



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,
Cartográfica y Topográfica

Estudio de Sensibilidad Ambiental y Modelización Acústica
para la Implantación de un Parque Eólico en la Sierra del
Tejo (Valencia)

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Geomática y Geoinformación

AUTOR/A: Alós Miguel, Carlos

Tutor/a: Fernández Sarriá, Alfonso

CURSO ACADÉMICO: 2025/2026



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

“Estudio de Sensibilidad Ambiental y Modelización Acústica para la Implantación de un Parque Eólico en la Sierra del Tejo (Valencia)”

Alumno: Carlos Alós Miguel

Tutor: Alfonso Fernández Sarria

Titulación: Máster en Geomática y Geoinformación

Curso: 2025/2026

Agradecimientos

Quiero agradecer sinceramente a mi familia por estar siempre ahí, apoyándome en cada etapa de este camino. También a mi pareja, que ha estado apoyándome en todo momento. Su confianza y apoyo han sido fundamentales para poder llevar a cabo y finalizar este trabajo.

También quiero dar las gracias a Alfonso, mi tutor, por su orientación y disponibilidad durante todo el proceso. También agradecer a mis amigos de la universidad, que me han ayudado tanto en lo académico como en lo personal.

Por último, agradezco al Grupo TYPESA por darme la oportunidad de realizar el TFM en un entorno profesional tan valioso. En especial, a Isabel Villacreces, por su ayuda constante, cercanía y por facilitarme el trabajo durante mi estancia en la empresa.

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"

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Carlos". The signature is stylized with overlapping loops and a horizontal line crossing through the middle of the letters.

Resumen

Este Trabajo de Fin de Máster analiza la idoneidad de un emplazamiento para la implantación de un parque eólico, en este caso en la Sierra del Tejo (Valencia). La metodología aplicada consistirá, por una parte, en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar factores ambientales relacionados con los condicionantes de la implantación del parque eólico. La otra parte consistirá en un estudio acústico mediante la simulación con el software CADNA-A, con el cual se evaluará cómo se propagan las ondas sonoras por el terreno y se verificará el cumplimiento de la normativa vigente. Los resultados permitirán identificar las áreas más aptas para la implantación del parque y proponer medidas correctoras.

Resum

Aquest Treball de Fi de Màster analitza la idoneïtat d'un emplaçament per a la implantació d'un parc eòlic, en aquest cas a la Serra del Tejo (València). La metodologia aplicada consistirà, d'una banda, en l'ús de Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG) per a analitzar factors ambientals relacionats amb els condicionants de la implantació del parc eòlic. L'altra part consistirà en un estudi acústic mitjançant la simulació amb el programari CADNA-A, amb el qual s'avaluarà com es propaguen les ones sonores pel terreny i es verificarà el compliment de la normativa vigent. Els resultats permetran identificar les àrees més adequades per a la implantació del parc i proposar mesures correctores.

Abstract

This Master's Thesis analyzes the suitability of a site for the installation of a wind farm, specifically in the Sierra del Tejo (Valencia). The applied methodology consists, on the one hand, of using Geographic Information Systems (GIS) to analyze environmental factors related to the constraints of wind farm implementation. The other part will consist of an acoustic study through simulation using CADNA-A software, which will evaluate how sound waves propagate across the terrain and ensure compliance with current regulations. The results will help identify the most suitable areas for the wind farm and propose corrective measures.

Palabras clave: Energía eólica, Parque eólico, estudio ambiental, estudio acústico, Sierra del Tejo, evaluación multicriterio, propagación sonora.

Índice de Ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Localización de aerogeneradores. Fuente: Elaboración propia..... | 12 |
| Ilustración 2. SIOSE recortado a la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia..... | 13 |
| Ilustración 3. Velocidad del viento. Fuente: Atlas Eólico Ibérico..... | 14 |
| Ilustración 4. Autopistas Salvajes. Fuente: Elaboración propia | 21 |
| Ilustración 5. Áreas importantes para la conservación de las Aves. Fuente: Elaboración propia | 22 |
| Ilustración 6. Áreas prioritarias para la protección de la avifauna. Fuente: Elaboración propia | 23 |
| Ilustración 7. Script para detectar especies en una lista. Fuente: Elaboración propia..... | 24 |
| Ilustración 8. Script para geolocalizar especies. Fuente: Elaboración propia | 25 |
| Ilustración 9. Fauna y flora Fuente: Elaboración propia..... | 26 |
| Ilustración 10. Interpolación de la fauna y flora. Fuente: Elaboración propia | 27 |
| Ilustración 11. Red Natura 2000. Fuente: Elaboración propia..... | 28 |
| Ilustración 12. Reservas de la Biosfera. Fuente: Elaboración propia | 29 |
| Ilustración 13. Script para generar puntos automáticos. Fuente: Elaboración propia..... | 30 |
| Ilustración 14. Puntos de visibilidad. Fuente: Elaboración propia | 31 |
| Ilustración 15. Características para la herramienta Viewshed. Fuente: Elaboración propia | 31 |
| Ilustración 16. Visibilidad. Fuente: Elaboración propia | 32 |
| Ilustración 17. Parques naturales. Fuente: Elaboración propia | 33 |
| Ilustración 18. Montes de utilidad pública. Fuente: Elaboración propia | 34 |
| Ilustración 19. Lugares de interés geológico. Fuente: Elaboración propia | 35 |
| Ilustración 20. Castillo y murallas de Requena. Fuente: https://cultura.gva.es/es/web/patrimonio-cultural-y-museos/bics | 36 |
| Ilustración 21. Iglesia parroquial de El Salvador. Fuente: https://cultura.gva.es/es/web/patrimonio-cultural-y-museos/bics | 36 |
| Ilustración 22. Bienes de interés cultural. Fuente: Elaboración propia | 37 |
| Ilustración 23. Grafico de factores por peso. Fuente: Elaboración propia | 41 |
| Ilustración 24. Script para rasterizar capas. Fuente: Elaboración propia | 42 |
| Ilustración 25. Script para alinear ráster. Fuente: Elaboración propia | 43 |
| Ilustración 26. Ráster final de sensibilidad. Fuente: Elaboración propia..... | 44 |
| Ilustración 27. Script para descargar catastro. Fuente: Elaboración propia..... | 53 |
| Ilustración 28. Script para unir y recortar capas de catastro. Fuente: Elaboración propia..... | 54 |
| Ilustración 29. Mapa de edificios catastrales. Fuente: Elaboración propia | 54 |
| Ilustración 30. Captura del proceso con el software CADNA-A. Fuente: Elaboración propia | 56 |
| Ilustración 31. Mapa de niveles de inmisión. Fuente: Elaboración propia | 57 |
| Ilustración 32. Mapa de exclusión acústica. Fuente: Elaboración propia..... | 59 |

índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Matriz y pesos del Ministerio para la Transición Ecológica Fuente: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacion-ambiental/documento1memoria_tcm30-518028.pdf | 38 |
| Tabla 2. Matriz AHP. Fuente: Elaboración propia | 39 |
| Tabla 3. Pesos asignados a cada factor. Fuente: Elaboración propia..... | 40 |
| Tabla 4. Histograma del ráster final. Fuente: Elaboración propia | 45 |

| | |
|---|----|
| Tabla 5. % de área por cada tramo de sensibilidad. Fuente: Elaboración propia | 46 |
| Tabla 6. % de área por factor. Fuente: Elaboración propia..... | 46 |
| Tabla 7. Características de los puntos seleccionados. Fuente: Elaboración propia..... | 46 |
| Tabla 8. Características del ráster final. Fuente: Elaboración propia..... | 47 |
| Tabla 9. Límites de inmisión Estatales. Fuente: Real Decreto 1367/2007 | 49 |
| Tabla 10. Límites de inmisión Estatales modificados. Fuente: Real Decreto 1038/2012 | 49 |
| Tabla 11. Límites de inmisión autonómicos. Fuente: Ley 7/2002 | 50 |
| Tabla 12. Presupuestos finales. Fuente: Elaboración propia | 63 |

Tabla de Contenido

| | |
|--|----|
| 1. Introducción | 9 |
| 1.1. Contexto de la energía eólica y su importancia | 9 |
| 2. Objetivos del proyecto..... | 11 |
| 2.1. Objetivos específicos | 11 |
| 3. Descripción del Proyecto y del Área de Estudio..... | 12 |
| 3.1. Localización y características del emplazamiento | 12 |
| 3.2. Condiciones meteorológicas y recurso eólico..... | 13 |
| 4. Fuente de datos | 15 |
| 5. Metodología | 17 |
| 5.1. Propuesta de metodología para el estudio de sensibilidad | 17 |
| 5.2. Propuesta de metodología para el estudio acústico | 18 |
| 5.3. Herramientas utilizadas | 19 |
| 6. Estudio de Sensibilidad Ambiental: resultados | 20 |
| 6.1. Identificación y análisis de factores clave..... | 20 |
| 6.1.1. Autopistas Salvajes..... | 20 |
| 6.1.2. IBAs (Áreas Importantes para la Conservación de las Aves) | 21 |
| 6.1.3. Áreas prioritarias para la protección de la avifauna..... | 22 |
| 6.1.4. Fauna y Flora..... | 23 |
| 6.1.5. Red Natura 2000 | 27 |
| 6.1.6. Reservas de la Biosfera | 28 |
| 6.1.7. Visibilidad | 29 |
| 6.1.8. Parques Naturales..... | 32 |
| 6.1.9. Montes de Utilidad Pública (MUP) | 33 |
| 6.1.10. Lugares de Interés Geológico (LIG) | 34 |
| 6.1.11. Bienes de Interés Cultural (BIC)..... | 35 |
| 6.2. Valoración de factores y asignación de pesos | 37 |
| 6.3. Elaboración de mapas de factores ambientales..... | 41 |
| 6.4. Mapa y análisis del estudio de sensibilidad..... | 44 |
| 7. Estudio Acústico: resultados | 48 |
| 7.1. Objetivos del estudio de ruido..... | 48 |
| 7.2. Normativa..... | 48 |
| 7.3. Zonificación acústica y valores de inmisión..... | 50 |

| | | |
|--------|--|----|
| 7.4. | Caracterización del parque eólico (aerogeneradores, potencia, localización)..... | 51 |
| 7.5. | Modelo digital del terreno y condiciones de propagación..... | 52 |
| 7.5.1. | Descarga automatizada Catastro..... | 52 |
| 7.6. | Simulación de escenario operacional (uso de CADNA-A)..... | 55 |
| 7.7. | Resultados de niveles de inmisión (mapas de isófonas)..... | 56 |
| 7.8. | Evaluación de zonas de exclusión acústica para ampliaciones..... | 58 |
| 7.9. | Conclusiones del estudio acústico..... | 60 |
| 8. | Conclusiones..... | 61 |
| 9. | Presupuesto..... | 62 |
| 9.1. | Costes directos..... | 62 |
| 9.2. | Costes Indirectos..... | 62 |
| 9.3. | Presupuesto total..... | 62 |
| 10. | Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)..... | 64 |
| 11. | Bibliografía..... | 65 |
| 12. | Anejos..... | 68 |
| 12.1. | Mapa de situación..... | 68 |
| 12.2. | Mapa de sensibilidad..... | 68 |
| 12.3. | Mapa de niveles de inmisión..... | 68 |
| 12.4. | Mapa de exclusión acústica..... | 68 |
| 12.5. | Scripts de Python..... | 68 |

1. Introducción

La transición energética hacia un modelo sostenible constituye uno de los principales retos globales de las próximas décadas. La creciente preocupación por el cambio climático, unida a la necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, ha impulsado el desarrollo de fuentes de energía renovables en todo el mundo. Entre ellas, la energía eólica se ha consolidado como una de las tecnologías más maduras y competitivas para la generación de electricidad, gracias a su bajo impacto en emisiones de gases de efecto invernadero, sus costes de operación reducidos y su papel fundamental en la descarbonización del sistema eléctrico.

En el caso de España, la energía eólica se consolidó como la principal fuente del mix eléctrico en 2024, cubriendo el 23 % de la demanda nacional y alcanzando una potencia instalada de 31.679 MW, con más de 59.300 GWh generados (Red Eléctrica de España [REE], 2025; Asociación Empresarial Eólica [AEE], 2025). Estos datos sitúan a España como el segundo país europeo en capacidad eólica y el sexto a nivel mundial, reforzando su liderazgo en energías renovables.

La importancia de esta tecnología radica en varios factores: contribución a la descarbonización, diversificación y seguridad energética, desarrollo económico y empleo, y compatibilidad con otros usos del suelo. Sin embargo, la planificación y localización de nuevos parques eólicos requiere un análisis exhaustivo de múltiples condicionantes: disponibilidad del recurso eólico, características del terreno, conexión a red, impactos ambientales y sociales, así como el cumplimiento normativo.

Desde la perspectiva geomática, la planificación de parques eólicos requiere integrar datos espaciales y ambientales mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), análisis multicriterio y modelos digitales del terreno. Estas herramientas permiten evaluar la idoneidad del emplazamiento, minimizar impactos y garantizar el cumplimiento normativo, aportando rigor técnico y eficiencia al proceso (Gómez et al., 2023).

Junto a la evaluación ambiental, la evaluación acústica es otro aspecto crítico en la implantación de parques eólicos. El ruido generado por los aerogeneradores puede afectar a la calidad acústica del entorno y a la aceptación social del proyecto. Para abordar este análisis se empleará el software CADNA-A (Computer Aided Noise Abatement), desarrollado por Datakustik GmbH, una herramienta de referencia en ingeniería acústica. CADNA-A permite simular la propagación sonora considerando la orografía, las características del suelo y las condiciones meteorológicas, aplicando algoritmos basados en la metodología CNOSSOS-EU, exigida por la normativa europea. Se trata de un software propietario, disponible para sistemas Windows, ampliamente utilizado en estudios de impacto acústico en infraestructuras y proyectos energéticos.

En conjunto, este Trabajo Fin de Máster combina el análisis espacial mediante SIG y la modelización acústica con CADNA-A para evaluar la idoneidad de la Sierra del Tejo (Valencia) como emplazamiento para un parque eólico, garantizando un enfoque riguroso, reproducible y alineado con los estándares técnicos y normativos.

1.1. Contexto de la energía eólica y su importancia

La energía eólica es una de las fuentes renovables más relevantes para la generación eléctrica a nivel mundial. Se basa en la conversión de la energía cinética del viento en energía mecánica mediante aerogeneradores, que posteriormente se transforma en electricidad a través de un generador. Su principio de funcionamiento es simple, pero el diseño y la operación de un parque eólico implican un alto grado de ingeniería para maximizar la producción y minimizar los impactos ambientales.

A nivel global, la energía eólica ha experimentado un crecimiento sostenido en las dos últimas décadas, impulsada por los objetivos de descarbonización, la mejora en la eficiencia de los aerogeneradores y la reducción de los costes de instalación. Según el Global Wind Energy Council (GWEC), en 2023 la potencia eólica instalada superó los 900 GW en todo el mundo, contribuyendo de forma significativa a la reducción de emisiones de CO₂.

En Europa, países como Alemania, España y Reino Unido lideran la implantación de parques eólicos. En el caso de España, la energía eólica aportó el 23 % de la generación eléctrica nacional en 2024, con una potencia instalada de 31.679 MW (REE, 2025; AEE, 2025). Estos datos consolidan a España como el segundo país europeo en capacidad eólica y uno de los principales actores globales.

La importancia de la energía eólica radica en varios factores clave:

- Contribución a la descarbonización: al no emitir gases de efecto invernadero durante su operación, reduce la huella de carbono del sistema eléctrico.
- Diversificación y seguridad energética: disminuye la dependencia de combustibles fósiles importados.
- Desarrollo económico y empleo: genera actividad en zonas rurales y promueve innovación tecnológica.
- Compatibilidad con otros usos del suelo: al ocupar relativamente poca superficie en la base de los aerogeneradores, puede coexistir con actividades agrícolas y ganaderas.

No obstante, el despliegue de parques eólicos también plantea retos. Entre ellos destacan la necesidad de garantizar la integración en la red eléctrica, gestionar la variabilidad del recurso eólico, minimizar los impactos paisajísticos y sobre la biodiversidad, y favorecer la aceptación social de los proyectos.

Por todo ello, el estudio riguroso de la localización de un parque eólico es esencial para optimizar su viabilidad técnica, económica y ambiental, y garantizar su contribución efectiva a los objetivos de sostenibilidad energética.

2. Objetivos del proyecto

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster es evaluar la idoneidad de un emplazamiento para la implantación de un parque eólico en la Sierra del Tejo (Valencia), aplicando un enfoque integral que combine análisis espacial y modelización acústica. Se pretende garantizar que la localización propuesta cumpla criterios técnicos, ambientales y normativos, utilizando herramientas geomáticas que permitan optimizar la planificación y minimizar los impactos sobre el territorio.

2.1. Objetivos específicos

En primer lugar, se busca analizar el contexto territorial y ambiental del área de estudio mediante técnicas basadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este análisis permitirá identificar los factores críticos que condicionan la implantación del parque, tales como la Red Natura 2000, las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (IBAs), la conectividad ecológica, la visibilidad y el patrimonio cultural, representándolos en mapas temáticos que faciliten la interpretación espacial.

El segundo objetivo consiste en desarrollar un modelo de sensibilidad ambiental que integre estos factores mediante métodos de evaluación multicriterio, como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), y operaciones de álgebra de mapas. Para ello, se generarán capas rasterizadas con resolución homogénea y se aplicarán ponderaciones que reflejen la relevancia de cada indicador en la toma de decisiones.

Un tercer objetivo es implementar procesos automatizados mediante programación en Python, orientados a la depuración de datos, la geolocalización de especies y la generación de capas ráster. Esta automatización busca reducir errores manuales, mejorar la reproducibilidad y optimizar el flujo de trabajo en entornos SIG.

Asimismo, se plantea realizar un estudio acústico detallado del parque eólico mediante simulación con el software CADNA-A, incorporando el modelo digital del terreno, las características técnicas de los aerogeneradores y las condiciones normativas establecidas por la metodología CNOSSOS-EU. Este análisis permitirá estimar los niveles de inmisión sonora y verificar su compatibilidad con los límites legales.

Finalmente, se pretende cuantificar y analizar los resultados obtenidos en ambos estudios, incluyendo estadísticas zonales, porcentajes de áreas afectadas y mapas con leyenda, escala y coordenadas. A partir de esta información, se propondrán medidas correctoras y recomendaciones que garanticen la integración sostenible del proyecto en el territorio.

3. Descripción del Proyecto y del Área de Estudio

3.1. Localización y características del emplazamiento

El parque eólico se proyecta en la Sierra del Tejo, situada en la zona centro-occidental de la provincia de Valencia, dentro de los términos municipales de Requena y Siete Aguas. El emplazamiento se distribuye sobre una alineación de crestas con altitudes comprendidas entre 930 y 1.250 metros, caracterizadas por pendientes moderadas y relieves tabulares intercalados con barrancos.

Los seis aerogeneradores que se van a analizar (TE-01 a TE-06) se ubican en coordenadas UTM (huso 30, ETRS89):

- TE-01: (673739.792, 4373709.737)
- TE-02: (674198.529, 4373734.139)
- TE-03: (673181.533, 4373947.523)
- TE-04: (672545.856, 4374504.653)
- TE-05: (671929.221, 4374578.275)
- TE-06: (672293.554, 4374857.972)

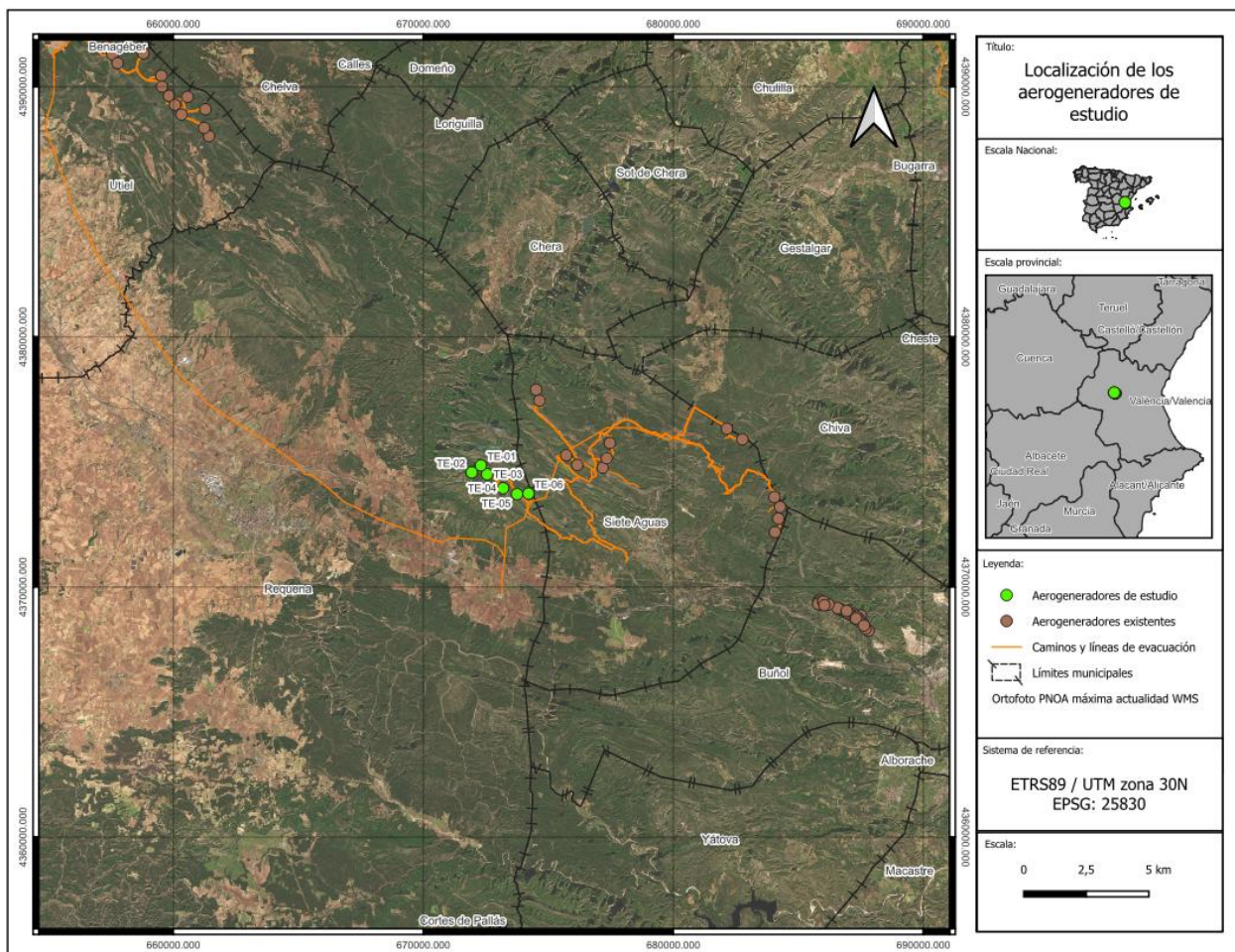


Ilustración 1. Localización de aerogeneradores. Fuente: Elaboración propia

La vegetación dominante de la zona corresponde a pinares de *Pinus halepensis* y matorral mediterráneo, con presencia de pastizales en zonas despejadas. El uso del suelo es principalmente forestal, con áreas agrícolas en las cotas más bajas. Esta configuración condiciona la sensibilidad ambiental, ya que se trata de hábitats de interés comunitario y corredores ecológicos relevantes

para la fauna. Para extraer toda la información se ha descargado del Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (CNIG) el Sistema de Información de Ocupación de Suelo en España (SIOSE) y se ha recortado por el ámbito de estudio que se mencionará posteriormente:

