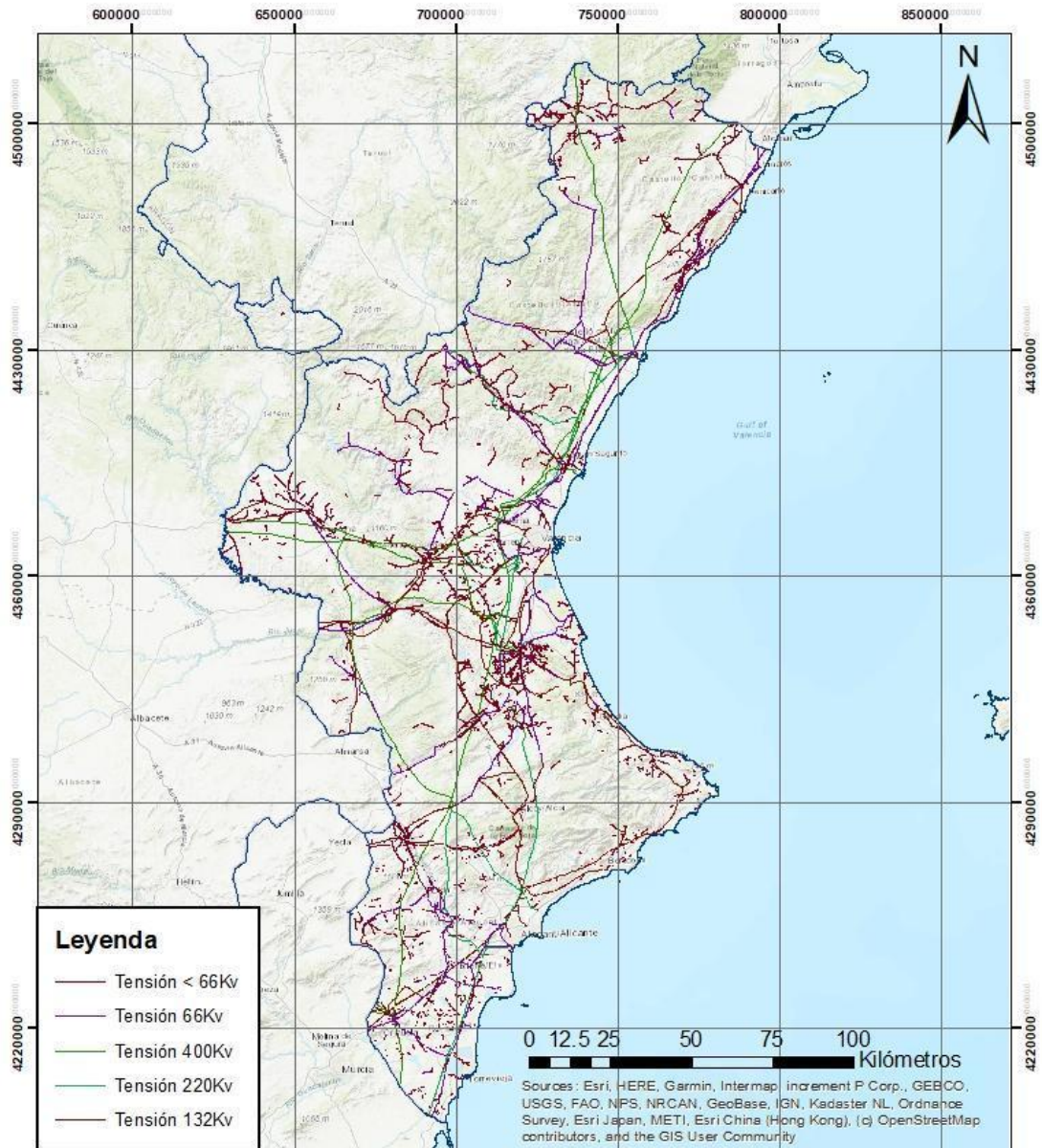


Zonas protegidas Comunitat Valenciana



<p>Autora: Sonia M^a Sandoval Valmaña</p>	<p>Esca: 1:1 900 000</p>	<p>ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA</p>
<p>Localización: Comunitat Valenciana</p>	<p>Sistema de coordenadas: ETRS89 HUSO 30N PROYECCIÓN UTM</p>	
<p>Fecha: 25/08/2021</p>		