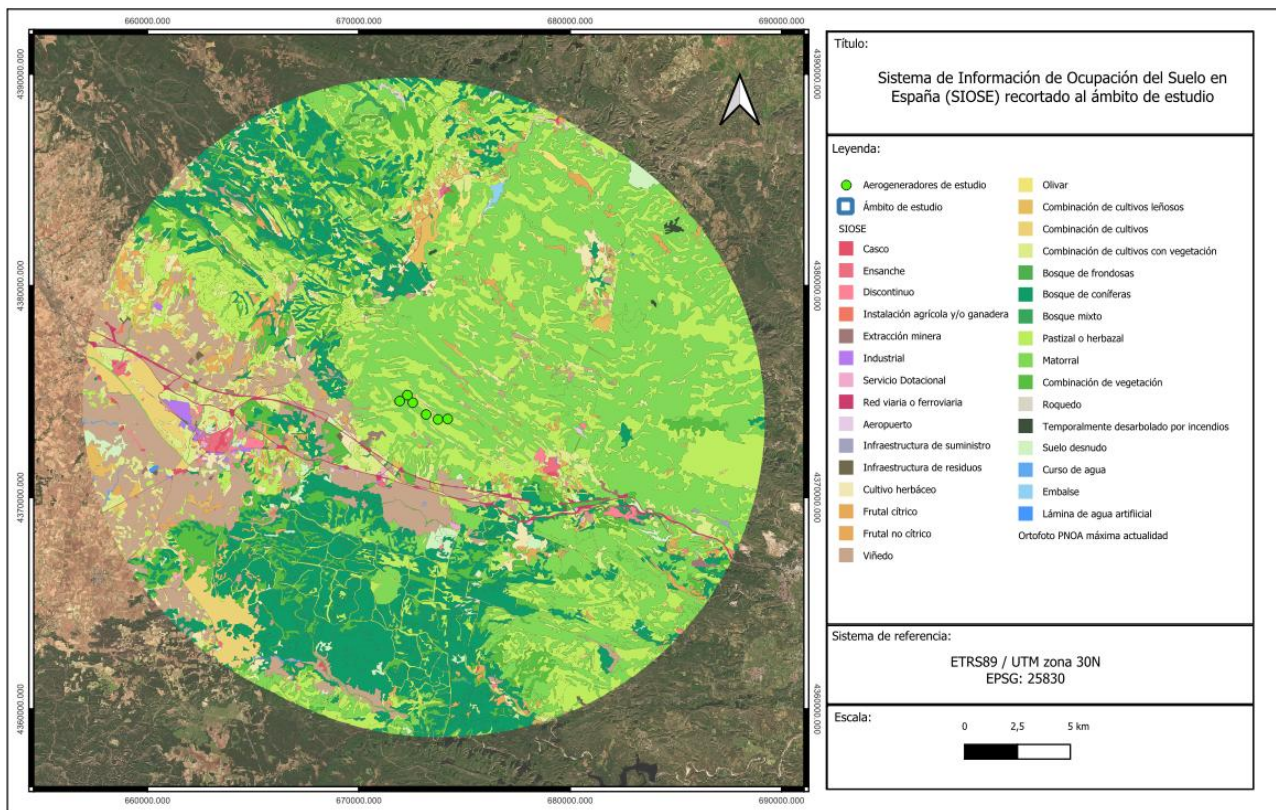


Ilustración 2. SIOSE recortado a la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia

Desde el punto de vista acústico, la orografía irregular influye en la propagación del sonido, reduciendo los niveles en valles y aumentando la exposición en crestas. Asimismo, la posición elevada de los aerogeneradores incrementa la visibilidad del parque, lo que se evaluará mediante un Modelo Digital del Terreno (MDT) de 5x5 m, identificando las áreas con mayor impacto paisajístico.

El emplazamiento se encuentra dentro del ámbito del Plan Eólico de la Comunidad Valenciana (PECV), que lo clasifica como zona apta para el aprovechamiento eólico. Este plan, aprobado mediante el Acuerdo del Consell de 26 de julio de 2001 y actualizado por el Decreto-ley 14/2020, establece los criterios territoriales y ambientales para la implantación de parques eólicos, definiendo las zonas aptas y las condiciones para minimizar el impacto ambiental y garantizar la integración paisajística (Generalitat Valenciana, 2020).

3.2. Condiciones meteorológicas y recurso eólico

En cuanto a las condiciones meteorológicas, el emplazamiento se encuentra a una altitud media de 1.100 m, lo que contribuye a la exposición directa a los vientos dominantes reduciendo la influencia de obstáculos orográficos significativos.

Según el Atlas Eólico Ibérico elaborado por el IDAE y CENER, la velocidad media anual en la zona supera los 6,5 m/s a 100 m de altura, con una dirección predominante oeste-noroeste, asociada a la circulación general y a los episodios de viento de poniente (IDAE, 2025). Esta característica garantiza un factor de capacidad competitivo, esencial para la viabilidad técnica del parque. La distribución estacional muestra mayor intensidad en invierno y primavera, con reducción en verano, aunque sin alcanzar valores críticos para la operación. La turbulencia es moderada, condicionada por la presencia de lomas y barrancos, lo que exige una adecuada separación entre aerogeneradores para minimizar el efecto de estelas.

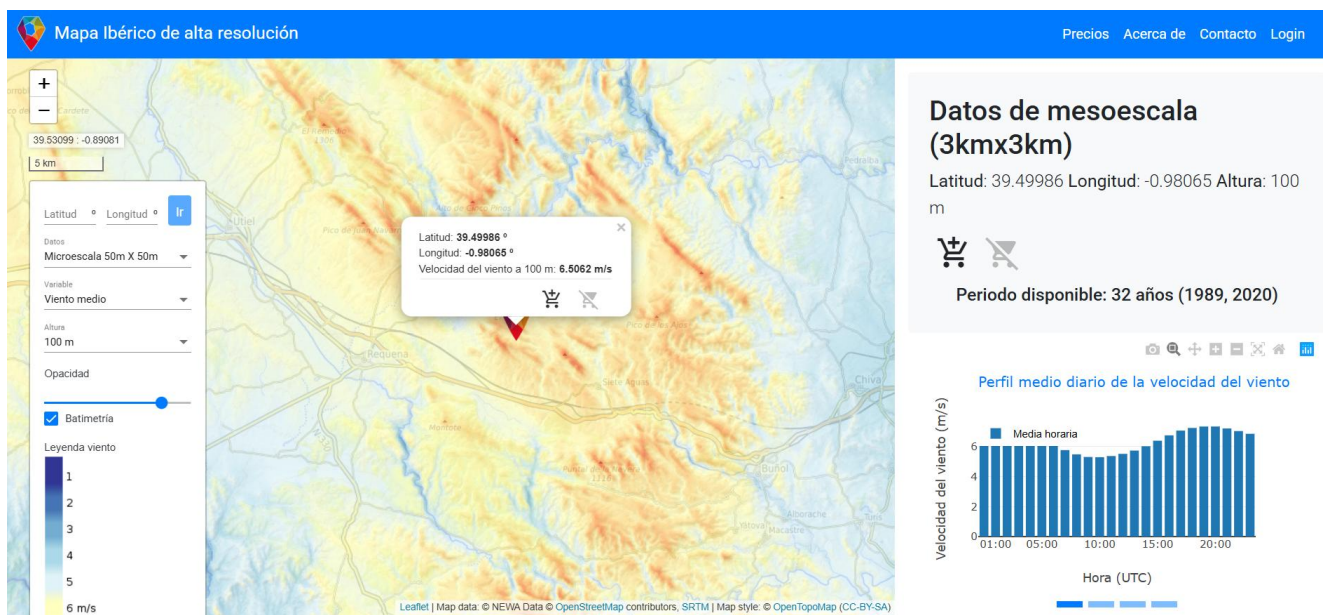


Ilustración 3. Velocidad del viento. Fuente: Atlas Eólico Ibérico

En cuanto a la caracterización climática, los datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) indican que la zona presenta temperaturas medias anuales en torno a 13 °C, precipitaciones moderadas (entre 500 y 600 mm/año) y ausencia de fenómenos extremos recurrentes como heladas prolongadas o acumulaciones significativas de nieve (AEMET, 2025). Estos factores reducen el riesgo de indisponibilidad y permiten una operación estable durante todo el año.

La Sierra del Tejo presenta unas condiciones meteorológicas favorables para la implantación de instalaciones eólicas, lo que justifica su inclusión en la Zona Eólica 9 del Plan Eólico de la Comunidad Valenciana (Generalitat Valenciana, 2020).

4. Fuente de datos

Para la realización del estudio se han empleado datos procedentes de fuentes oficiales, garantizando su validez y trazabilidad. A continuación, se detallan los conjuntos de datos utilizados:

- Modelo Digital del Terreno (MDT05)
Institución: Instituto Geográfico Nacional (IGN)
Descripción: Modelo digital con resolución de 5 × 5 m obtenido del PNOA-LiDAR, utilizado para análisis de visibilidad y modelización acústica.
Dirección: <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=MDT05>
- Cartografía de usos del suelo (SIOSE)
Institución: Instituto Geográfico Nacional (IGN)
Descripción: Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España, empleado para caracterizar la cobertura y usos del territorio.
Dirección: <https://www.siose.es>
- Autopistas Salvajes
Institución: WWF España
Descripción: Corredores ecológicos prioritarios para garantizar la conectividad entre espacios naturales y frenar la fragmentación del territorio.
Dirección: https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/especies_y_habitats/conectividad_y_adaptacion_al_cambio_climatico/informe_autopistas_salvajes/
- Áreas prioritarias para la protección de la avifauna contra colisión y electrocución
Institución: Generalitat Valenciana
Descripción: Cartografía de zonas críticas para la protección de aves frente a infraestructuras eléctricas.
Dirección: <https://geocataleg.gva.es/#/results/biodiversidad>
- IBAs (Áreas Importantes para la Conservación de las Aves)
Institución: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)
Descripción: Espacios identificados por criterios científicos para la conservación de avifauna.
Dirección: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ibas_descargas.html
- Red Natura 2000 y ZEPIM
Institución: Generalitat Valenciana
Descripción: Cartografía de espacios protegidos terrestres y marinos en la Comunitat Valenciana.
Dirección: https://geocataleg.gva.es/#/results/espacios_protegidos
- Reservas de la Biosfera
Institución: Generalitat Valenciana
Descripción: Áreas designadas por la UNESCO para la conservación y desarrollo sostenible.
Dirección: https://geocataleg.gva.es/#/results/espacios_protegidos
- Lugares de Interés Geológico (LIG)
Institución: Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

Descripción: Inventario de áreas con valor geológico relevante para la investigación y conservación.

Dirección:

<https://info.igme.es/catalogo/resource.aspx?portal=1&catalog=3&ctt=1&lang=spa&dlang=eng&llt=dropdown&master=infoigme&shdt=false&shfo=false&resource=41>

- Montes de Utilidad Pública (MUP)

Institución: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)

Descripción: Terrenos forestales declarados de interés general por sus valores ecológicos y sociales.

Dirección:

https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/iepf_descargas.html

- Parques eólicos existentes

Institución: Generalitat Valenciana

Descripción: Información sobre parques eólicos en funcionamiento en la Comunitat Valenciana.

Dirección: <https://geocataleg.qva.es/#/results>

- Redes de Transporte

Institución: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

Descripción: Cartografía de infraestructuras viarias y ferroviarias para análisis de accesibilidad y visibilidad.

Dirección: <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/redes-transporte>

5. Metodología

La metodología aplicada en este Trabajo de Fin de Máster se ha planteado para obtener y valorar la localización óptima de un parque eólico. Para ello se estudian diferentes aspectos, como análisis técnico, ambiental y acústico.

Esta metodología se divide en dos grupos principales: el estudio de sensibilidad y el estudio acústico.

5.1. Propuesta de metodología para el estudio de sensibilidad

El estudio de sensibilidad se basa en la aplicación de técnicas de evaluación multicriterio mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el objetivo de integrar diversos factores ambientales en un modelo espacial. Para ello, se analizan diferentes capas de información pública que representan variables relevantes para la calidad ambiental del área de estudio.

Para facilitar la comprensión del proceso, se ha estructurado en tres fases:

- Datos de entrada:
 - Capas vectoriales: Red Natura 2000, IBAs, corredores ecológicos, reservas de la biosfera, parques naturales, montes de utilidad pública, patrimonio cultural (BIC).
 - Capas calculadas: visibilidad calculada a partir del MDT, fauna y flora geolocalizada.
 - Cartografía base: MDT 5 × 5 m (PNOA-LiDAR), redes de transporte.
- Procesos:
 1. Reproyección y recorte de todas las capas al ámbito de estudio (buffer de 15 km).
 2. Rasterización de capas vectoriales con resolución homogénea (5 m/píxel).
 3. Asignación de pesos mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), técnica desarrollada por Saaty (1980), que permite comparar factores por pares y calcular su importancia relativa.
 4. Integración de capas mediante álgebra de mapas en QGIS para obtener el índice global de sensibilidad.
- Resultados:
 - Mapas temáticos por factor ambiental.
 - Mapa final de sensibilidad con clasificación en cinco niveles (muy baja, baja, media, alta, muy alta).

El método AHP se ha seleccionado por su capacidad para estructurar problemas complejos y asignar pesos de forma coherente (Saaty, T. L., The Analytic Hierarchy Process, 1980). Los criterios definidos siguen las directrices del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, priorizando factores como:

- Protección legal (Red Natura 2000, ZEPA, ZEC).
- Sensibilidad de la avifauna (IBAs, áreas prioritarias).
- Conectividad ecológica (corredores, autopistas salvajes).
- Impacto paisajístico (visibilidad).
- Patrimonio cultural y geológico (BIC, LIG).

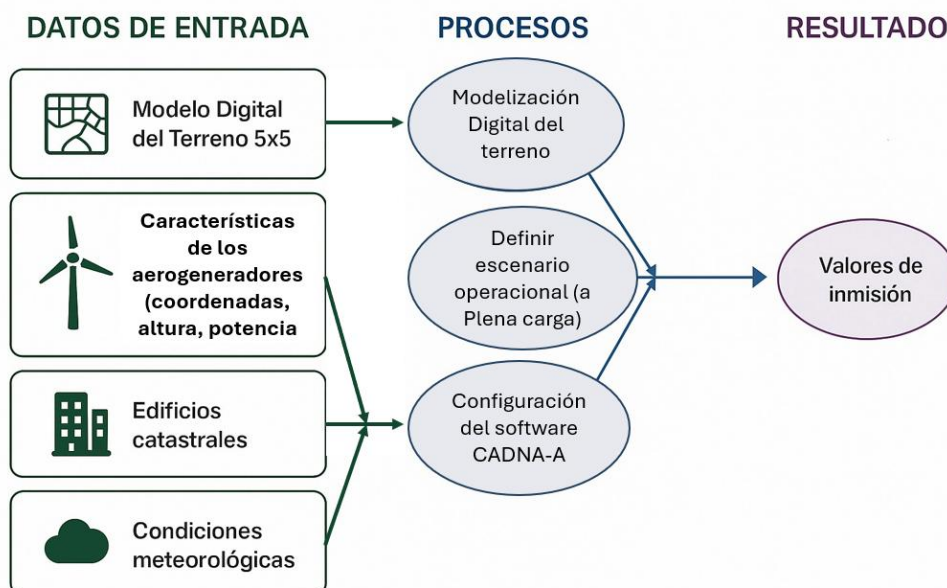
Cada criterio se pondera en una escala de 1 a 9 según su influencia sobre la viabilidad ambiental del proyecto.

Dado que este tipo de trabajos implica tareas repetitivas y con un alto riesgo de error manual, se ha optado por automatizar los procesos más tediosos mediante scripts en Python. Estas herramientas han permitido agilizar la depuración de datos, la geolocalización de especies y la generación de capas ráster interpoladas, reduciendo significativamente el tiempo de trabajo y aumentando la reproducibilidad del análisis. Gracias a esta automatización, se ha conseguido un flujo de trabajo más eficiente y adaptable a futuros estudios similares.

5.2. Propuesta de metodología para el estudio acústico

El análisis acústico se plantea con el objetivo de estimar el impacto sonoro generado por los aerogeneradores durante la fase de operación, garantizando el cumplimiento de la normativa vigente y la compatibilidad del proyecto con su entorno.

Para entender rápidamente la metodología y el funcionamiento del software CADNA-A se ha incorporado un esquema metodológico:



Datos de entrada:

- Modelo Digital del Terreno (MDT) 5 × 5 m (IGN – PNOA LiDAR).
- Coordenadas y características técnicas de los aerogeneradores (altura de buje, diámetro de rotor, potencia acústica).
- Información sobre edificaciones (Catastro – INSPIRE Buildings).
- Condiciones meteorológicas estándar (velocidad del viento, temperatura, humedad).
- Normativa aplicable: Real Decreto 1367/2007, Ley 7/2002 de la Comunidad Valenciana, metodología CNOSSOS-EU

Procesos:

1. Modelización digital del terreno: Integración del MDT y capas vectoriales en CADNA-A para reproducir la orografía y obstáculos.
2. Definición del escenario operacional: Funcionamiento a plena carga, condición más desfavorable en términos de emisión sonora.
3. Configuración del modelo acústico:

- Potencia acústica de cada aerogenerador (≈ 107 dBA).
 - Coeficientes de absorción del suelo (0 para superficies reflectantes, 1 para vegetación).
 - Altura de cálculo: 4 m sobre el terreno.
4. Simulación con CADNA-A: Aplicación de algoritmos CNOSSOS-EU para calcular niveles de inmisión sonora.
 5. Generación de resultados: Mapas de isófonas, comparación con límites normativos y análisis de restricción sonora con otros parques eólicos.

Resultados:

- Mapas acústicos con leyenda, escala y coordenadas.
- Estadísticas zonales que cuantifican áreas afectadas por cada rango de nivel sonoro.
- Propuesta de medidas correctoras en caso de superación de límites.

La metodología aplicada sigue las directrices del Real Decreto 1367/2007 y la Ley 7/2002 de la Comunidad Valenciana, complementadas con la metodología CNOSSOS-EU para el cálculo del ruido ambiental (Comisión Europea, 2012). La simulación se realiza con el software CADNA-A, ampliamente utilizado en estudios de propagación sonora en entornos complejos (Datakustik GmbH, 2025).

5.3. Herramientas utilizadas

Por un lado, QGIS se ha utilizado para el tratamiento de información espacial y la elaboración del estudio de sensibilidad ambiental. Este software de código abierto facilita la integración de capas cartográficas procedentes de fuentes oficiales, el análisis multicriterio mediante álgebra de mapas y la generación de modelos ráster que reflejan la distribución de la sensibilidad ambiental en el ámbito de estudio. Además, permite aplicar el método AHP para ponderar los factores considerados y obtener un índice global que clasifique el territorio en función de su vulnerabilidad.

Por otro lado, el análisis acústico se ha planteado siguiendo la metodología estándar basada en el uso de CADNA-A, un software especializado en la simulación de propagación sonora en entornos complejos. Esta herramienta permite introducir parámetros como la potencia acústica de los aerogeneradores, la orografía, las características del suelo y las condiciones meteorológicas, generando mapas de isófonas que representan los niveles de inmisión sonora.

Por último, se ha utilizado el software Microsoft Excel para el cálculo de las operaciones y ecuaciones de la metodología AHP.

La combinación de estas herramientas asegura un enfoque integral, que integra criterios ambientales y acústicos en la evaluación del proyecto, ofreciendo resultados precisos y adaptados a la normativa vigente.

6. Estudio de Sensibilidad Ambiental: resultados

6.1. Identificación y análisis de factores clave

Para analizar el estudio de sensibilidad se van a estudiar diversas capas con carácter medioambiental siguiendo las indicaciones del Ministerio De Transición Ecológico y El Reto Demográfico, el cual propone las capas necesarias para realizar dicho estudio. Por otra parte, se complementarán con algunas capas extra con ámbito más local adaptado al territorio del ámbito de estudio.

6.1.1. Autopistas Salvajes

El informe Autopistas Salvajes, elaborado por WWF España, identifica 12 corredores ecológicos prioritarios en la Península Ibérica con el objetivo de garantizar la conectividad entre espacios naturales y facilitar la movilidad de la fauna. La fragmentación del territorio, causada por infraestructuras lineales (autopistas, carreteras, líneas ferroviarias) y la expansión de la agricultura intensiva, ha reducido drásticamente la capacidad de los ecosistemas para mantener procesos naturales como la dispersión de semillas, el intercambio genético y la provisión de servicios ecosistémicos. Aunque el 27 % del territorio español está protegido bajo la Red Natura 2000, estos espacios permanecen aislados, lo que compromete la conservación de especies emblemáticas como el lince ibérico y el oso pardo. El informe propone restaurar 17 zonas críticas para reconectar hábitats y frenar la pérdida de biodiversidad, integrando estos corredores en la futura Estrategia Estatal de Infraestructura Verde.

La Sierra del Tejo se encuentra en un área estratégica para la conectividad ecológica en la Comunidad Valenciana, donde la fragmentación del paisaje es evidente por la presencia de infraestructuras viarias y la presión agrícola en las zonas bajas. Aunque no forma parte de los corredores principales identificados por WWF, su proximidad a espacios Red Natura 2000 y a áreas forestales de alto valor ecológico la convierte en un punto relevante para la conectividad regional. La implantación de aerogeneradores en esta zona debe considerar la función de los corredores ecológicos como vías de desplazamiento para mamíferos y aves, evitando la creación de nuevas barreras físicas y minimizando el riesgo de colisión. Además, la planificación debe integrar medidas que favorezcan la permeabilidad del territorio, como el mantenimiento de áreas de paso y la restauración de hábitats degradados en las inmediaciones de las infraestructuras existentes.

Como la capa de autopistas salvajes viene en formato de línea, se tendrá que convertir a polígono para poder hacer los procedimientos posteriores de análisis. Para ello se utilizará la herramienta "Buffer" de Qgis para convertirla a polígono, con una distancia de 100m de ancho.

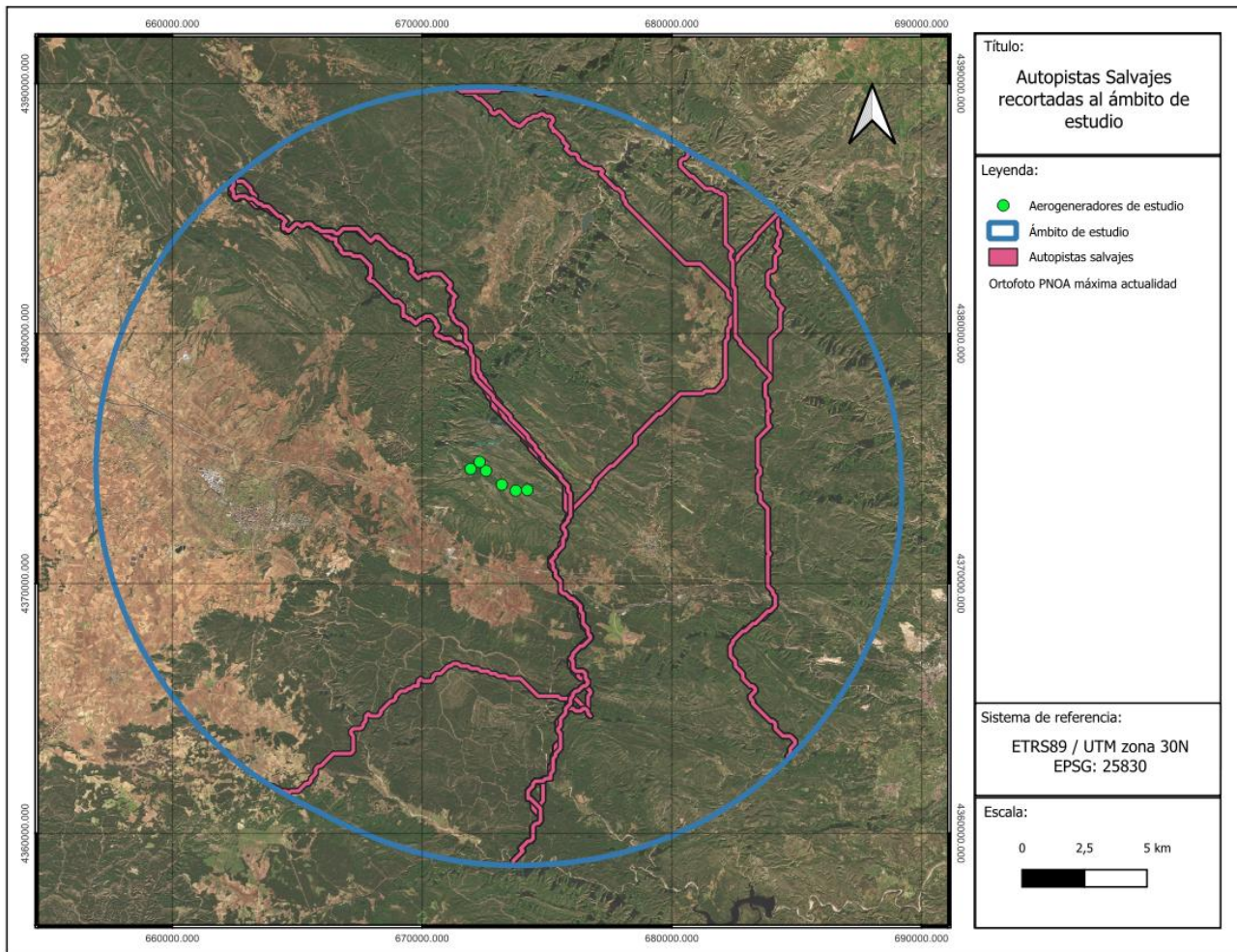


Ilustración 4. Autopistas Salvajes. Fuente: Elaboración propia

6.1.2. IBAs (Áreas Importantes para la Conservación de las Aves)

Las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (IBAs) son espacios identificados por BirdLife International y sus socios, como SEO/BirdLife en España, que cumplen criterios científicos relacionados con la presencia de especies amenazadas, poblaciones significativas o hábitats esenciales para la avifauna. Aunque no constituyen una figura legal de protección, las IBAs son reconocidas internacionalmente como referencia para la planificación territorial y la designación de espacios protegidos, especialmente en el marco de la Red Natura 2000.

En España se han identificado más de 480 IBAs, que abarcan aproximadamente 24,5 millones de hectáreas, incluyendo áreas terrestres y marinas. Estos espacios son fundamentales para garantizar la supervivencia de especies como el águila imperial ibérica, la avutarda, el sisón común o diversas rapaces y aves esteparias. La metodología de identificación se basa en criterios objetivos: tamaño de población, diversidad y estado de amenaza, lo que convierte a las IBAs en un instrumento clave para la conservación de la biodiversidad.

El emplazamiento del parque eólico se encuentra dentro de la IBA *Hoces del Turia y Los Serranos*, lo que implica una alta sensibilidad ambiental. Esta área es relevante para especies rapaces y aves planeadoras que utilizan las corrientes térmicas para desplazarse, así como para aves migratorias que atraviesan la región en sus rutas estacionales. Además, en el entorno próximo se localiza otra IBA de gran importancia: *Hoces del Cabriel y del Júcar*, que refuerzan la conectividad ecológica y la relevancia ornitológica del territorio.

La presencia del parque en esta zona incrementa el riesgo de colisión con aerogeneradores, por lo que se deben aplicar medidas preventivas estrictas:

- Sistemas de detección y parada automática ante presencia de aves.
 - Monitorización continua durante la fase de operación.
 - Restricciones temporales en periodos críticos de migración y reproducción.
- En el análisis multicriterio, esta capa debe recibir el peso más elevado, dado que la avifauna es uno de los factores más sensibles en la implantación de parques eólicos.

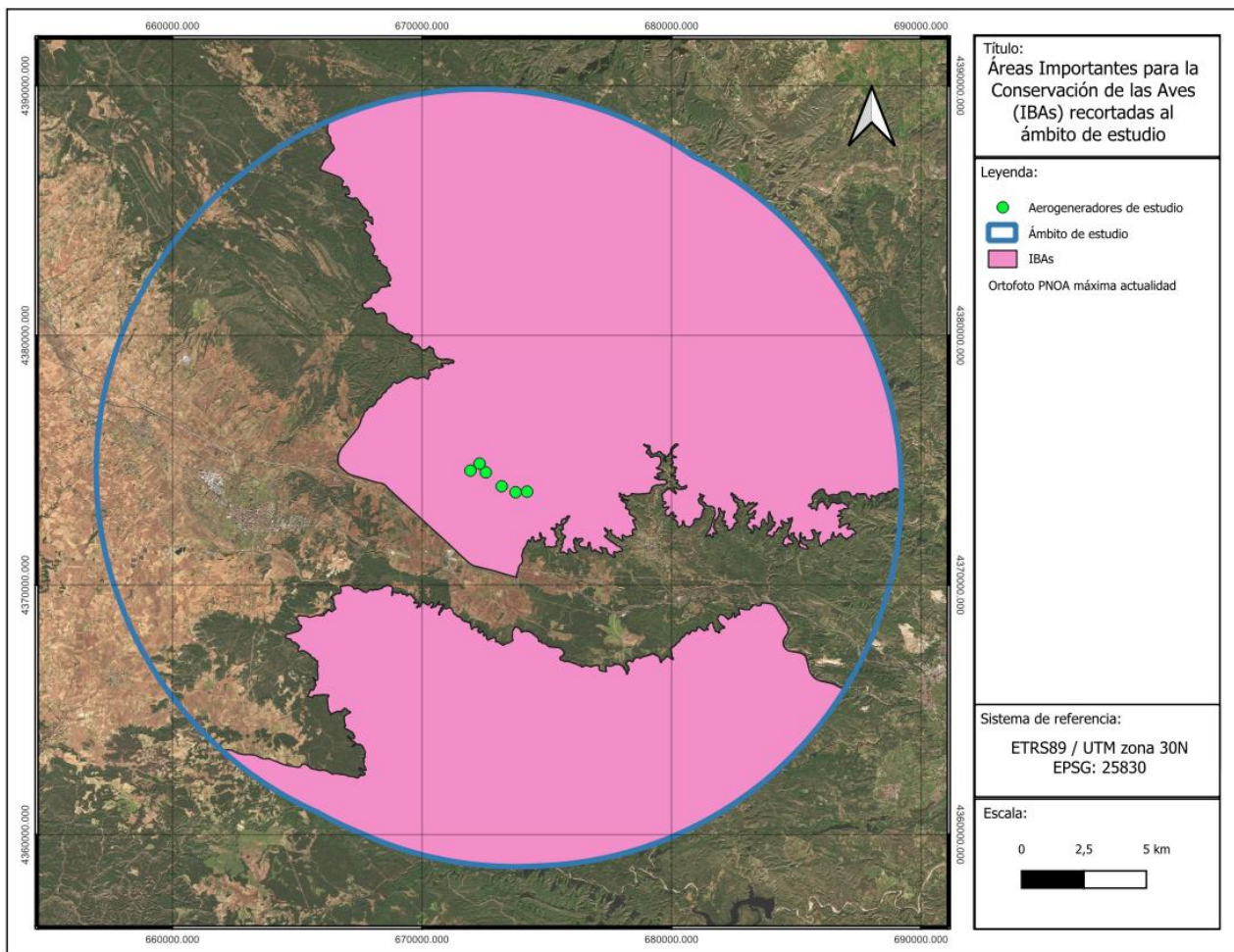


Ilustración 5. Áreas importantes para la conservación de las Aves. Fuente: Elaboración propia

6.1.3. Áreas prioritarias para la protección de la avifauna

La interacción entre la avifauna y las infraestructuras energéticas constituye uno de los principales riesgos ambientales asociados a proyectos eólicos. Aunque el impacto más evidente se produce por la colisión con las palas de los aerogeneradores, también debe considerarse el riesgo de electrocución en las líneas eléctricas de evacuación, especialmente en especies de gran envergadura que utilizan apoyos y tendidos como posaderos.

Este aspecto se encuentra regulado por el Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, que establece medidas para la protección de la avifauna frente a la colisión y electrocución en líneas eléctricas de alta tensión. Dicho marco normativo define zonas de protección específicas, en las que se aplican criterios técnicos para reducir la mortalidad no natural, como el diseño seguro de apoyos y la instalación de dispositivos anticolidión.

En el ámbito del presente estudio, el emplazamiento del parque eólico se sitúa dentro de una zona designada para la protección de la avifauna obtenido del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), lo que implica una elevada sensibilidad ambiental. Estas áreas

coinciden habitualmente con corredores migratorios y zonas de campeo, donde se concentran especies rapaces y aves planeadoras. Por ello, su consideración en el análisis multicriterio es esencial para identificar áreas donde la implantación de aerogeneradores y líneas eléctricas podría generar impactos significativos sobre especies protegidas.

Al igual que en el apartado anterior relativo a las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (IBAs), se prevé la aplicación de los mismos criterios orientados a minimizar la afección sobre la biodiversidad, garantizando la coherencia metodológica en todo el estudio.

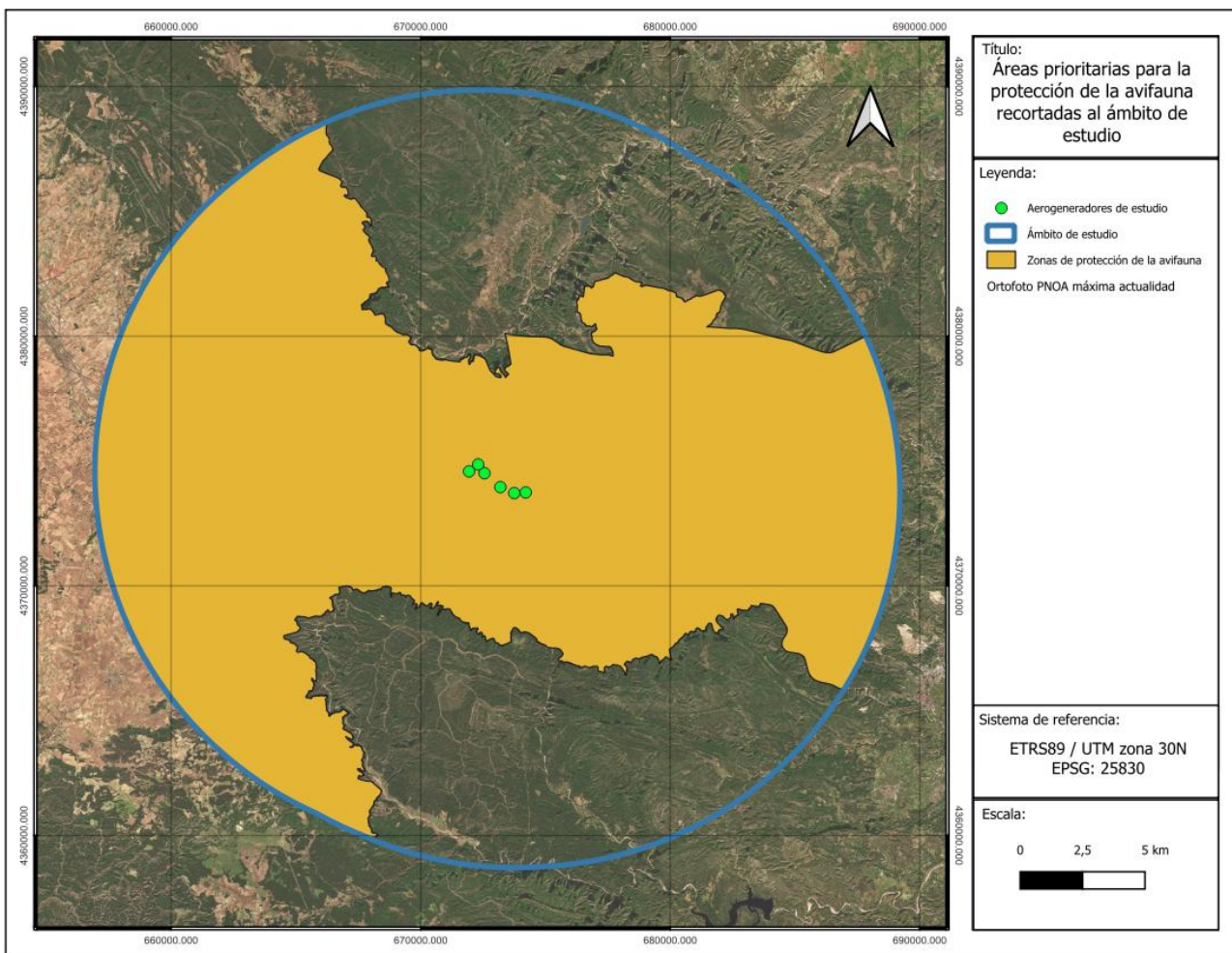


Ilustración 6. Áreas prioritarias para la protección de la avifauna. Fuente: Elaboración propia

6.1.4. Fauna y Flora

La fauna constituye uno de los factores más determinantes en la evaluación ambiental de proyectos eólicos, dado que la presencia de especies protegidas o de interés comunitario puede condicionar la viabilidad del emplazamiento. En particular, la avifauna y los quirópteros presentan una alta sensibilidad frente a la colisión con aerogeneradores, mientras que otras especies terrestres y acuáticas pueden verse afectadas por la fragmentación del hábitat. Por ello, la correcta identificación y representación espacial de estas especies es esencial para garantizar la compatibilidad del proyecto con la normativa vigente (Directiva Hábitats 92/43/CEE, Directiva Aves 2009/147/CE y Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad).

Para el análisis de fauna fue necesario recopilar información sobre especies prioritarias presentes en el ámbito de estudio. Inicialmente, estos datos se descargaron desde el visor de la Generalitat Valenciana en formato Excel, municipio por municipio. Este método manual, aunque funcional, resultaba poco eficiente y propenso a errores, especialmente cuando se manejan decenas de archivos.

Una vez obtenida la lista de especies prioritarias desde el visor, el primer paso es organizar toda esa información. Inicialmente, los datos se descargaron en formato Excel, municipio por municipio, lo que generó un gran número de archivos. Procesar manualmente cada uno de ellos habría supuesto un trabajo lento y con riesgo de errores. Para evitarlo, se desarrolló un primer script en Python que automatiza esta tarea. Este script recorre todos los ficheros Excel que se encuentran en una carpeta seleccionada por el usuario, extrae los nombres científicos de las especies y genera una lista única sin duplicados. De esta forma, se consigue en pocos segundos lo que manualmente llevaría horas, asegurando además que no se omita ninguna especie y que no se repitan registros.

```

Python 3.13.3 (tags/v3.13.3:6280bb5, Apr 8 2025, 14:47:33) [MSC v.1943 64 bit (AMD64)] on win32
Enter "help" below or click "Help" above for more information.

>>>
===== RESTART: C:\Users\calos\Downloads\TFM_CarlosAlos_act\species.py =====
['Aquila chrysaetos', 'Aquila fasciata', 'Bubo bubo', 'Circus aeruginosus', 'Coracias garrulus', 'Falco peregrinus', 'Galerida theklae', 'Gyps fulvus', 'Hieraaetus pennatus', 'Lullula arborea', 'Mauremys leprosa', 'Miniopterus schreibersii', 'Myotis blythii', 'Myotis myotis', 'Oenanthe leucura', 'Ophrys incubacea', 'Rhinolophus euryale', 'Rhinolophus ferrumequinum', 'Rhinolophus hipposideros', 'Rhinolophus mehelyi', 'Saponaria officinalis', 'Alcedo atthis', 'Austroptambius pallipes', 'Barbastella barbastellus', 'Caprimulgus europaeus', 'Cinclus cinclus', 'Cobitis paludica', 'Coenagrion mercuriale', 'Dryopteris filix-mas', 'Lutra lutra', 'Myotis capaccinii', 'Necophoron percnopterus', 'Parachondrostoma turiense', 'Pleurodeles waltl', 'Pyrrhocorax pyrrhocorax', 'Sylvia undata', 'Triops cancrivorus', 'Acis valentina', 'Cerambyx cerdo', 'Emberiza hortulana', 'Fernis apivorus', 'Myotis emarginatus', 'Oxygastra curtisii', 'Discoglossus galganoi', 'Microtus cabrerai', 'Anthus campestris', 'Astragalus oxyglossus', 'Calandrella brachydactyla', 'Callipeltis cucullaris', 'Centraurea toletana', 'Chamaeiris foetidissima', 'Chamaeiris reichenbachiana', 'Circus pygargus', 'Fringilla alpinus', 'Himantopus hircinurus', 'Lonicera biflora', 'Melanocorypha caelans', 'Onychomophus costae', 'Parachondrostoma arrigonis', 'Felobates cultripes', 'Salix fluviatilis', 'Stipa barbata', 'Thymus lacaitae', 'Riparia riparia']

>>>
import re
from pathlib import Path
import pandas as pd

BINOMIAL_RE = re.compile(r"^[?=?]\s*([A-Z][a-záéíóúñç]+)\s+([a-z-áéíóúñç]+)

def _clean_entry(text: str) -> str:
    text = re.sub(r"^[?=?]\s+", "", text or "")
    return re.sub(r"\s+", " ", text).strip()

def _is_scientific_name(text: str) -> bool:
    return bool(BINOMIAL_RE.match(text))

def extract_species_from_first_column(df: pd.DataFrame):
    col = df.iloc[:, 0].astype(str).map(_clean_entry)
    return [val for val in col if val and _is_scientific_name(val)]

def read_excel_first_col(file_path: Path):
    engine = "openpyxl" if file_path.suffix.lower() == ".xlsx" else "xlrd"
    try:
        xls = pd.ExcelFile(file_path, engine=engine)
    except Exception:
        return []
    species = []
    for sheet in xls.sheet_names:
        try:
            df = xls.parse(sheet_name=sheet, dtype=str, usecols=[0])
            species.extend(extract_species_from_first_column(df))
        except:
            continue
    return species

def unique_species_from_folder(folder: Path, recursive=False):
    files = folder.rglob("*.xls*") if recursive else folder.glob("*.xls*")
    seen, unique = set(), []
    for f in files:
        for sp in read_excel_first_col(f):
            key = sp.lower().strip()
            if key not in seen:
                seen.add(key)
    
```

Ilustración 7. Script para detectar especies en una lista. Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso consistía en geolocalizar las especies para poder representarlas en QGIS. Existe un plugin oficial llamado GBIF que permite descargar las coordenadas de ocurrencia de cada especie, pero su uso es muy lento porque hay que introducir los nombres uno a uno. Para resolver esta limitación, se programó un segundo script en PyQGIS que toma la lista generada en el paso anterior y consulta automáticamente la API de GBIF. Este script descarga las coordenadas de cada especie y crea capas de puntos en QGIS, listas para trabajar. Con este método se evita el proceso manual y se consigue una integración directa y rápida, reduciendo errores y ahorrando mucho tiempo.

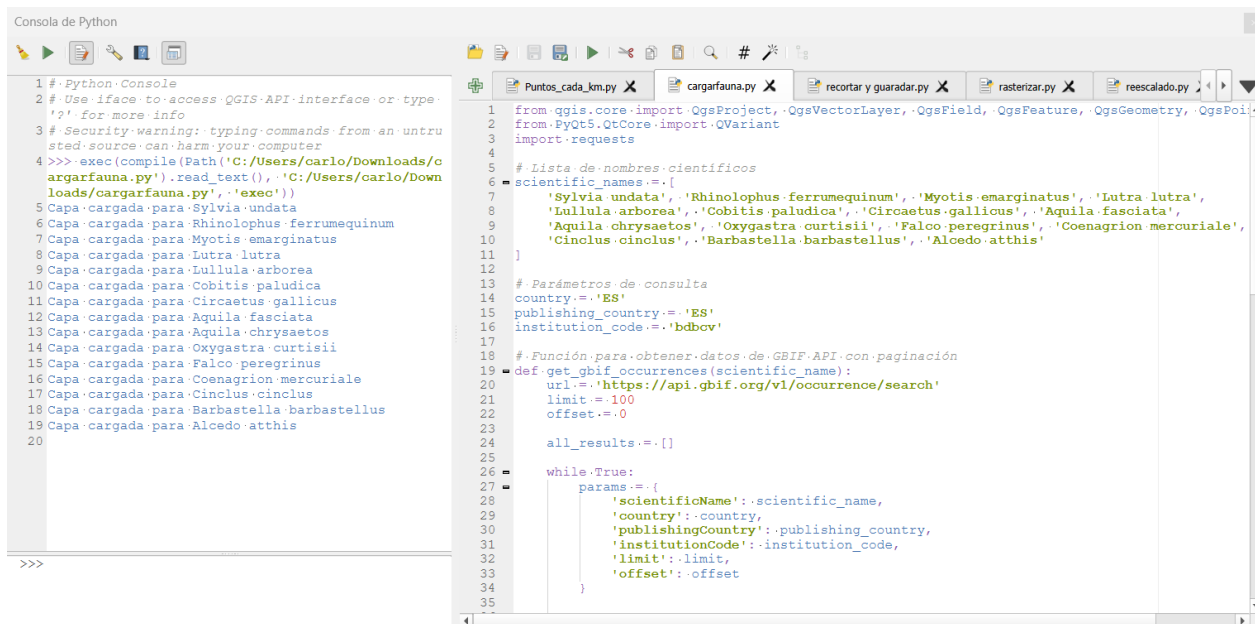


Ilustración 8. Script para geolocalizar especies. Fuente: Elaboración propia

En el ámbito de estudio destacan varias especies de interés. Entre la avifauna sobresalen *Aquila fasciata* (águila perdicera) y *Aquila chrysaetos* (águila real), rapaces de gran tamaño que utilizan cortados y zonas montañosas, junto a otras como *Circaetus gallicus* (culebrera europea), *Falco peregrinus* (halcón peregrino) y *Bubo bubo* (búho real), todas ellas muy sensibles a la presencia de aerogeneradores por sus amplios desplazamientos y hábitos de vuelo.