Líneas eléctricas Comunitat Valenciana




Legenda

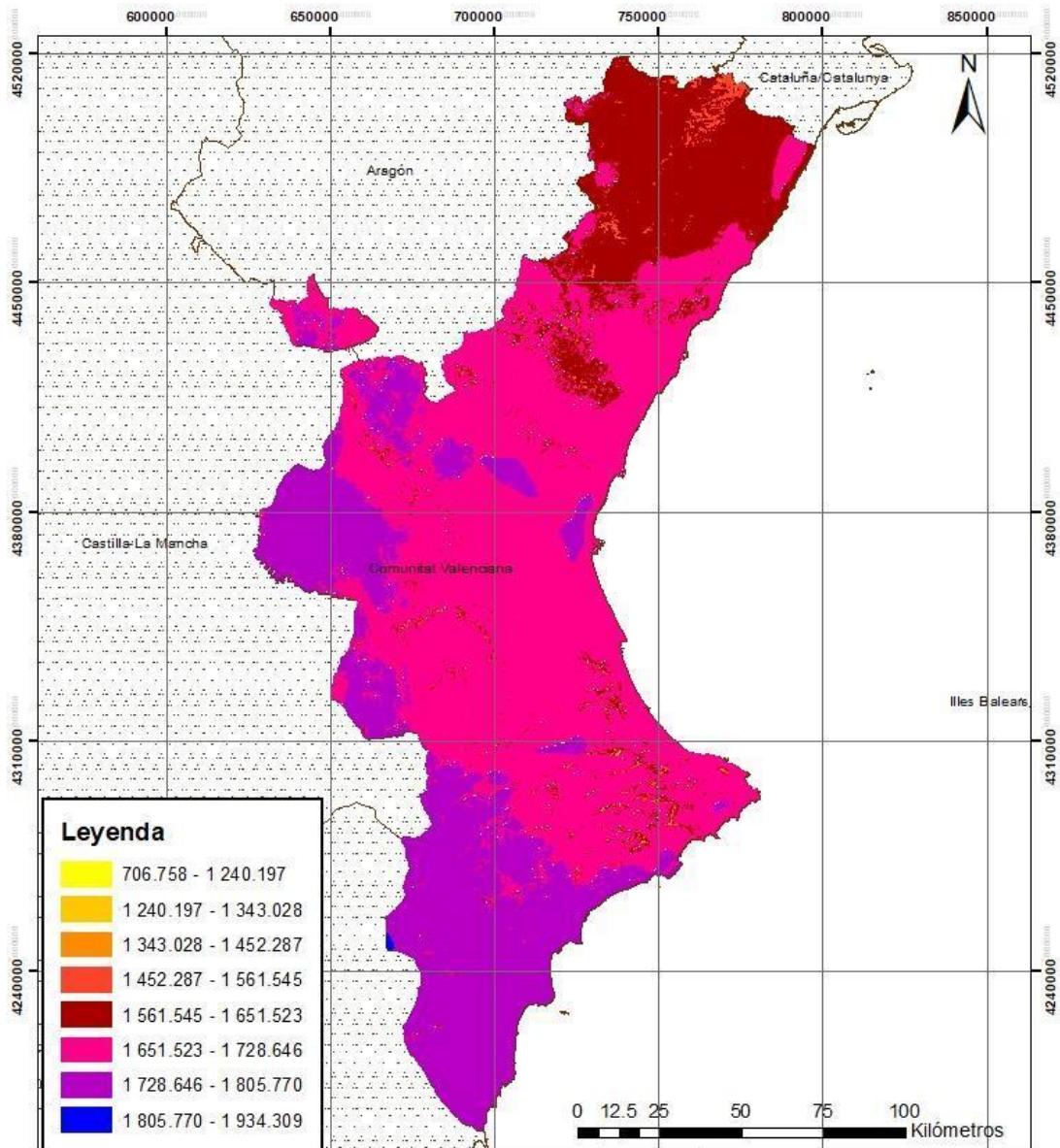
- Tensión < 66Kv
- Tensión 66Kv
- Tensión 400Kv
- Tensión 220Kv
- Tensión 132Kv