En cuanto a fauna terrestre, se identificaron especies ligadas a medios acuáticos como *Austroptamobius pallipes* (cangrejo de río autóctono), *Microtus cabreræ* (topillo de Cabrera) y *Mauremys leprosa* (galápago leproso), que dependen de la conectividad ecológica y la calidad del agua.

Por último, en flora destacan *Saponaria officinalis*, presente en suelos húmedos, *Centaurea toletana*, endemismo ibérico en laderas pedregosas, y *Dryopteris filix-mas*, un helecho propio de ambientes umbrosos, todas ellas indicadoras de hábitats de interés comunitario.

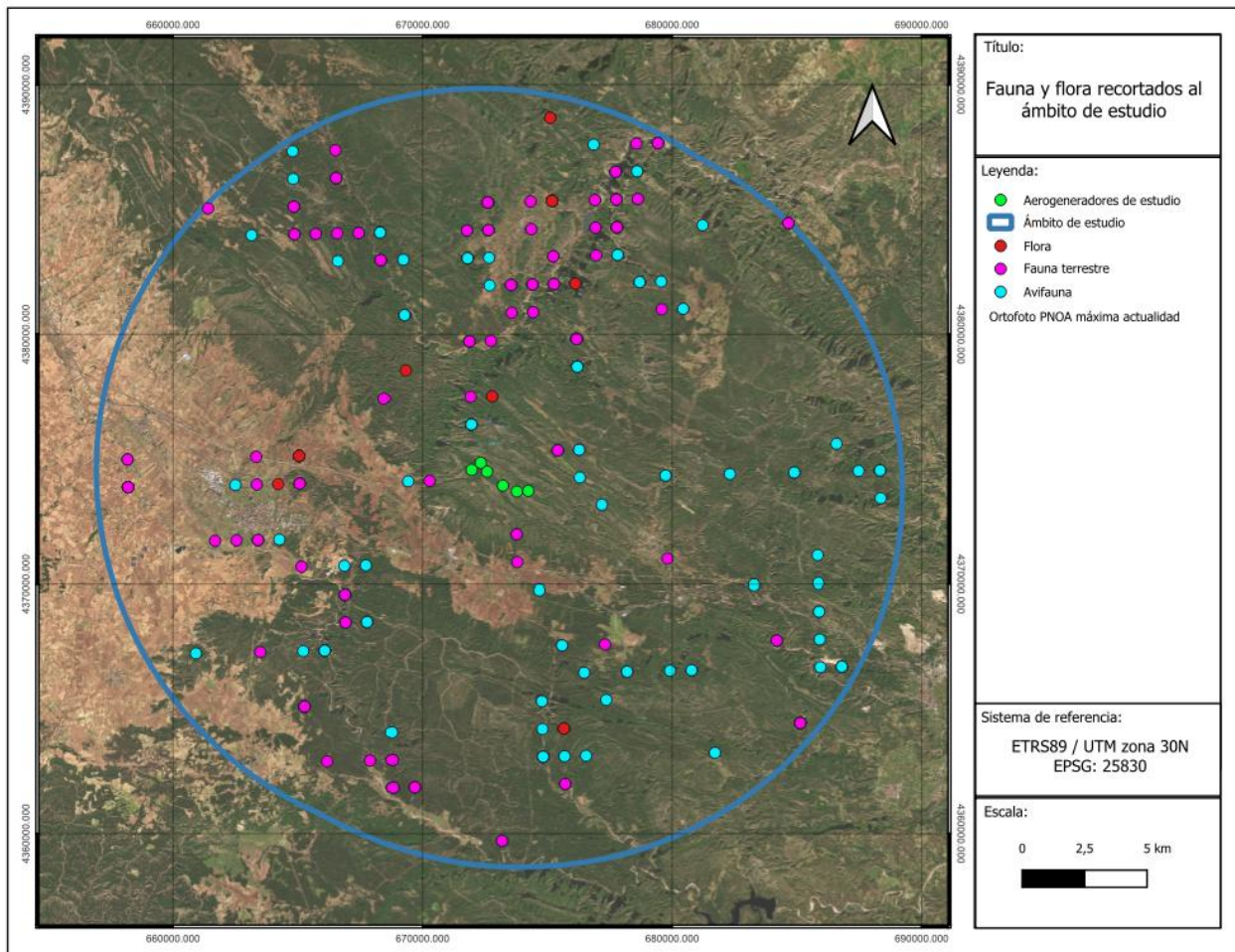


Ilustración 9. Fauna y flora Fuente: Elaboración propia

Una vez generadas las capas de puntos para cada grupo biológico (avifauna, fauna terrestre y flora), el objetivo era convertir esta información en un mapa continuo que reflejara la sensibilidad ambiental en todo el ámbito de estudio. Para ello, se desarrolló un tercer script que genera un ráster interpolado a partir de los puntos. Este script combina dos enfoques: por un lado, aplica una función de decaimiento por distancia, que asigna valores altos cerca de los puntos y decrece hasta cero en un radio definido; por otro, calcula una densidad mediante un kernel gaussiano para suavizar la distribución y reflejar áreas con mayor concentración de registros. Ambos resultados se combinan tomando el valor máximo, lo que garantiza que las zonas más sensibles queden bien representadas.

Los parámetros utilizados se ajustaron a las características de cada grupo: un radio de 2.500 metros para avifauna, 2.000 metros para fauna terrestre y 400 metros para flora, con un exponente de decaimiento de 0,7 en todos los casos. La resolución del ráster se fijó en 5 metros por píxel, lo que permite un nivel de detalle adecuado para la escala del proyecto. Finalmente, las tres capas se fusionaron aplicando la regla del máximo, de manera que, si una zona es sensible para cualquiera de los grupos, el valor final refleje esa condición. El resultado es un ráster normalizado entre 0 y 1 (siendo 0 baja sensibilidad y 1 máxima sensibilidad) que muestra la sensibilidad de las especies prioritarias del territorio, listo para integrarse en el análisis multicriterio junto con el resto de los factores ambientales.

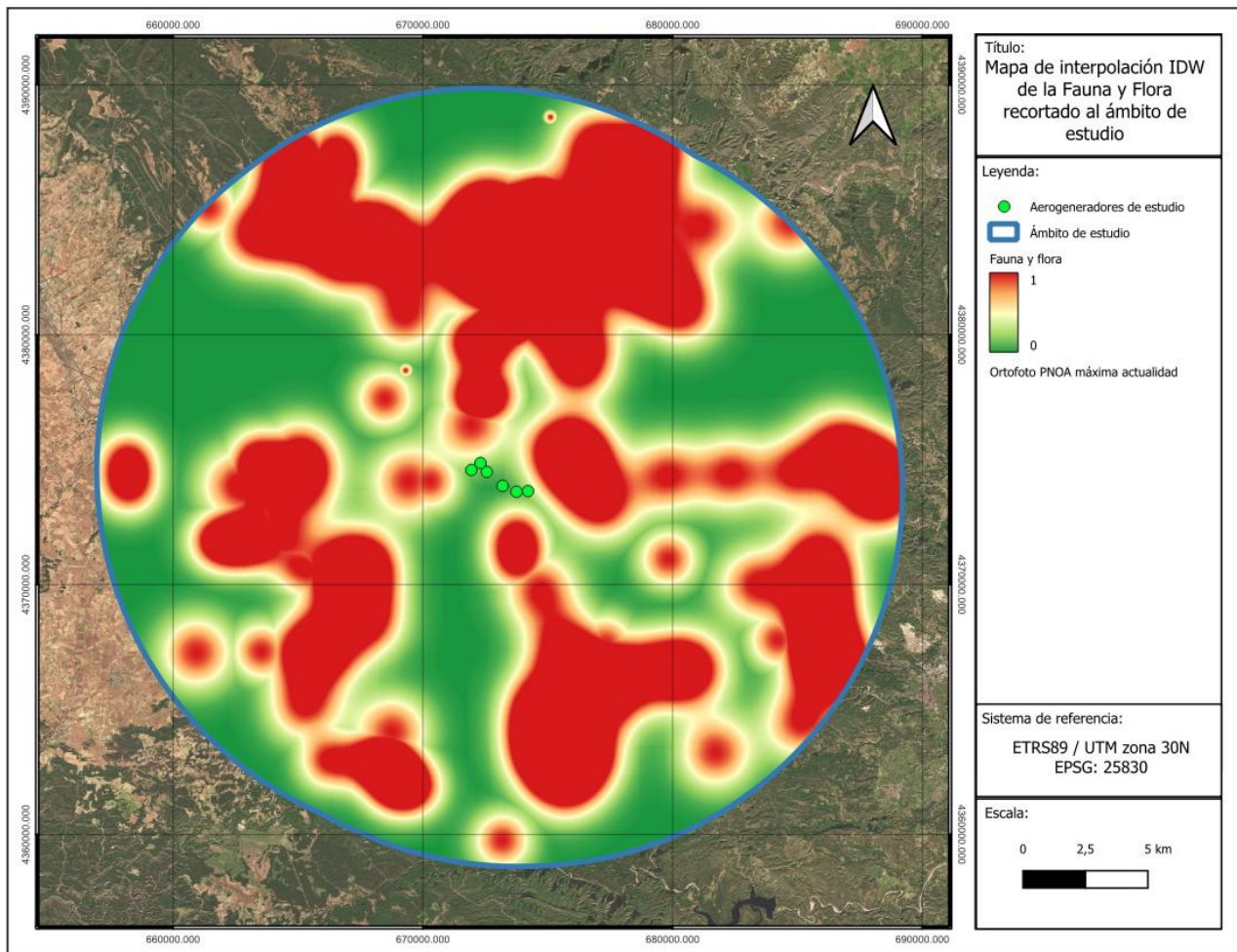


Ilustración 10. Interpolación de la fauna y flora. Fuente: Elaboración propia

6.1.5. Red Natura 2000

La Red Natura 2000 es el principal instrumento de conservación de la biodiversidad en la Unión Europea. Se trata de una red ecológica que integra Zonas Especiales de Conservación (ZEC/LIC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), designadas en virtud de las Directivas Hábitats (92/43/CEE) y Aves (2009/147/CE). Su objetivo es garantizar la supervivencia a largo plazo de las especies y hábitats más valiosos y amenazados, contribuyendo a la conectividad ecológica en el territorio europeo.

En España, la Red Natura 2000 ocupa aproximadamente el 27 % del territorio terrestre y más del 12 % del medio marino, lo que la convierte en la mayor red de espacios protegidos del país. Estos espacios no implican una prohibición absoluta de actividades humanas, sino que promueven un uso sostenible compatible con la conservación. La planificación de proyectos en áreas próximas a la Red Natura 2000 requiere una evaluación específica para evitar impactos significativos sobre los valores que motivaron su designación.

La Sierra del Tejo se encuentra en las proximidades de varias zonas incluidas en la Red Natura 2000, principalmente vinculadas a hábitats mediterráneos y especies de interés comunitario. Aunque el emplazamiento del parque eólico no se solapa directamente con ninguna ZEC/LIC ni ZEPA, su cercanía a estos espacios implica la necesidad de considerar posibles efectos indirectos, como la fragmentación del hábitat, la alteración de corredores ecológicos y el riesgo de colisión para aves protegidas.

En este contexto, el análisis de sensibilidad ambiental debe integrar la información de Red Natura 2000 como un factor prioritario, asignándole un peso elevado en la evaluación multicriterio. Además, se recomienda aplicar medidas preventivas, como la limitación de obras en periodos críticos para la fauna y la implementación de sistemas de monitorización que permitan detectar y corregir impactos durante la fase de explotación.

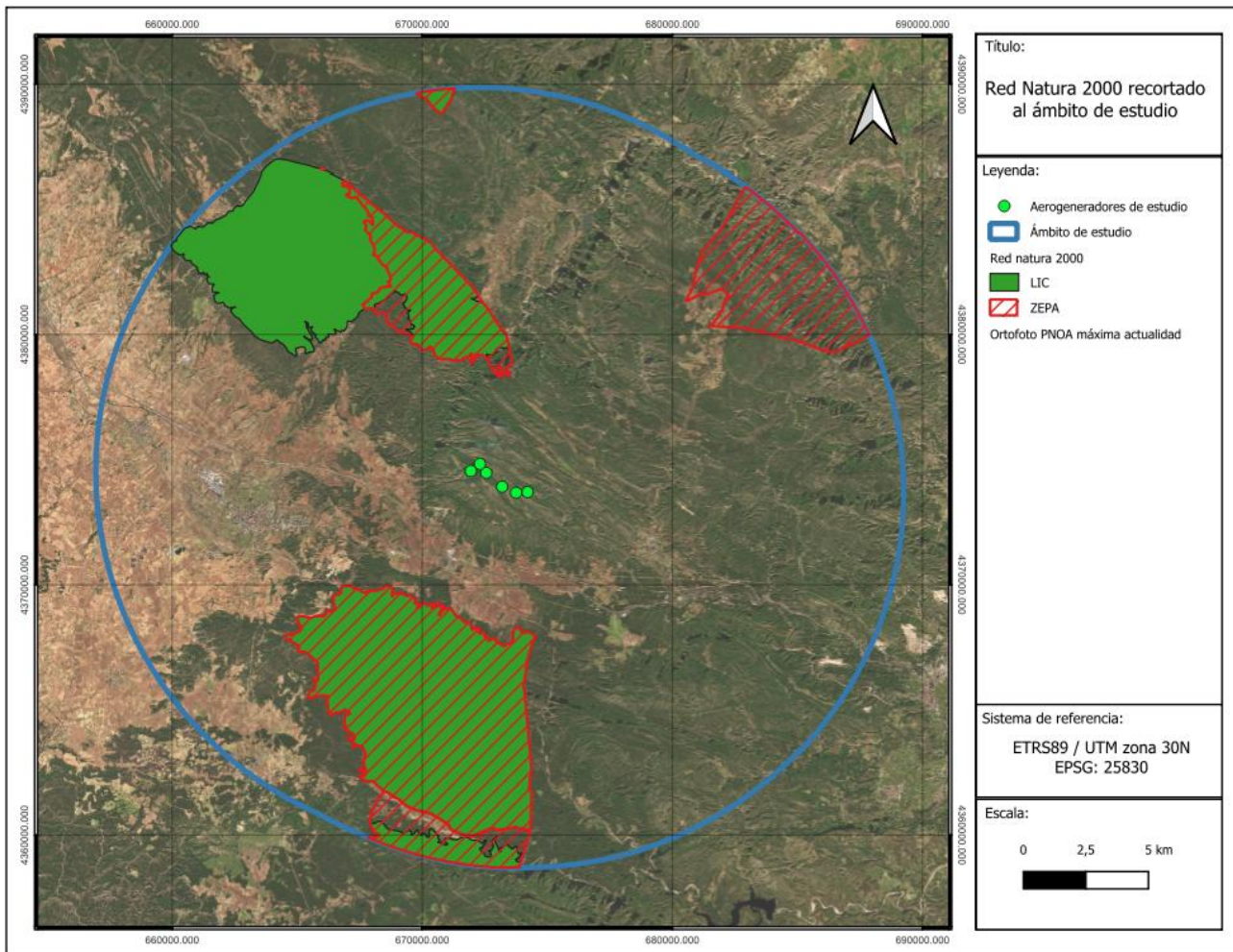


Ilustración 11. Red Natura 2000. Fuente: Elaboración propia

6.1.6. Reservas de la Biosfera

Las Reservas de la Biosfera son espacios designados por la UNESCO en el marco del Programa Hombre y Biosfera (MaB), con el objetivo de conciliar la conservación de la biodiversidad con el desarrollo sostenible. Estas áreas se caracterizan por integrar tres funciones esenciales: la protección de ecosistemas y especies, la promoción de actividades económicas sostenibles y la investigación científica orientada a la gestión del territorio.

En España existen más de 50 Reservas de la Biosfera, que abarcan entornos muy diversos, desde sistemas montañosos hasta zonas costeras y humedales. Su delimitación incluye zonas núcleo, destinadas a la conservación estricta, y áreas de transición, donde se permiten usos compatibles con la sostenibilidad. Aunque no implican una prohibición absoluta de actividades, cualquier proyecto en su ámbito debe garantizar que no compromete los valores naturales ni los objetivos de

desarrollo sostenible asociados.

En el ámbito de influencia del proyecto se encuentran dos Reservas de la Biosfera: Valle del Cabriel y Alto Turia. Ambas se localizan a cierta distancia del emplazamiento, por lo que la afección directa es nula. Sin embargo, su presencia en el entorno regional refuerza la importancia de mantener la conectividad ecológica y evitar impactos indirectos que puedan comprometer los objetivos de conservación.

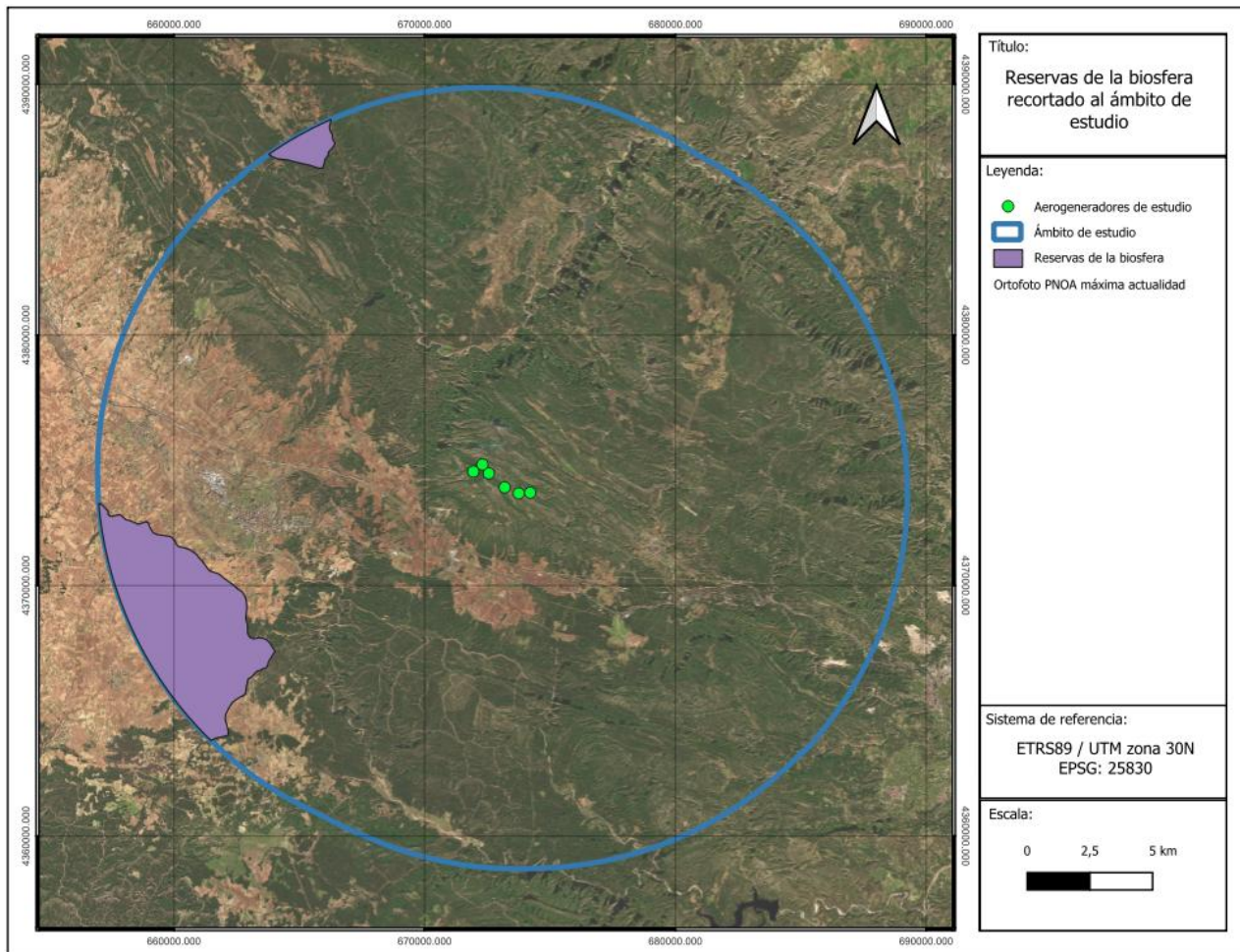


Ilustración 12. Reservas de la Biosfera. Fuente: Elaboración propia

6.1.7. Visibilidad

El análisis de visibilidad constituye un componente esencial en la evaluación del impacto paisajístico asociado a la implantación de parques eólicos, dado que permite determinar el grado de exposición visual de las infraestructuras desde diferentes puntos del territorio. Este criterio se encuentra recogido en las directrices del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, que establecen la necesidad de identificar las áreas significativamente visibles mediante técnicas basadas en modelos digitales del terreno (MDT) y análisis de cuenca visual (viewshed).

Para la presente investigación, se ha adoptado una metodología que combina la normativa con procedimientos automatizados en entornos SIG, orientada a garantizar la reproducibilidad y la precisión del análisis.

En primer lugar, se descargó la red viaria desde el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) en formato vectorial, asegurando su proyección en coordenadas métricas (p. ej.,

EPSG:25830). Posteriormente, se realizó una depuración para conservar únicamente las categorías de mayor jerarquía (autopistas, autovías, carreteras nacionales y autonómicas), conforme a los criterios de representatividad territorial establecidos en la normativa.

Sobre esta red se implementó un procedimiento automatizado para la generación de puntos de observación, espaciados a intervalos regulares de 1.000 metros, siguiendo las recomendaciones de la Guía Técnica para la Evaluación del Impacto Paisajístico del Ministerio. Este proceso se desarrolló mediante un script en Python integrado en el entorno QGIS, que emplea las clases del API de PyQGIS para:

- Interpolación lineal sobre geometrías de tipo *LineString* para ubicar los puntos a lo largo de cada eje viario.
- Control de separación mínima mediante un índice espacial (*QgsSpatialIndex*), evitando la acumulación excesiva en intersecciones o tramos cortos.
- Gestión de *offsets* inicial y final para excluir vértices extremos y garantizar homogeneidad.

Posteriormente, el algoritmo incorpora una fase de detección automática de núcleos poblados, basada en métricas de densidad viaria (longitud total de segmentos, número de intersecciones y diversidad de orientaciones en un radio definido). Esta detección permite identificar áreas con trama urbana, donde el impacto paisajístico presenta mayor relevancia social. En dichas zonas, el script ajusta dinámicamente la densidad de puntos (multiplicando la frecuencia de muestreo por 2,5) para reflejar la percepción visual desde entornos habitados.

El resultado final consiste en dos capas:

- Puntos de observación distribuidos de forma homogénea en la red principal, con densificación adaptativa en núcleos urbanos.
- Polígonos de núcleos detectados, generados mediante agrupamiento espacial (*clustering*) y envolventes convexas, que sirven como referencia para análisis posteriores.

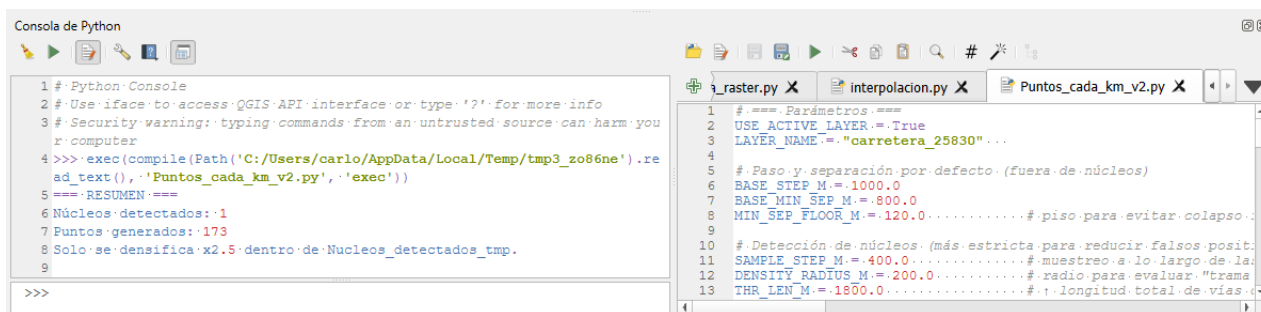


Ilustración 13. Script para generar puntos automáticos. Fuente: Elaboración propia

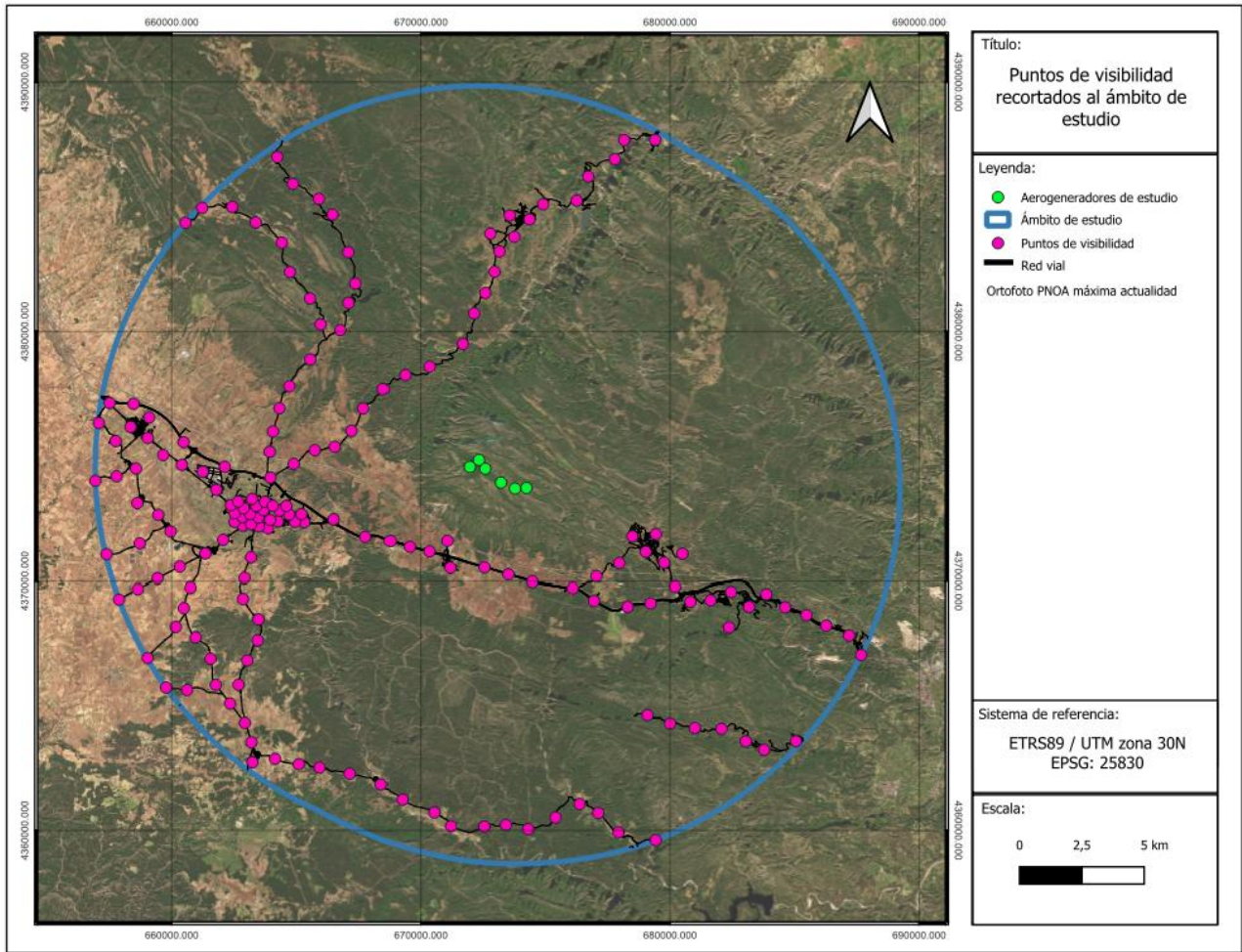


Ilustración 14. Puntos de visibilidad. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se aplicó la herramienta *Create Viewpoints* de QGIS, asignando a cada punto la altura correspondiente a los aerogeneradores proyectados (bujes más rotor), y se calculó la cuenca visual mediante la herramienta *Viewshed*, utilizando un MDT con resolución de 5x5 metros.

Ilustración 15. Características para la herramienta Viewshed. Fuente: Elaboración propia

El resultado del proceso consiste en un mapa de visibilidad que identifica las zonas desde las cuales las estructuras del parque eólico son observables. Siguiendo el criterio técnico establecido en la normativa, se consideran áreas de alta fragilidad paisajística aquellas que son visibles desde más de cinco puntos de observación. Este umbral permite discriminar las zonas con mayor exposición visual, que serán objeto de especial atención en la planificación y en la propuesta de medidas correctoras.

Esta metodología aporta varias ventajas: sigue las recomendaciones oficiales, evita la acumulación excesiva de puntos en zonas con muchas carreteras y permite repetir el análisis en otros lugares sin dificultad. Además, al incluir tanto la red viaria como los núcleos poblados, se obtiene una visión más completa del impacto visual, considerando tanto las áreas de tránsito como las zonas habitadas aportando solidez y realismo.

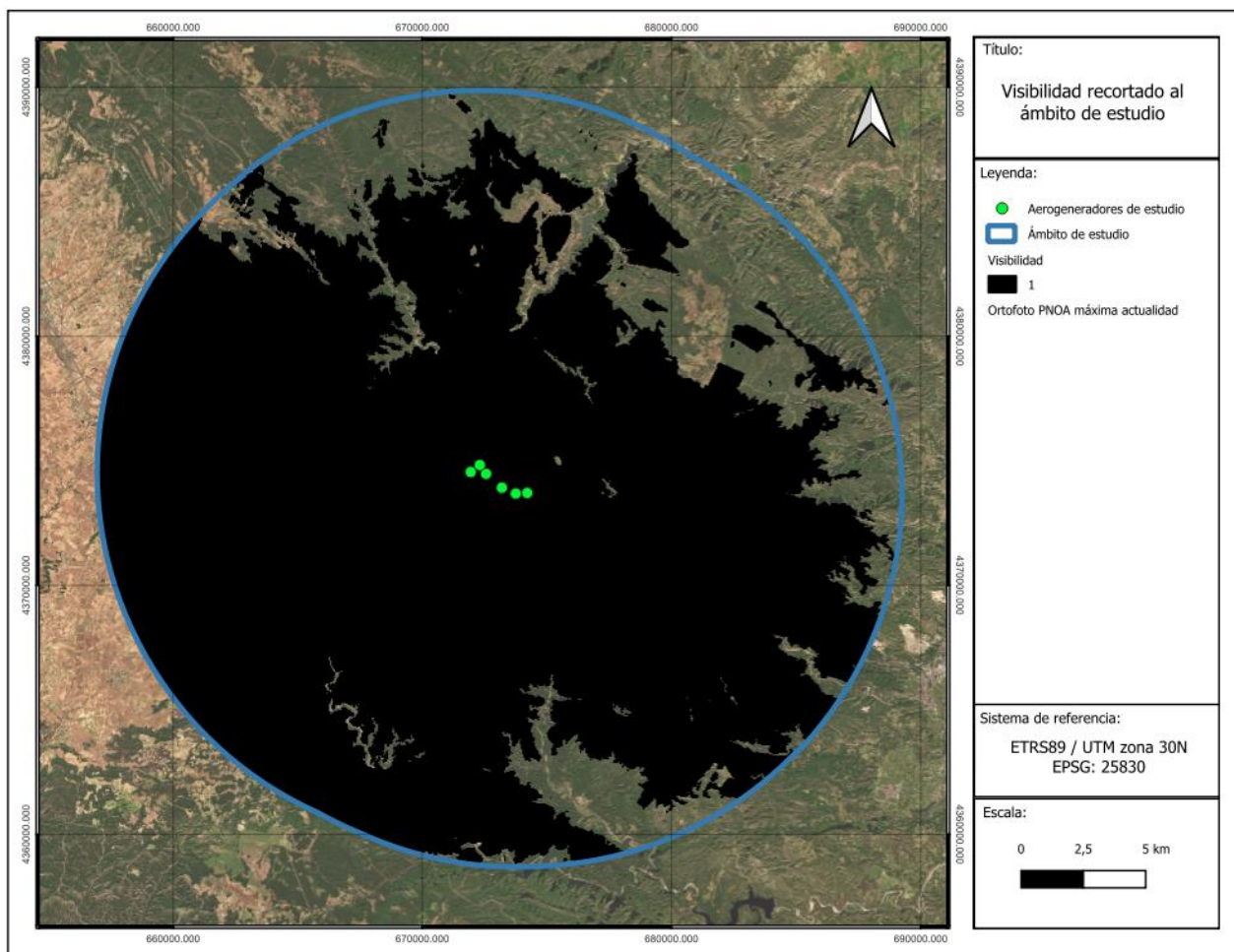


Ilustración 16. Visibilidad. Fuente: Elaboración propia

6.1.8. Parques Naturales

La capa de Parques Naturales representa los espacios protegidos declarados por las comunidades autónomas y regulados por la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Estos parques se caracterizan por albergar ecosistemas de alto valor ecológico, paisajístico y cultural, y su delimitación se incorpora en el análisis para identificar áreas donde la implantación de infraestructuras podría generar impactos sobre la conservación de la biodiversidad.

En el ámbito de estudio, aunque los aerogeneradores proyectados no se ubican dentro de ningún parque natural, el Parque Natural de Sot de Chera se encuentra dentro del buffer de 15 km definido

para el análisis. Este espacio protegido destaca por sus hábitats mediterráneos y su función como corredor ecológico, lo que le confiere una importancia significativa en la conectividad territorial.

La presencia del Parque Natural de Sot de Chera no implica afección directa sobre los aerogeneradores, pero sí añade un condicionante ambiental en el área de influencia. Por ello, se considera en el análisis multicriterio como un indicador de sensibilidad, contribuyendo a una evaluación más completa del entorno y a la identificación de posibles impactos indirectos.

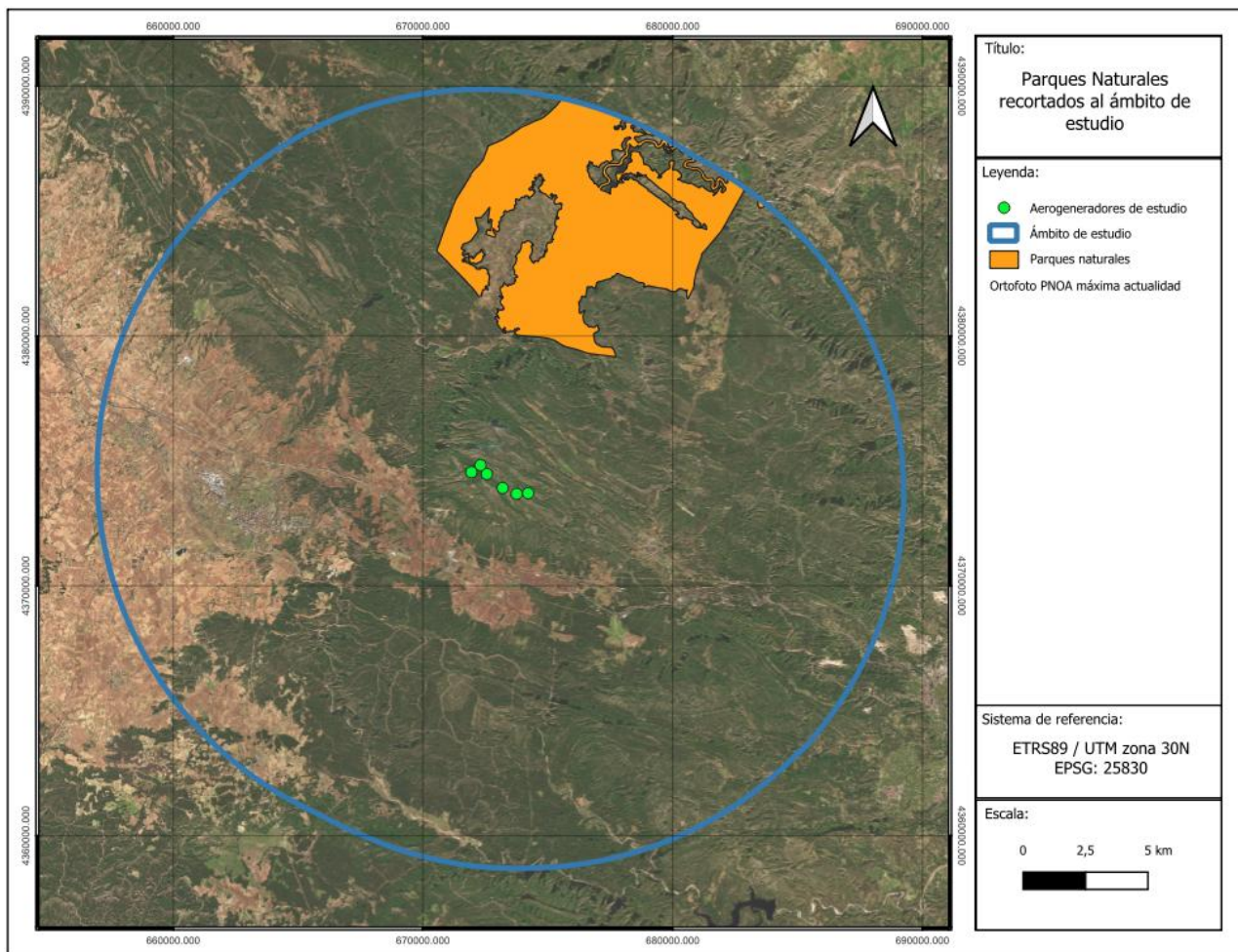


Ilustración 17. Parques naturales. Fuente: Elaboración propia

6.1.9. Montes de Utilidad Pública (MUP)

Los Montes de Utilidad Pública (MUP) son terrenos forestales que, por sus características ecológicas, hidrológicas o sociales, han sido declarados de interés general y están sometidos a un régimen especial de protección y gestión. Esta figura, regulada por la legislación forestal española, garantiza la conservación de los recursos naturales y la prevención de riesgos como la erosión, la pérdida de biodiversidad o los incendios forestales. Los MUP suelen incluir masas forestales continuas, áreas de recarga hídrica y zonas con alto valor paisajístico, donde las actividades deben ser compatibles con la protección del medio.

En el ámbito de estudio, destaca la presencia del Monte de Utilidad Pública “Las Callejuelas y Pozo

Torrentino”, que se encuentra directamente bajo uno de los aerogeneradores proyectados. Esta circunstancia implica una afección directa sobre un espacio protegido, lo que exige una evaluación específica y la adopción de medidas correctoras para minimizar el impacto. Además, el Monte “Malacara” se localiza muy próximo al emplazamiento, lo que refuerza la necesidad de extremar las precauciones durante la fase de construcción y operación, evitando la apertura de nuevos viales y reduciendo movimientos de tierra que puedan afectar la integridad del monte.

Se recomienda priorizar el uso de caminos existentes y aplicar medidas de restauración en las zonas afectadas para garantizar la compatibilidad del proyecto con la conservación forestal.

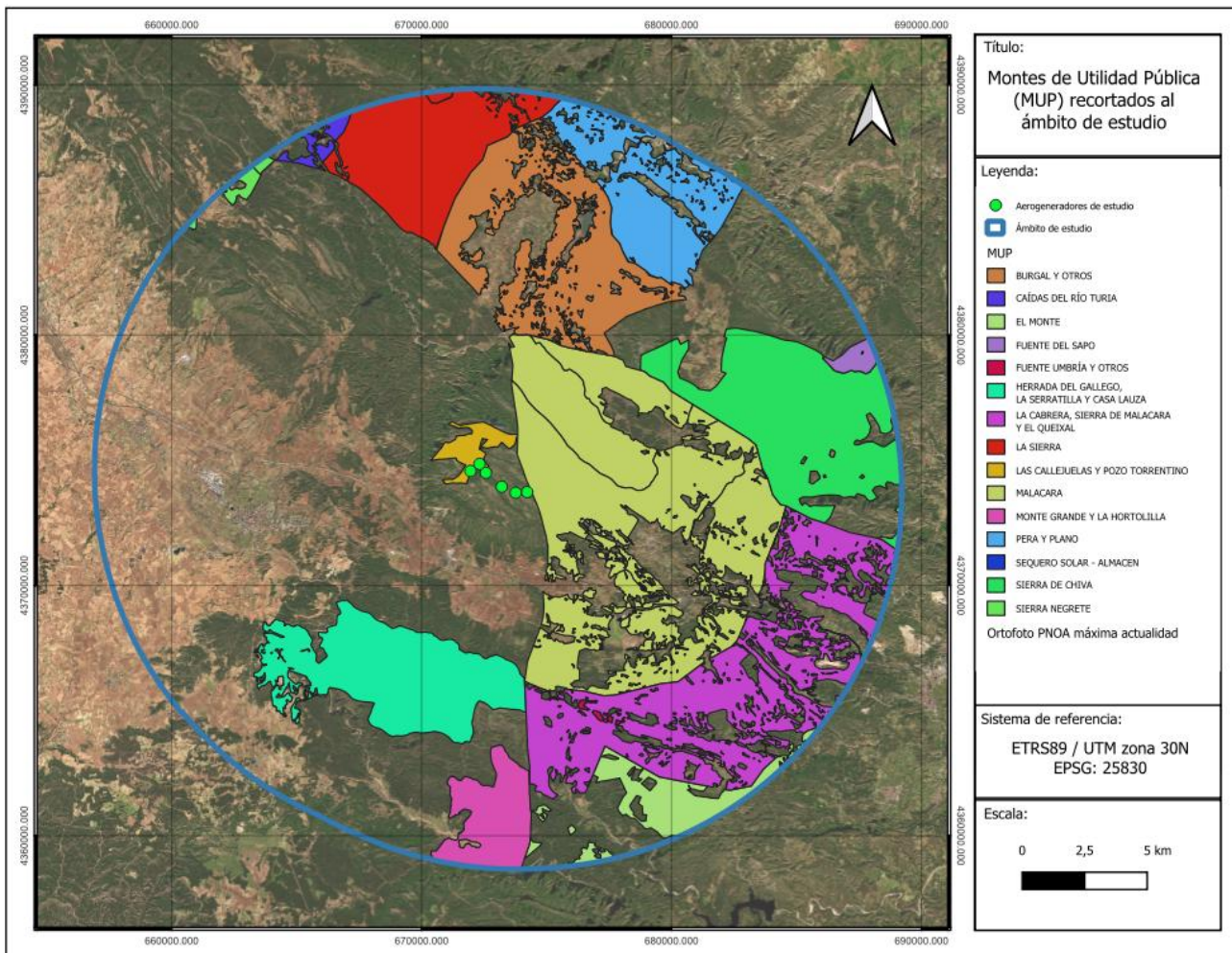


Ilustración 18. Montes de utilidad pública. Fuente: Elaboración propia

6.1.10. Lugares de Interés Geológico (LIG)

Los Lugares de Interés Geológico (LIG) forman parte del patrimonio geológico español y se definen como áreas que, por su singularidad o representatividad, son esenciales para el estudio e interpretación de la evolución de la Tierra y de los procesos que la han modelado. Estos lugares incluyen formaciones y estructuras geológicas, fósiles, minerales y otras manifestaciones que permiten comprender los climas del pasado, la dinámica tectónica y la evolución de la vida. El Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG), coordinado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), clasifica estos espacios según su relevancia (local, regional, nacional o internacional) y su potencial de uso científico, didáctico o turístico. La metodología de selección se basa en criterios multicriterio que valoran el interés intrínseco, la necesidad de protección y la posibilidad de aprovechamiento sostenible.

En la Comunidad Valenciana, los LIG se concentran en áreas montañosas y zonas con estructuras geológicas singulares, como pliegues, fallas y afloramientos de interés paleontológico. La Sierra del Tejo, por su naturaleza geológica, presenta formaciones sedimentarias y relieves estructurales que podrían estar asociados a procesos tectónicos relevantes en la historia geológica regional. Aunque el emplazamiento del parque eólico no se sitúa sobre un LIG catalogado, su proximidad a áreas con valor geológico implica la necesidad de considerar esta capa en el análisis de sensibilidad ambiental.

La planificación debe garantizar que las obras no afecten a afloramientos singulares ni a puntos de interés geológico, evitando movimientos de tierra en zonas críticas y priorizando la conservación del relieve natural. Además, se recomienda incorporar esta información en la evaluación multicriterio para asegurar la compatibilidad del proyecto con la preservación del patrimonio geológico.