0 12.5 25 50 75 100 Kilómetros

Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

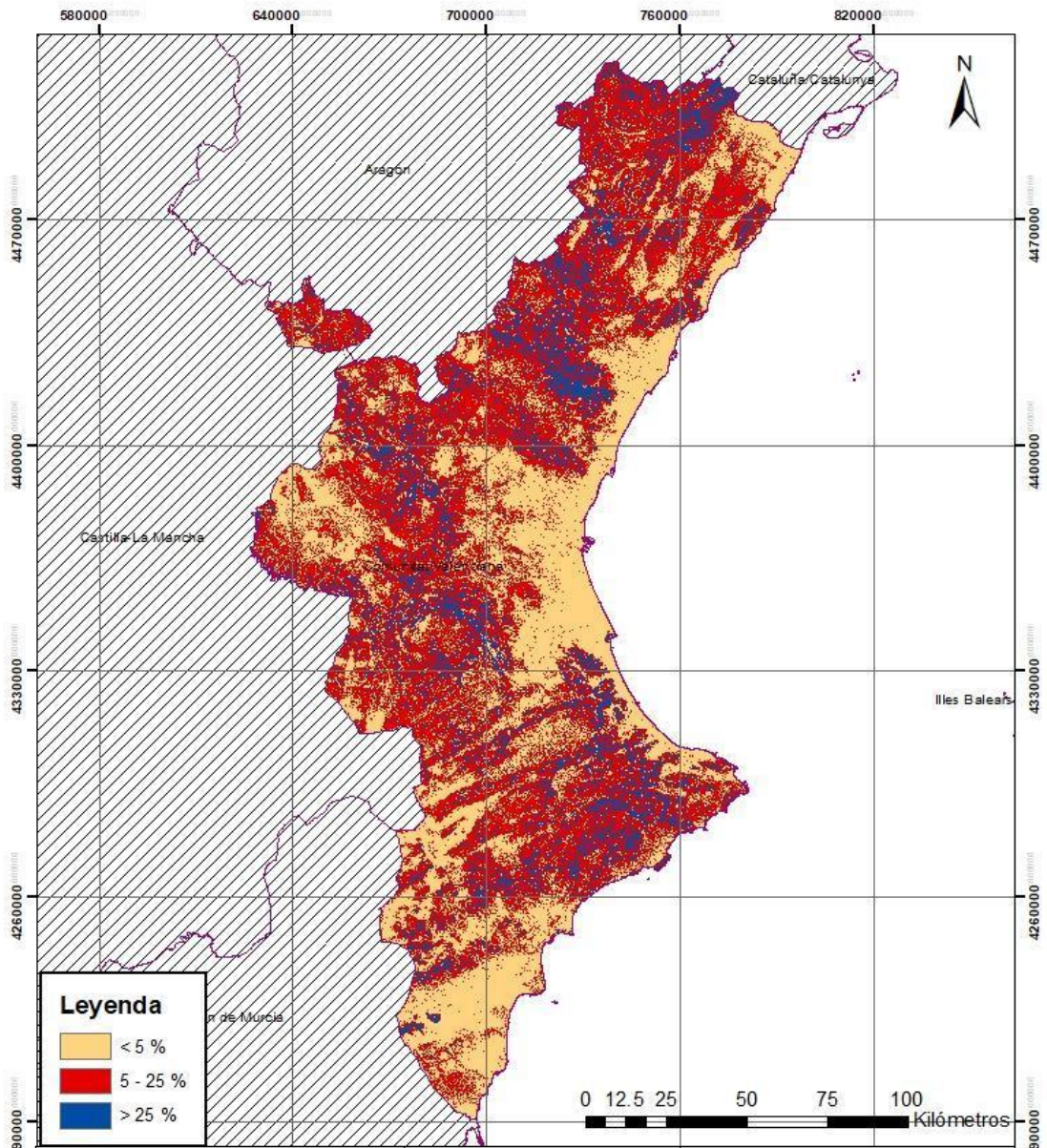
<p>Autora: Sonia M^e Sandoval Valmaña</p>	<p>Escala: 1:1 600 000</p>	<p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA</p>
<p>Localización: Comunitat Valenciana</p>		<p>Sistema de coordenadas: ETRS89 HUSO 30N PROYECCIÓN UTM</p> 
<p>Fecha: 25/08/2021</p>		

Irradiación horizontal global Comunitat Valenciana



<p>Autora: Sonia M^a Sandoval Valmaña</p>	<p>Escala: 1:1 600 000</p>	<p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA</p>
<p>Localización: Comunitat Valenciana</p>	<p>Sistema de coordenadas: ETRS89 HUSO 30N PROYECCIÓN UTM</p>	
<p>Fecha: 25/08/2021</p>		

Pendientes de la Comunidad Valenciana



Leyenda

- < 5 %
- 5 - 25 %
- > 25 %

0 12.5 25 50 75 100 Kilómetros

<p>Autora: Sonia M^a Sandoval Valmaña</p>	<p>Escala: 1:1 600 000</p>	<p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA</p>
<p>Localización: Comunitat Valenciana</p>	<p>Sistema de coordenadas: ETRS89 HUSO 30N PROYECCIÓN UTM</p>	
<p>Fecha: 25/08/2021</p>		<p>  </p>