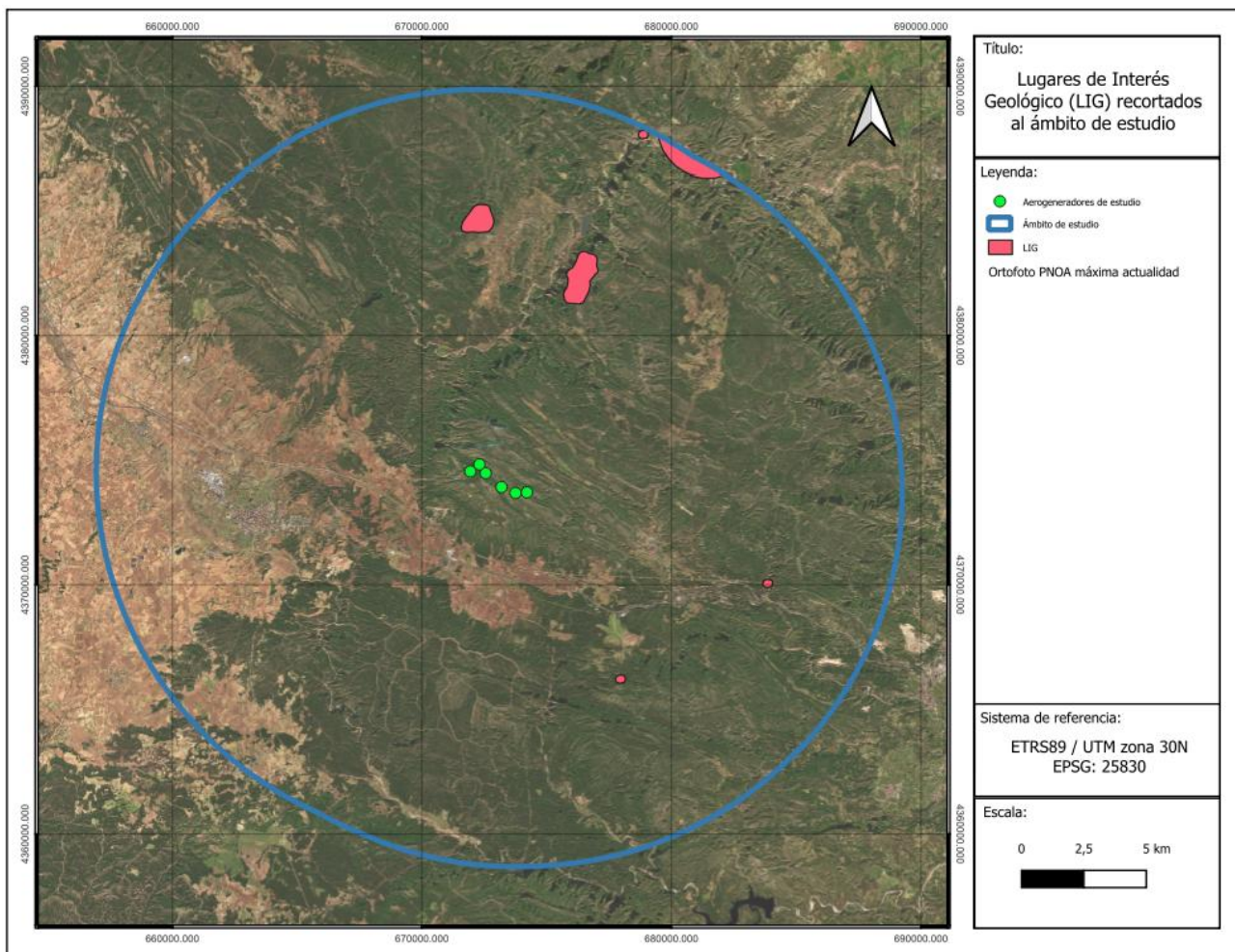


Ilustración 19. Lugares de interés geológico. Fuente: Elaboración propia

6.1.11. Bienes de Interés Cultural (BIC)

Los Bienes de Interés Cultural (BIC) representan la máxima categoría de protección patrimonial en la Comunidad Valenciana, regulada por la Ley 4/1998 del Patrimonio Cultural Valenciano. Esta figura jurídica garantiza la conservación de elementos arquitectónicos, arqueológicos y artísticos que poseen un valor histórico excepcional, imponiendo restricciones específicas sobre cualquier intervención en su entorno.

En el ámbito del estudio, se ha realizado una consulta al Inventario General del Patrimonio Cultural Valenciano, complementada con herramientas de análisis espacial y fuentes abiertas. Para la integración de estos datos en el modelo, se emplearon servicios oficiales de la Generalitat Valenciana (GVA) y, en aquellos casos donde la información no estaba georreferenciada, se recurrió a herramientas como Google Maps y Google Earth, lo que permitió localizar con precisión los elementos patrimoniales y garantizar su correcta incorporación al análisis.

En el área de influencia del proyecto, y especialmente en el municipio de Requena, se concentra un número significativo de BIC que refuerzan la sensibilidad cultural del territorio. Entre los más relevantes se encuentra el Barrio de la Villa, declarado BIC por su carácter histórico y urbanístico, que conserva la estructura medieval original y constituye uno de los conjuntos patrimoniales más importantes de la comarca. Asimismo, destacan el Castillo y Murallas de Requena, vestigios defensivos que configuran la identidad histórica de la ciudad, y el Castillo de Sardineros, otro elemento monumental de gran valor.



Ilustración 20. Castillo y murallas de Requena. Fuente: <https://cultura.gva.es/es/web/patrimonio-cultural-y-museos/bics>

El patrimonio religioso también está ampliamente representado, con templos como la Iglesia de San Nicolás de Bari, la Iglesia de Santa María y la Iglesia Parroquial de El Salvador, todas ellas declaradas BIC por su relevancia arquitectónica y artística. A estos se suman diversos escudos heráldicos conservados en edificios históricos, como el Escudo del Museo Municipal y el Escudo Enríquez de Navarra, que aportan un testimonio singular del pasado nobiliario de la localidad.



Ilustración 21. Iglesia parroquial de El Salvador. Fuente: <https://cultura.gva.es/es/web/patrimonio-cultural-y-museos/bics>

Además de los inmuebles, el municipio alberga numerosos yacimientos arqueológicos que evidencian la ocupación humana desde épocas ibéricas y medievales. Entre ellos se encuentran el Cerro Castellar, el Poblado Ibérico de la Muela Arriba y los yacimientos de La Escordonera y El Rubial, todos ellos catalogados como BIC por su interés científico y cultural.

La presencia de estos bienes implica una elevada sensibilidad patrimonial que debe ser considerada en la planificación del parque eólico. Por ello, se ha incorporado la capa de BIC al análisis multicriterio, definiendo un *buffer* de 500 metros alrededor de cada elemento protegido para evaluar la posible afección visual, acústica o estructural. Este criterio permite identificar áreas donde la implantación de aerogeneradores podría generar conflictos con la conservación del patrimonio, orientando la toma de decisiones hacia alternativas que minimicen la interferencia con estos valores culturales.

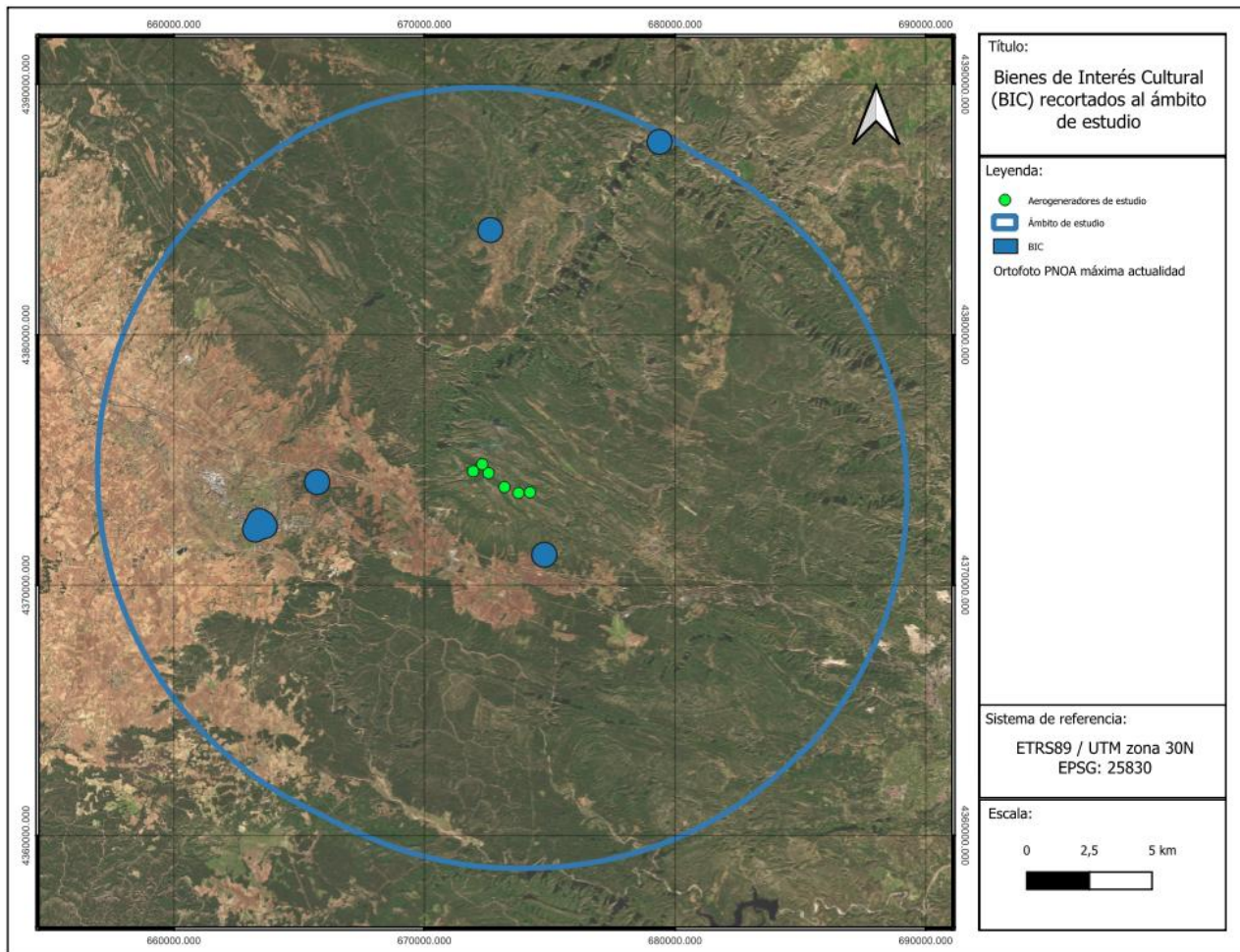


Ilustración 22. Bienes de interés cultural. Fuente: Elaboración propia

6.2. Valoración de factores y asignación de pesos

Para determinar la importancia relativa de cada factor ambiental se emplea el método de jerarquías analíticas (AHP) desarrollado por Saaty. Este método se basa en la construcción de una matriz de comparación por pares, en la que cada indicador se compara con el resto en función de su influencia sobre la sensibilidad ambiental. Las comparaciones se realizan utilizando la escala de Saaty, que asigna valores entre 1 y 9 (donde 1 indica igual importancia y 9 importancia extrema de un factor sobre otro).

Una vez completada la matriz, se calcula el vector de pesos mediante el autovector principal normalizado, asegurando que la suma de todos los pesos sea igual a 1.

Como referencia metodológica, se toma la matriz publicada por el Ministerio para la Transición Ecológica en su estudio de zonificación ambiental para energías renovables. En dicha matriz, los factores relacionados con la Red Natura 2000, planes de recuperación y las zonas de protección de

avifauna reciben los pesos más elevados, mientras que indicadores como visibilidad, LIG o montes de utilidad pública presentan valores medios o bajos. Este patrón se adopta como guía para garantizar la coherencia con los criterios oficiales.

| FACTOR | INDICADOR | Biodiversidad/Fauna/ Vegetación | | | | | | | Patrimonio geológico y geodiversidad | Patrimonio cultural y población | Biodiversidad | | Paisaje |
|--------------------------------------|---|---|---------------------|---|------|-----|-----------------|---------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------|--|-------------|
| | | Planes de recuperación y conservación de especies | Autopistas salvajes | Zonas de protección avifauna (RD 1432/2008) | IBAs | HIC | HIC prioritario | ZEC/LIC | LIG | MUP | ZEPIM | Reservas biosfera (zona de transición) | Visibilidad |
| Biodiversidad /Fauna/ Vegetación | Planes de recuperación y conservación de especies | 1 | 7 | 3 | 6 | 3 | 2 | 1/4 | 5 | 7 | 2 | 5 | 3 |
| | Autopistas salvajes | 1/7 | 1 | 1/6 | 1/3 | 1 | 1/5 | 1/7 | 1/3 | 1/2 | 1/4 | 1 | 1/3 |
| | Zonas de protección avifauna (RD 1432/2008) | 1/3 | 6 | 1 | 3 | 7 | 3 | 1/3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| | IBAs | 1/6 | 3 | 1/3 | 1 | 2 | 1/4 | 1/6 | 1 | 5 | 1 | 3 | 4 |
| | HIC | 1/3 | 1 | 1/7 | 1/2 | 1 | 1/5 | 1/6 | 1/3 | 1 | 1 | 2 | 1/3 |
| | HIC prioritario | 1/2 | 5 | 1/3 | 4 | 5 | 1 | 1/3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 3 |
| | ZEC/LIC | 4 | 7 | 3 | 6 | 6 | 3 | 1 | 5 | 7 | 4 | 6 | 5 |
| Patrimonio geológico y geodiversidad | LIG | 1/5 | 3 | 1/3 | 1 | 3 | 1/3 | 1/5 | 1 | 3 | 3 | 5 | 1 |
| Patrimonio cultural y población | MUP | 1/7 | 2 | 1/2 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1/7 | 1/3 | 1 | 1/2 | 1 | 1/3 |
| Biodiversidad | ZEPIM | 1/2 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1/3 | 1/4 | 1/3 | 2 | 1 | 2 | 1/3 |
| | Reservas biosfera (zona de transición) | 1/5 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/2 | 1/5 | 1/6 | 1/5 | 1 | 1/2 | 1 | 1/3 |
| Paisaje | Visibilidad | 1/3 | 3 | 1/3 | 1/4 | 3 | 1/3 | 1/5 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 |

| INDICADOR | VALOR |
|---|---------------|
| Planes de conservación y recuperación de especies | 2,394 |
| Autopistas salvajes | 0,269 |
| Zonas de protección avifauna (RD 1432/2008) | 1,703 |
| IBAs | 0,903 |
| HIC | 0,391 |
| HIC prioritario | 1,586 |
| ZEC/LIC | 3,533 |
| LIG | 0,866 |
| MUP | 0,363 |
| ZEPIM | 0,681 |
| Reservas biosfera (zona de transición) | 0,307 |
| Visibilidad | 0,791 |
| nmax (SUMA) | 13,787 |

Tabla 1. Matriz y pesos del Ministerio para la Transición Ecológica Fuente: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacion-ambiental/documento1memoria_tcm30-518028.pdf

La asignación de pesos en nuestro estudio sigue la lógica establecida por el Ministerio para la Transición Ecológica, adaptada a las particularidades del ámbito analizado. En primer lugar, las figuras de protección legal vinculadas a la Red Natura 2000 son las que adquieren mayor relevancia. Las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), por su carácter normativo y su relación directa con especies vulnerables, se consideran el factor más determinante, tal como indica la guía ministerial. En nuestro caso, la presencia de estas zonas en el área de influencia implica un riesgo elevado para la avifauna, lo que justifica asignarles el peso más alto. Por otro lado, los Lugares de

Importancia Comunitaria (LIC) y las Zonas Especiales de Conservación (ZEC), aunque también forman parte de la Red Natura 2000, presentan una afección menos específica para aves, por lo que su ponderación será ligeramente inferior.

En segundo lugar, las áreas prioritarias para la protección de la avifauna y los planes de conservación de fauna y flora se sitúan en la parte alta de la jerarquía. Estas zonas, definidas por normativa específica, son críticas para la supervivencia de especies amenazadas y para la conectividad ecológica, por lo que su peso debe ser similar al asignado a las ZEPA. La guía ministerial otorga gran importancia a estos factores, y en nuestro caso se refuerza esta decisión debido a la presencia de corredores migratorios y hábitats sensibles en el entorno del proyecto.

Las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (IBAs), aunque no constituyen una figura legal, son reconocidas internacionalmente como referencia científica para la planificación territorial. El Ministerio les asigna un peso medio-alto, y en nuestro estudio se mantiene esta consideración, dado que el emplazamiento se encuentra en una zona relevante para especies planeadoras y rapaces. De forma similar, las Autopistas Salvajes, que representan corredores ecológicos prioritarios, se ponderan con un valor intermedio. Si bien su afección directa sobre la implantación del parque es menor, su papel en la conectividad del territorio justifica su inclusión en el análisis.

Otros factores, como las Reservas de la Biosfera y la visibilidad, se consideran con pesos medios. Las reservas, por su valor internacional y su función en la conservación, influyen en la percepción global del impacto, aunque en este caso su afección es indirecta. La visibilidad, por su parte, constituye un criterio esencial para la integración paisajística, tal como recoge la guía ministerial, pero no condiciona la viabilidad técnica del proyecto, por lo que se le asigna un peso moderado.

Finalmente, los indicadores patrimoniales y geológicos, como los Parques Naturales, los Montes de Utilidad Pública (MUP), los Lugares de Interés Geológico (LIG) y los Bienes de Interés Cultural (BIC), reciben los valores más bajos. Aunque su presencia en el ámbito de estudio añade condicionantes ambientales y culturales, su influencia sobre la localización del parque es indirecta y limitada. El Ministerio también sitúa estos factores en la parte baja de su matriz, y en nuestro caso se mantiene esta tendencia, ajustando los pesos para reflejar la realidad territorial.

Para montar la matriz AHP y obtener los pesos específicos de cada factor, se utilizará el software Microsoft Excel. Se creará la matriz con diagonal igual a 1, y se tendrá que rellenar las celdas superiores a la diagonal con la escala de Saaty (1-9). Las celdas inferiores se completarán con el recíproco superior, y finalmente se completará la matriz AHP.

| Criterios | ZEPA | LIC/ZEC | Áreas prioritarias avifauna | Fauna y Flora (planes) | IBAs | Autopistas Salvajes | Reservas de la Biosfera | Visibilidad | Parques Naturales | MUP | LIG | BIC |
|-----------------------------|------|---------|-----------------------------|------------------------|------|---------------------|-------------------------|-------------|-------------------|-----|-----|-----|
| ZEPA | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 7 | 7 | 9 | 9 |
| LIC/ZEC | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 5 | 5 | 7 | 9 |
| Áreas prioritarias avifauna | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 5 | 5 | 7 | 9 |
| Fauna y Flora (planes) | 1/2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 6 | 9 |
| IBAs | 1/2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 5 | 9 |
| Autopistas Salvajes | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 | 7 |
| Reservas de la Biosfera | 1/4 | 1/3 | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 5 |
| Visibilidad | 1/4 | 1/3 | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 5 |
| Parques Naturales | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| MUP | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| LIG | 1/9 | 1/7 | 1/7 | 1/6 | 1/5 | 1/4 | 1/2 | 1/2 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| BIC | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1/2 | 1 |

Tabla 2. Matriz AHP. Fuente: Elaboración propia

Una vez construida la matriz, se calcula el peso de cada factor. Para ello se aplica el método de la media geométrica por filas:

- Se multiplican todos los valores de cada fila.
- Se obtiene la raíz n (donde n es el número de factores).
- Se normalizan los resultados para que la suma total sea 1.

Así se obtiene un vector de pesos que indica la importancia relativa de cada factor:

| Factor | Peso |
|----------------------------------|--------|
| ZEPA | 0,2065 |
| ZEC/LIC | 0,1574 |
| Áreas prioritarias avifauna | 0,1437 |
| Fauna y Flora | 0,1247 |
| IBAs (Áreas Importantes de Aves) | 0,1008 |
| Autopistas Salvajes | 0,0672 |
| Reservas de la Biosfera | 0,0531 |
| Visibilidad | 0,0524 |
| Parques Naturales | 0,0292 |
| MUP | 0,0292 |
| LIG | 0,0233 |
| BIC | 0,0125 |

Tabla 3. Pesos asignados a cada factor. Fuente: Elaboración propia

Para garantizar que los juicios realizados en la matriz AHP son coherentes, se emplean tres indicadores fundamentales:

- λ_{max} (lambda máxima): Es el valor obtenido al multiplicar la matriz por el vector de pesos y dividir cada componente por su peso. Si la matriz fuera perfectamente consistente, λ_{max} sería igual al número de criterios (n). Cuanto más se aleja λ_{max} de n, mayor es la inconsistencia en los juicios.
- CI (Índice de Consistencia): Se calcula con la fórmula:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Este índice mide el grado de incoherencia en la matriz. Un CI cercano a 0 indica que los juicios son muy consistentes.

- CR (Ratio de Consistencia): Se obtiene dividiendo el CI entre el RI (Índice Aleatorio), que es un valor estándar según el número de criterios:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

El CR permite comparar la inconsistencia de la matriz con la inconsistencia esperada al azar. Si $CR < 0,10$, la matriz se considera aceptablemente consistente.

En nuestro caso, la matriz AHP tiene 12 criterios, por lo que el RI correspondiente es 1,48. Los cálculos realizados para los 3 indicadores son:

| | |
|-----------------|----------|
| λ_{max} | 12,22977 |
| CI | 0,020888 |
| CR | 0,014114 |

Dado que $CR < 0,10$, la matriz se considera consistente, lo que garantiza la fiabilidad de los pesos asignados a cada factor.

Para finalizar, se observará en un gráfico por columnas cuales son los factores más destacados del análisis:

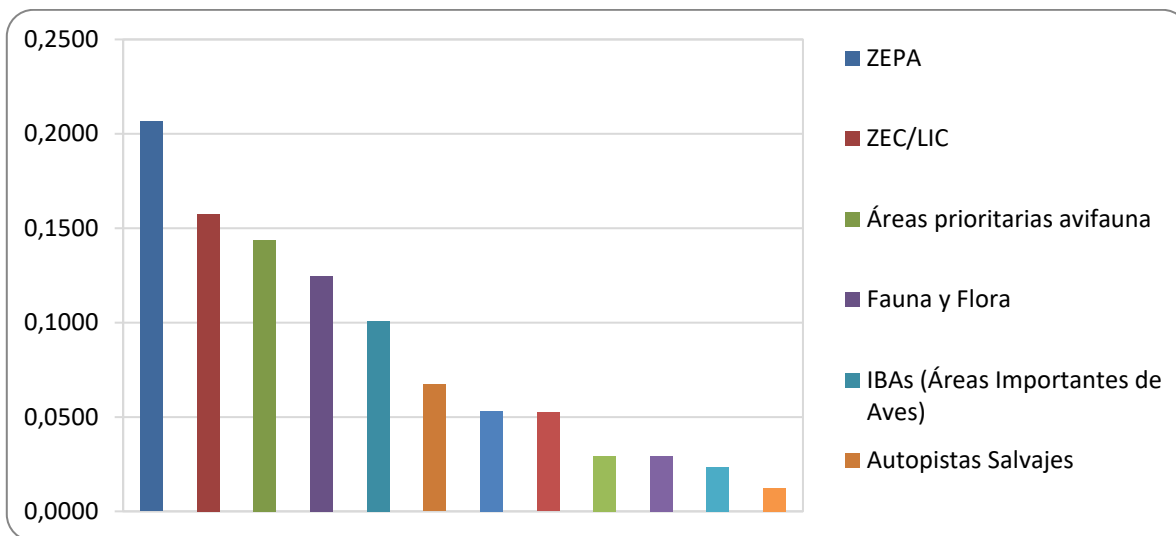


Ilustración 23. Gráfico de factores por peso. Fuente: Elaboración propia

Los criterios más relevantes son los relacionados con la protección de aves y hábitats:

- ZEPA (Red Natura 2000, Aves): 21 %
- ZEC/LIC (Hábitats): 16 %
- Áreas prioritarias avifauna: 14 %

Seguidos por Fauna y Flora (12 %) e IBAs (10 %). Factores como corredores ecológicos, reservas de la biosfera y visibilidad presentan pesos intermedios, mientras que parques naturales, MUP, LIG y BIC tienen valores bajos.

6.3. Elaboración de mapas de factores ambientales

El siguiente paso para la construcción del índice de sensibilidad ambiental consiste en la rasterización de las capas vectoriales que representan los factores ambientales. Este proceso se realiza en QGIS, asegurando que todas las capas compartan la misma resolución y sistema de referencia. Para este estudio se ha adoptado una resolución de 5×5 metros por píxel, lo que permite un nivel de detalle adecuado para el análisis territorial.

Cada capa se transforma en un ráster binario, asignando valores de 0 y 1 según la presencia o ausencia del factor en cada celda. De este modo, el valor 1 indica que el píxel se encuentra dentro del área afectada por el indicador (por ejemplo, dentro de una IBA, un hábitat de interés comunitario o una zona visible desde más de cinco observadores), mientras que el valor 0 representa ausencia

del factor. Esta estandarización facilita la integración posterior de todas las capas en un modelo común.

Es importante destacar que esta asignación no implica todavía la ponderación del impacto, sino únicamente la digitalización homogénea de los factores. Una vez completada la rasterización, se procede a la reclasificación y alineación de todas las capas con el ráster maestro, garantizando la coherencia espacial y evitando desplazamientos entre capas.

Para agilizar estos procesos de rasterizar e igualdad de características en cada ráster (resolución, tamaño, extensión), se han realizado dos scripts que se encargarán de ambos procesos para todas las capas.

El primer script se encargará de rasterizar todas las capas vectoriales cargadas en QGIS, asignando un valor de 1 donde existe el elemento y 0 donde no, con una resolución uniforme de 5 metros por píxel y en el CRS EPSG: 25830. De esta forma, todas las capas quedaron listas para ser combinadas en el análisis multicriterio.

```

1 # Python-Console
2 # Use iface to access QGIS API interface or type '?' for more info
3 # Security warning: typing command s from an untrusted source can harm your computer
4 >>> exec(compile(Path('C:/Users/carlo/AppData/Local/Temp/tmpuy3hz4od').read_text(), 'rasterizar.py', 'exec'))
5 Rasterización corregida completa.
6
7
8
9
10 # Ruta de salida
11 output_folder = r"C:\Users\carlo\Documents\TFM_CarlosAlos_act\TFM_CarlosAlos_act\TFM_CarlosAlos\capas\TIFF_2"
12
13 # Parámetros comunes
14 resolution = 5 # metros por píxel
15 target_crs = QgsCoordinateReferenceSystem("EPSG:25830")
16 feedback = QgsProcessingFeedback()
17
18 # Iterar sobre todas las capas vectoriales cargadas
19 for layer in QgsProject.instance().mapLayers().values():
20     if layer.type() == layer.VectorLayer:
21         layer_name = layer.name().replace(".", "_")
22         output_path = os.path.join(output_folder, f"{layer_name}.tif")
23
24         # Reproyectar si es necesario
25         if layer.crs().authid() != "EPSG:25830":
26             reproj_params = {
27                 'INPUT': layer,
28                 'TARGET_CRS': target_crs,
29                 'OUTPUT': 'memory:' # capa temporal
30             }
31             layer = processing.run("native:reprojectlayer", reproj_params)['OUTPUT']
32
33         # Obtener extensión
34         extent = layer.extent()
35         extent_str = f"{extent.xMinimum()}, {extent.xMaximum()}, {extent.yMinimum()}, {extent.yMaximum()}"

```

Ilustración 24. Script para rasterizar capas. Fuente: Elaboración propia

El segundo script se utilizó para alinear todos los ráster a la misma malla, asegurando que tuvieran la misma extensión, tamaño de píxel y posición. Esto es fundamental para que las operaciones de álgebra de mapas sean correctas y no se produzcan desplazamientos entre capas.

```

6 >>> exec(compile(Path('C:/Users/carlo/AppData/Local/Temp/tmp_xnxa8o').read_text(), 'reescalado.py', 'exec'))
7 Referencia: MDP -| - CRS: EPSG:25830 -| - Pix. size: 5.0 x 5.0
8
9 -.- Alineando 'BIC_BUFFER'...
10 Guardado: C:/Users/carlo/Documents/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos/capas/VTIFF_2/Iguales/BIC_BUFFER_aligned.tif
11
12 -.- Alineando 'Fauna flora'...
13 Guardado: C:/Users/carlo/Documents/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos/capas/VTIFF_2/Iguales/Fauna flora_aligned.tif
14
15 -.- Alineando 'IBAs'...
16 Guardado: C:/Users/carlo/Documents/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos/capas/VTIFF_2/Iguales/IBAs_aligned.tif
17
18 -.- Alineando 'LIG'...
19 Guardado: C:/Users/carlo/Documents/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos/capas/VTIFF_2/Iguales/LIG_aligned.tif
20
21 -.- Alineando 'Parques Naturales'...
22 Guardado: C:/Users/carlo/Documents/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos/capas/VTIFF_2/Iguales/Parques Naturales_aligned.tif
23
24 -.- Alineando 'ZEC LIC'...
25 Guardado: C:/Users/carlo/Documents/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos/capas/VTIFF_2/Iguales/ZEC LIC_aligned.tif
26
27 -.- Alineando 'Zonas prot. avifauna'...
28 Guardado: C:/Users/carlo/Documents/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos_act/TFM_CarlosAlos/capas/VTIFF_2/Iguales/Zonas prot. avifauna_aligned.tif
29
30 Resumen:
31
32 >>>
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

```

Ilustración 25. Script para alinear ráster. Fuente: Elaboración propia

Gracias a estos scripts, se consiguió un flujo de trabajo más rápido, evitando tareas manuales y asegurando que todas las capas estuvieran perfectamente preparadas para el cálculo del índice de sensibilidad ambiental.

Con todos los factores convertidos a ráster con valores entre 0 y 1, ya se podrá realizar la fusión de todos ellos aplicando los pesos correspondientes a cada factor. Para ello se utilizará la herramienta de Qgis *Calculadora ráster* en la que se introducirán los ráster multiplicados por el peso que le corresponde, con el resultado final del ráster final de sensibilidad ambiental.

6.4. Mapa y análisis del estudio de sensibilidad

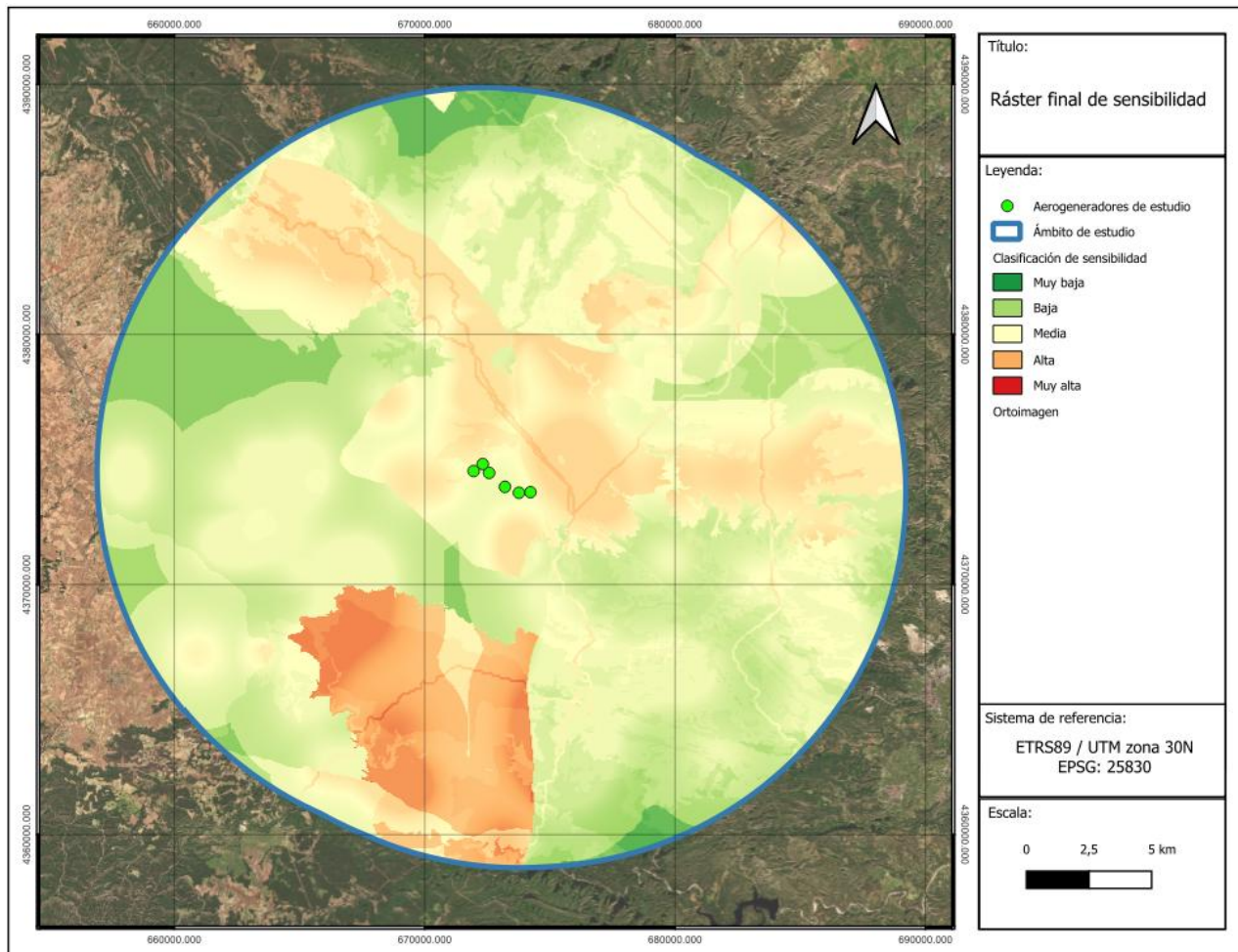


Ilustración 26. Ráster final de sensibilidad. Fuente: Elaboración propia

El mapa final refleja claramente la distribución espacial del índice de sensibilidad ambiental en el ámbito de estudio. Los niveles de clasificación de sensibilidad se han dividido de la siguiente manera: Muy baja (0-0.2), baja (0.2-0.4), media (0.4-0.6), alta (0.6-0.8) y muy alta (0.8-1). Se aprecia que la mayor parte del territorio está dominada por tonalidades verdes y amarillas, correspondientes a categorías de sensibilidad baja y media. Esto indica que el área central, donde se ubican los aerogeneradores proyectados, presenta condiciones favorables para la implantación del parque eólico, evitando zonas de elevada fragilidad ambiental.

En contraste, se observan áreas en tonos naranjas y rojos en el sector suroccidental y en algunos puntos periféricos, que representan zonas de alta y muy alta sensibilidad. Estas áreas coinciden con factores críticos como la proximidad a espacios protegidos, Red Natura 2000 (ZEPA y ZEC/LIC) y Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (IBAs) lo que implica que cualquier intervención en ellas debe ser cuidadosamente evaluada y acompañada de medidas preventivas.

El análisis espacial también revela la existencia de corredores naturales de conectividad ecológica que enlazan las masas de vegetación autóctona y las zonas forestales de mayor continuidad. Conservar estos corredores resulta fundamental para preservar los flujos de fauna y el equilibrio ecológico del área. Por ello, la ubicación de accesos, zanjas de cableado o infraestructuras de evacuación deberá planificarse evitando su interferencia con estos ejes, adoptando soluciones que mantengan la permeabilidad ecológica y minimicen la artificialización del entorno.

La disposición de los aerogeneradores dentro de zonas de sensibilidad baja o media confirma la coherencia del diseño con los criterios ambientales establecidos. Sin embargo, la presencia de áreas de alta sensibilidad en el entorno inmediato subraya la necesidad de una planificación que minimice impactos indirectos, especialmente en lo relativo a conectividad ecológica y protección de la avifauna.

Para analizar objetivamente el ráster final se analizarán sus estadísticas principales, así como tablas comparativas. Se comenzará con la creación de un script en Python para representar el histograma mediante las librerías NumPy, Matplotlib y GDAL.

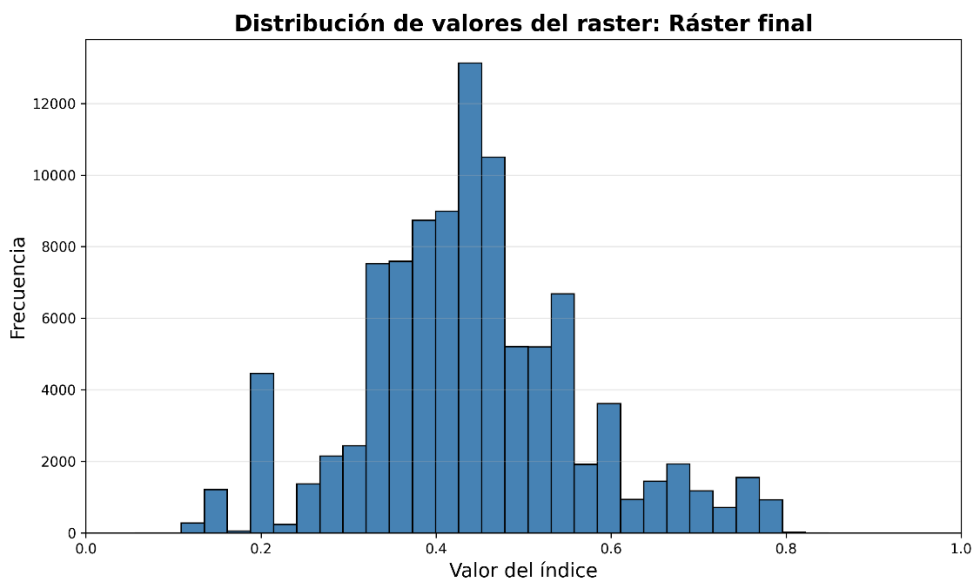


Tabla 4. Histograma del ráster final. Fuente: Elaboración propia

El histograma muestra la distribución de valores del índice de sensibilidad ambiental obtenido tras la integración de los factores ponderados mediante el método AHP. El rango de valores se sitúa entre 0 y 0,9, siendo este último el valor máximo alcanzado en el modelo.

Interpretación de la distribución:

- La mayor parte de las celdas se concentra en valores intermedios, especialmente entre 0,35 y 0,55, lo que indica que el territorio presenta predominantemente una sensibilidad media frente a la implantación del parque eólico.
- Se observan picos destacados en torno a 0.2, 0.45 y 0.55 asociados a zonas donde confluyen factores ambientales relevantes, como áreas de avifauna o Zonas ZEPA.
- A partir de 0,6, la frecuencia disminuye de forma notable, lo que refleja que las áreas de alta sensibilidad son menos extensas y se localizan en sectores concretos del ámbito de estudio.
- Los valores más bajos (< 0,2) corresponden a zonas con baja sensibilidad, generalmente áreas antropizadas o con menor valor ecológico.

El histograma confirma que la distribución del índice es heterogénea, con predominio de valores medios y presencia puntual de zonas de alta sensibilidad.

Para analizar objetivamente el estudio, se ha creado un script que obtiene todas las estadísticas del ráster final y de todos los utilizados. Además, obtiene información de una capa de puntos que le seleccionemos para analizar esos espacios en específico, en este caso serán los aerogeneradores.

| Sensibilidad | Min | Max | Nº píxeles | Área (m2) | Área % |
|--------------|-----|-----|------------|-----------|--------|
| Muy baja | 0 | 0,2 | 525467 | 13136675 | 1,67 |
| Baja | 0,2 | 0,4 | 10810968 | 270274200 | 34,45 |
| Media | 0,4 | 0,6 | 17237069 | 430926725 | 54,93 |
| Alta | 0,6 | 0,8 | 2796142 | 69903550 | 8,91 |
| Muy alta | 0,8 | 1 | 7969 | 199225 | 0,03 |

Tabla 5. % de área por cada tramo de sensibilidad. Fuente: Elaboración propia

En la ilustración se pueden observar cuales son los grupos de sensibilidad que más abundan en el ráster final. Esta partición confirma que el territorio es mayoritariamente compatible (≈ 90 % en clases baja o media) y que las áreas críticas (muy alta) son residuales (<0,1 %).

| Capa (nombre) | Peso AHP | Píxeles activos | Área activa (m2) | Área total % |
|----------------------------------|----------|-----------------|------------------|--------------|
| ZEPA | 0,2065 | 3979788 | 99494700 | 12,68 |
| ZEC/LIC | 0,1574 | 5046308 | 126157700 | 16,08 |
| Áreas prioritarias avifauna | 0,1437 | 19072747 | 476818675 | 60,78 |
| Fauna y Flora | 0,1247 | 28136047 | 703401175 | 89,67 |
| IBAs (Áreas Importantes de Aves) | 0,1008 | 19101472 | 477536800 | 60,88 |
| Autopistas Salvajes | 0,0672 | 640387 | 16009675 | 2,04 |
| Reservas de la Biosfera | 0,0531 | 1362055 | 34051375 | 4,34 |
| Visibilidad | 0,0524 | 24410156 | 610253900 | 77,79 |
| Parques Naturales | 0,0292 | 2353554 | 58838850 | 7,5 |
| MUP | 0,0292 | 13080012 | 327000300 | 41,69 |
| LIG | 0,0233 | 195569 | 4889225 | 0,62 |
| BIC | 0,0125 | 180821 | 4520525 | 0,58 |

Tabla 6. % de área por factor. Fuente: Elaboración propia

En esta nueva tabla se observan todas las capas utilizadas para el ráster final, y cuáles son sus % de área afectada en todo el recorte. Los factores con mayor cobertura espacial son Fauna y Flora (89,67 % del área), Visibilidad (77,79 %), MUP (41,69 %), IBAs (60,88 %) y Áreas prioritarias para la avifauna (60,78 %). Sin embargo, los mayores pesos AHP recaen en ZEPA (0,2065) y ZEC/LIC (0,1574), cuyas coberturas son más acotadas (12,68 % y 16,08 % respectivamente). Esta combinación de factores muy influyentes, pero menos extendidos, junto a factores muy extendidos, pero con peso moderado explica que la media del índice se sitúe en 0,44 y que solo un 0,03 % del ámbito alcance la clase muy alta.

| ID | X | Y | Valor de Sensibilidad | Capas Activas | Capas Ordenadas por Peso |
|-------|------------|-------------|-----------------------|---------------|---|
| TE-01 | 673739,792 | 4373709,737 | 0.448 | 4 | Áreas prioritarias avifauna (0.1437), Fauna y Flora (0.1247), IBAs (Áreas Importantes de Aves) (0.1008), Visibilidad (0.0524) |
| TE-02 | 674198,529 | 4373734,139 | 0.468 | 4 | Áreas prioritarias avifauna (0.1437), Fauna y Flora (0.1247), IBAs (Áreas Importantes de Aves) (0.1008), Visibilidad (0.0524) |
| TE-03 | 673181,533 | 4373947,523 | 0.441 | 4 | Áreas prioritarias avifauna (0.1437), Fauna y Flora (0.1247), IBAs (Áreas Importantes de Aves) (0.1008), Visibilidad (0.0524) |
| TE-04 | 672545,856 | 4374504,653 | 0.452 | 4 | Áreas prioritarias avifauna (0.1437), Fauna y Flora (0.1247), IBAs (Áreas Importantes de Aves) (0.1008), Visibilidad (0.0524) |
| TE-05 | 671929,221 | 4374578,275 | 0.462 | 4 | Áreas prioritarias avifauna (0.1437), Fauna y Flora (0.1247), IBAs (Áreas Importantes de Aves) (0.1008), Visibilidad (0.0524) |
| TE-06 | 672293,554 | 4374857,972 | 0.501 | 5 | Áreas prioritarias avifauna (0.1437), Fauna y Flora (0.1247), IBAs (Áreas Importantes de Aves) (0.1008), Visibilidad (0.0524), MUP (0.0292) |

Tabla 7. Características de los puntos seleccionados. Fuente: Elaboración propia

En la ilustración anterior se observan los 6 aerogeneradores de estudio con sus valores de sensibilidad y la causa de estos. Los seis puntos analizados presentan valores de sensibilidad entre 0,441 y 0,501, por lo que estarían en un rango medio. En todos los puntos están activas las capas Áreas prioritarias de avifauna, Fauna y Flora, IBAs y Visibilidad, únicamente en el TE-06 aparece además MUP, lo que eleva ligeramente su valor (0,501) respecto al resto.

| | |
|---------------------------|--------------|
| CRS | EPSG:25830 |
| Pixel size X (m) | 5 |
| Pixel size Y (m) | 5 |
| Nº píxeles | 31377615 |
| Área total analizada (m2) | 784440375 |
| Mínimo | 0 |
| Máximo | 0,896399736 |
| Media | 0,4416078268 |
| Desv. típica | 0,1253755789 |

Tabla 8. Características del ráster final. Fuente: Elaboración propia

El análisis se ha realizado en EPSG:25830 con una resolución de 5×5 m, cubriendo 784,44 km² (31.377.615 píxeles), lo que garantiza precisión métrica suficiente para decidir ubicaciones. El ráster de sensibilidad tiene valores entre valores 0 y 0.896. La media = 0,4416 describe un territorio de sensibilidad media, sin dominios de valores muy bajos ni muy altos. La desviación típica = 0,1254 indica dispersión contenida: aproximadamente el 68 % de los píxeles cae entre 0,316 y 0,567 (media $\pm \sigma$), lo que confirma el predominio de sensibilidades medias. En conjunto, los estadísticos respaldan que la mayor parte del área es compatible con la implantación, debiendo concentrar la gestión en enclaves puntualmente más sensibles detectados en los mapas temáticos

A partir de estos resultados, se recomienda aplicar una serie de medidas preventivas y correctoras de carácter integral. Entre ellas, destaca la necesidad de ajustar la posición definitiva de los aerogeneradores para respetar las zonas de mayor sensibilidad, priorizando los terrenos agrícolas o áreas ya antropizadas. La revegetación de los taludes y superficies afectadas, utilizando especies autóctonas, contribuirá a la recuperación del paisaje y al control de la erosión. Asimismo, deberá restringirse la ejecución de obras durante los periodos de cría de la fauna y establecer un seguimiento ambiental periódico que permita verificar la eficacia de las actuaciones.

En cuanto a la protección de la avifauna, se propone la incorporación de sistemas de parada temporal automática de los aerogeneradores durante los periodos de migración y la instalación de balizas anticolidión en las líneas eléctricas de evacuación. La limitación del número de nuevos caminos, la restauración de las áreas intervenidas y la integración cromática de las infraestructuras completan el conjunto de medidas destinadas a minimizar el impacto visual y ecológico del proyecto.

En síntesis, el estudio de sensibilidad ambiental pone de manifiesto que la Sierra del Tejo presenta una aptitud ambiental selectiva: amplias zonas resultan compatibles con el desarrollo eólico, siempre que se mantenga una gestión responsable del territorio y se apliquen las medidas preventivas y correctoras descritas. La metodología empleada, basada en el análisis multicriterio, el uso de herramientas SIG y la automatización mediante Python ha demostrado ser una herramienta eficaz para guiar la toma de decisiones y garantizar que el proceso de implantación se realice bajo los principios de sostenibilidad y respeto ambiental.

7. Estudio Acústico: resultados

7.1. Objetivos del estudio de ruido

El estudio acústico tiene como finalidad principal evaluar el impacto sonoro que generará el parque eólico durante su fase de operación. Este análisis es esencial para garantizar la compatibilidad del proyecto con la normativa vigente y con los objetivos de calidad acústica establecidos, así como para minimizar posibles afecciones sobre el entorno y la población.

En primer lugar, se busca simular el comportamiento acústico del parque eólico en condiciones reales, considerando el escenario más desfavorable: funcionamiento a plena carga y máxima emisión sonora. Para ello, se emplearán herramientas de modelización que permitan reproducir la propagación del sonido en el terreno, teniendo en cuenta factores como la orografía, el tipo de suelo y las condiciones meteorológicas.

Otro objetivo fundamental es determinar los niveles de inmisión sonora en las áreas circundantes, comparándolos con los límites establecidos por la normativa estatal y autonómica. Este análisis permitirá verificar si el proyecto cumple con los valores máximos permitidos para cada tipo de uso del suelo (residencial, industrial, agrícola, etc.), evitando impactos que puedan considerarse perjudiciales para la salud humana o el medio ambiente.

Asimismo, el estudio pretende analizar la compatibilidad acústica del parque con su entorno, identificando si es necesario aplicar medidas correctoras para reducir el impacto sonoro. En caso de detectarse superaciones de los límites normativos, se propondrán soluciones técnicas que garanticen el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica.

Por último, se incluye la evaluación de posibles efectos acumulativos o sinérgicos derivados de la interacción con otras fuentes de ruido presentes en la zona, como infraestructuras viarias o parques eólicos existentes. Este análisis permitirá conocer el impacto global y asegurar que la implantación del proyecto no compromete la calidad acústica del territorio.

En conjunto, estos objetivos contribuyen a garantizar una integración sostenible del parque eólico, minimizando su afección acústica y favoreciendo la aceptación social del proyecto.

7.2. Normativa

El marco normativo que regula la evaluación del impacto acústico en proyectos eólicos se compone de disposiciones europeas, estatales y autonómicas. Estas normas establecen los métodos de cálculo, los índices de ruido y los valores límite que deben cumplirse para garantizar la protección de la salud y del medio ambiente.

En cuanto a la Normativa Europea:

- Directiva 2002/49/CE: Define un enfoque común para la evaluación y gestión del ruido ambiental, incluyendo la elaboración de mapas de ruido y planes de acción.
- Directiva 2015/996: Establece los métodos comunes de cálculo del ruido en Europa (CNOSSOS-EU), obligatorios para todos los Estados miembros desde 2018.

En cuanto a la Normativa Estatal:

- Ley 37/2003, del Ruido: Regula la zonificación acústica y la elaboración de mapas de ruido.
- Real Decreto 1513/2003: Desarrolla la Ley del Ruido en lo relativo a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

- Real Decreto 1367/2007: Define la zonificación acústica y fija los valores límite de inmisión y objetivos de calidad acústica.
- Real Decreto 1038/2012: Modifica los objetivos de calidad acústica para determinados usos.
- Orden PCI/1319/2018: Adapta los métodos de cálculo a la metodología CNOSSOS-EU.

El Real Decreto 1367/2007 desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, sobre el Ruido, y establece las disposiciones relativas a la zonificación acústica, los objetivos de calidad y las emisiones sonoras. Este decreto fija la clasificación mínima de áreas acústicas que deben considerar las comunidades autónomas, así como los criterios para su delimitación. Además, determina los valores límite de inmisión aplicables a distintas actividades y los parámetros necesarios para cumplir los objetivos de calidad acústica en áreas urbanizadas existentes.

| Tipo de área acústica | | Índices de ruido | | |
|-----------------------|---|------------------|------------------|------------------|
| | | L _{K,d} | L _{K,e} | L _{K,n} |
| e | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica. | 50 | 50 | 40 |
| a | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial. | 55 | 55 | 45 |
| d | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c. | 60 | 60 | 50 |
| c | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos. | 63 | 63 | 53 |
| b | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial. | 65 | 65 | 55 |

Tabla 9. Límites de inmisión Estatales. Fuente: Real Decreto 1367/2007

Los indicadores L_d, L_e y L_n representan los niveles sonoros equivalentes ponderados A en los tres periodos normativos: diurno (L_d, 07:00–19:00), vespertino (L_e, 19:00–23:00) y nocturno (L_n, 23:00–07:00). Estos valores se calculan en la simulación para evaluar el impacto acústico del parque.

Por su parte, L_{k,d}, L_{k,e} y L_{k,n} son los límites legales de inmisión sonora establecidos por el Real Decreto 1367/2007 para cada tipo de área acústica. Indican el máximo nivel permitido en cada periodo (día, tarde y noche) según el uso predominante del suelo (sanitario, residencial, terciario, recreativo o industrial).

El Real Decreto 1038/2012 modifica el Real Decreto anterior en cuanto a los niveles objetivos de calidad para el tipo de área acústica f, área dedicada a los “Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen”, resultando la tabla de objetivos de calidad de la siguiente manera:

| Tipo de área acústica | | Índices de ruido | | |
|-----------------------|---|------------------|----------------|----------------|
| | | L _d | L _e | L _n |
| e | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica. | 60 | 60 | 50 |
| a | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial. | 65 | 65 | 55 |
| d | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c). | 70 | 70 | 65 |
| c | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos. | 73 | 73 | 63 |
| b | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial. | 75 | 75 | 65 |

Tabla 10. Límites de inmisión Estatales modificados. Fuente: Real Decreto 1038/2012

En cuanto a la Normativa Autonómica:

La Comunidad Valenciana, al igual que otras regiones, establece criterios específicos para la protección contra la contaminación acústica mediante su legislación autonómica Ley 7/2002, de Protección contra la Contaminación Acústica Incluye los límites y objetivos de calidad aplicables en

la Comunidad Valenciana. Aunque los valores son muy similares a los definidos en el Real Decreto 1367/2007, se adaptan al contexto territorial y a los usos del suelo predominantes.

Los periodos de referencia son idénticos a los estatales:

- Periodo diurno: 07:00 - 19:00
- Periodo vespertino: 19:00 - 23:00
- Periodo nocturno: 23:00 - 07:00

| Uso dominante | Nivel sonoro dB(A) | | |
|----------------------|--------------------|------------|------------|
| | Día (Ld) | Tarde (Le) | Noche (Ln) |
| Sanitario y docente. | 45 | 45 | 35 |
| Residencial. | 55 | 55 | 45 |
| Terciario. | 65 | 65 | 55 |
| Industrial. | 70 | 70 | 60 |

Tabla 11. Límites de inmisión autonómicos. Fuente: Ley 7/2002

7.3. Zonificación acústica y valores de inmisión

La zonificación acústica constituye un elemento esencial en la evaluación del impacto sonoro de proyectos eólicos, ya que permite establecer los criterios normativos aplicables en función del uso predominante del suelo en el área de influencia. Este análisis es clave para garantizar el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica y minimizar las afecciones sobre la población y el medio ambiente.

En el caso del parque eólico proyectado en la Sierra del Tejo, el entorno se caracteriza por un relieve montañoso con predominio de masas forestales y áreas agrícolas, así como por la ausencia de núcleos residenciales próximos. Las edificaciones existentes son escasas y corresponden principalmente a construcciones de uso agrario. Esta configuración condiciona la clasificación acústica del territorio, que se asimila a sectores de uso industrial, dado que en las prácticas agrícolas es habitual la presencia de maquinaria con niveles sonoros elevados (por ejemplo, cosechadoras con emisiones de hasta 91,7 dBA y tractores entre 73 y 90 dBA).

La normativa estatal, recogida en el Real Decreto 1367/2007, establece los valores límite de inmisión para cada tipo de área acústica. Para zonas consideradas de uso industrial, los límites son:

- Periodo diurno (07:00-19:00): 65 dBA
- Periodo vespertino (19:00-23:00): 65 dBA
- Periodo nocturno (23:00-07:00): 55 dBA

No obstante, se ha contemplado la posibilidad de edificaciones residenciales aisladas en el entorno, aunque situadas a varios kilómetros del emplazamiento. Para estos casos, se aplicarán los valores más restrictivos correspondientes a uso residencial:

- Periodo diurno: 55 dBA
- Periodo vespertino: 55 dBA
- Periodo nocturno: 45 dBA

Estos valores se utilizarán como referencia en la simulación acústica para verificar el cumplimiento normativo y determinar la necesidad, en su caso, de medidas correctoras. La correcta identificación de la zonificación acústica no solo permite aplicar los límites adecuados, sino que también influye en la configuración del modelo de propagación sonora, ya que condiciona la selección de receptores críticos y la interpretación de los resultados.

En definitiva, la zonificación acústica constituye la base para una evaluación rigurosa del impacto sonoro, asegurando que el proyecto se integra en el territorio de forma compatible con los objetivos de calidad ambiental y la normativa vigente.

7.4. Caracterización del parque eólico (aerogeneradores, potencia, localización)

La caracterización del parque eólico constituye un paso fundamental en el estudio acústico, ya que permite definir las fuentes sonoras que se incorporarán al modelo de simulación. Este análisis incluye la identificación del número de aerogeneradores, su ubicación exacta, las características geométricas y la potencia acústica estimada en condiciones de operación.

El parque objeto de estudio se localiza en la Sierra del Tejo, en la zona centro-occidental de la provincia de Valencia, dentro de los términos municipales de Requena y Siete Aguas. El emplazamiento se distribuye sobre una alineación de crestas con altitudes comprendidas entre 930 y 1.250 metros, caracterizadas por pendientes moderadas y relieves tabulares intercalados con barrancos. Esta configuración orográfica influye en la propagación del sonido, aumentando la exposición en zonas elevadas y atenuando los niveles en valles.

El parque está compuesto por seis aerogeneradores (TE-01 a TE-06), cuyas coordenadas UTM (huso 30, ETRS89) son las siguientes:

- TE-01: (673739.792, 4373709.737)
- TE-02: (674198.529, 4373734.139)
- TE-03: (673181.533, 4373947.523)
- TE-04: (672545.856, 4374504.653)
- TE-05: (671929.221, 4374578.275)
- TE-06: (672293.554, 4374857.972)

Cada aerogenerador presenta una altura de buje de 105 metros y un diámetro de rotor de 155 metros, lo que implica una altura total aproximada de 182 metros. La potencia nominal de cada unidad son 4,5 MW, con un nivel de potencia acústica máximo de 107 dBA en condiciones de plena carga, valor proporcionado por el fabricante y utilizado como referencia en la simulación.

La disposición de los aerogeneradores responde a criterios técnicos y ambientales que garantizan la eficiencia y la sostenibilidad del proyecto. Se ha establecido una separación adecuada entre las máquinas para evitar la interferencia aerodinámica generada por las estelas, lo que permite mantener un flujo de viento estable y maximizar la producción energética. Asimismo, la ubicación considera la orientación respecto a los vientos dominantes y la proximidad a infraestructuras existentes, reduciendo la necesidad de nuevas obras y minimizando el impacto sobre el territorio. Finalmente, se ha priorizado la accesibilidad mediante el aprovechamiento de caminos actuales, asegurando condiciones óptimas para las operaciones de construcción y mantenimiento.

Estos parámetros se incorporarán al modelo acústico mediante el software CADNA-A, que permite simular la propagación sonora en función de la ubicación, altura y potencia acústica de cada aerogenerador, así como de las características del terreno y del tipo de suelo.

7.5. Modelo digital del terreno y condiciones de propagación

La modelización digital del terreno es un componente esencial en la simulación acústica, ya que permite reproducir con precisión la propagación del sonido en función de la orografía y las características físicas del suelo. Este proceso garantiza que los resultados obtenidos reflejen las condiciones reales del emplazamiento y cumplan con los requerimientos normativos.

Para este estudio se ha empleado un Modelo Digital del Terreno (MDT) con una resolución de malla de 5 metros, obtenido del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a través del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Este MDT incorpora curvas de nivel detalladas y ha sido complementado con información vectorial procedente del Catastro, que incluye edificaciones y otras estructuras relevantes. La integración de estos elementos permite representar obstáculos que influyen en la propagación sonora, como barreras naturales, construcciones y variaciones topográficas.

El software CADNA-A, utilizado para la simulación, aplica algoritmos basados en la metodología CNOSSOS-EU, considerando los siguientes factores:

- Absorción del suelo: Se han diferenciado dos tipos principales:
 - Suelos reflectantes (zonas urbanizadas y roca desnuda), con coeficiente de absorción 0.
 - Suelos absorbentes (vegetación, áreas agrícolas y forestales), con coeficiente de absorción 1.
- Condiciones meteorológicas de la zona: Velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad, que afectan a la atenuación y refracción del sonido.
- Altura de cálculo: Los niveles de inmisión se han estimado a 4 metros sobre el terreno, conforme a la normativa vigente.
- Radio de influencia: Se ha considerado un área de 2.000 metros alrededor del parque, suficiente para cubrir los receptores críticos y garantizar la validez del modelo.
- Periodos de referencia: Día (07:00-19:00), tarde (19:00-23:00) y noche (23:00-07:00), para calcular los indicadores L_d, L_e y L_n.

La correcta configuración del MDT y la incorporación de parámetros físicos y meteorológicos aseguran que la simulación acústica refleje la interacción entre las fuentes sonoras (aerogeneradores) y el medio, permitiendo evaluar el cumplimiento de los límites normativos y la necesidad de medidas correctoras.

7.5.1. Descarga automatizada Catastro

La incorporación de edificaciones en el modelo acústico es un requisito indispensable para garantizar la precisión en la simulación de propagación sonora. Los edificios actúan como obstáculos que modifican la trayectoria del sonido, influyen en la atenuación y generan reflexiones que deben ser consideradas en cualquier estudio riguroso. Sin embargo, la obtención manual de esta información a partir de fuentes oficiales supone un procedimiento repetitivo y costoso, que

implica localizar los municipios afectados, descargar los datos, descomprimirlos, fusionarlos y recortarlos al área de estudio. Este flujo, además de consumir tiempo, incrementa el riesgo de errores y dificulta la trazabilidad entre versiones.

Para resolver estas limitaciones, se ha desarrollado una rutina automatizada en QGIS mediante Python (PyQGIS) que permite ejecutar todo el proceso de forma estandarizada y reproducible. La solución se apoya en los servicios oficiales de la Dirección General del Catastro, que publican los conjuntos de datos INSPIRE relacionados con edificaciones (tema Buildings – BU) a través de servicios ATOM y WFS. Estos datos son conformes a la normativa europea INSPIRE, se actualizan periódicamente y están disponibles bajo licencia abierta, lo que garantiza su validez y su adecuación para estudios técnicos.

El objetivo principal de la rutina es generar una capa final de edificaciones recortada al contorno del proyecto, que incluya la geometría y, cuando está disponible, atributos relevantes como la altura o el número de plantas. Esta información es esencial para representar correctamente las condiciones del entorno en el modelo acústico y para asegurar que los resultados se ajusten a la realidad física del emplazamiento. Además, la rutina conserva identificadores oficiales (como el localId INSPIRE, que equivale a la referencia catastral) y documenta la fecha de descarga, lo que facilita la trazabilidad y la actualización futura del estudio.

El funcionamiento de la rutina se estructura en varias fases. En primer lugar, se parte de una capa de contorno en formato .shp que define el ámbito del análisis. A partir de esta geometría, el sistema identifica automáticamente los municipios que intersectan el área mediante dos capas .shp (provincias y municipios) con los nombres normalizados, evitando errores tipográficos y optimizando el tiempo de ejecución. Posteriormente, se accede a los servicios ATOM del Catastro para localizar y descargar los ficheros GML correspondientes a cada municipio. Estos ficheros se descomprimen y se organizan en una estructura ordenada que permite su tratamiento posterior.

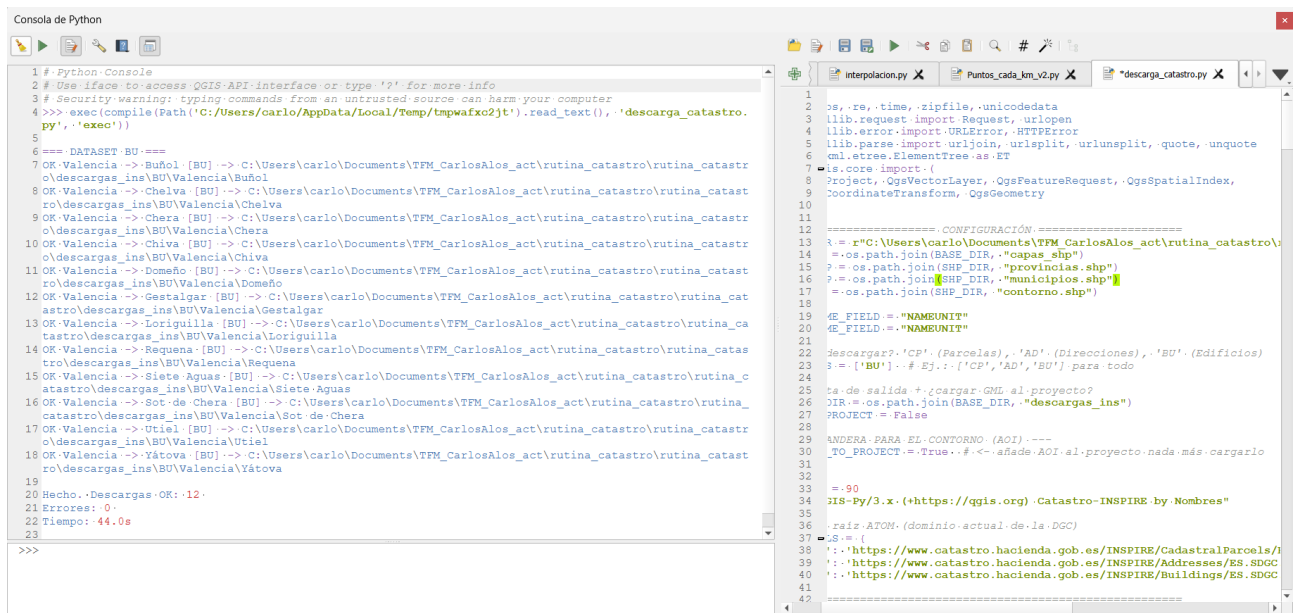


Ilustración 27. Script para descargar catastro. Fuente: Elaboración propia

Una vez descargados los datos, la rutina procede a la fusión y normalización de las capas Building y BuildingPart. Este paso incluye la armonización de esquemas para evitar incompatibilidades entre municipios, la validación de geometrías y la eliminación de errores topológicos. Finalmente, se realiza el recorte al contorno del proyecto y se genera la capa definitiva, lista para su integración en el software de simulación acústica (CADNA-A) o en el entorno SIG del proyecto.

```

Consola de Python
tro\descargas_ina\BU\Valencia\Requena
15 OK-Valencia -> Siete Aguas: [BU] -> C:\Users\carlo\Documents\TFM_CarlosAlos_act\rutina_catastro\rutina_catastro\descargas_ina\BU\Valencia\Siete Aguas
16 OK-Valencia -> Sot-de Chera: [BU] -> C:\Users\carlo\Documents\TFM_CarlosAlos_act\rutina_catastro\rutina_catastro\descargas_ina\BU\Valencia\Sot-de Chera
17 OK-Valencia -> Utiel: [BU] -> C:\Users\carlo\Documents\TFM_CarlosAlos_act\rutina_catastro\rutina_catastro\descargas_ina\BU\Valencia\Utiel
18 OK-Valencia -> Yátova: [BU] -> C:\Users\carlo\Documents\TFM_CarlosAlos_act\rutina_catastro\rutina_catastro\descargas_ina\BU\Valencia\Yátova
19
20 Hecho. Descargas: OK: 12
21 Errores: 0
22 Tiempo: 44.0s
23 >>> exec(compile(Path('C:/Users/carlo/AppData/Local/Temp/tmpfuvfuglo').read_text(), 'Unir_recortar_building_buildingpart.py', 'exec'))
24 [OK] BUILDING: -lowCorner/lowerCorner y upperCorner -> String(33)
25 [OK] Guardado-BUILDING: C:\Users\carlo\Documents\TFM_CarlosAlos_act\rutina_catastro\rutina_catastro\resultados\Building_combinado.shp (features=11639)
26 Capas buildingpart: 12/36 válidas.
27 [OK] BUILDINGPART: localId/localID => String(22) antes del merge.
28 campo: localId-en-parts: 'localId', en-building: 'localId'
29 [OK] Guardado-BUILDINGPART: C:\Users\carlo\Documents\TFM_CarlosAlos_act\rutina_catastro\rutina_catastro\resultados\building_part_combinado.shp (features=25600)
30 Tiempo-total: 33.8s
31 Hecho.
32 >>> exec(compile(Path('C:/Users/carlo/AppData/Local/Temp/tmpbw1_eshw').read_text(), 'altura_media_ponderada.py', 'exec'))
33 Campos detectados -> Building.localId='localId', Parts.localId='localId', Parts.floors='numberOfFl'
34 Agrupaciones: 11671 ids con altura. Partes omitidas por plantas inválidas: 165
35 [OK] Creado C:\Users\carlo\Documents\TFM_CarlosAlos_act\rutina_catastro\rutina_catastro\resultados\Building_Final.shp con campo 'altura m p' (precisión 2 decimales).
36 Emparejados: 11672, sin coincidencias: 17. Elipsoide: EPSG:7019
37 Tiempo-total: 4.0s
38 Hecho.
39
>>>

```

Ilustración 28. Script para unir y recortar capas de catastro. Fuente: Elaboración propia

La automatización de este flujo aporta ventajas significativas: reduce el tiempo de trabajo, minimiza errores manuales, garantiza la reproducibilidad y permite incorporar datos oficiales actualizados. Además, constituye una mejora metodológica que refuerza el rigor científico del estudio, al basarse en fuentes normativas y en procedimientos documentados.

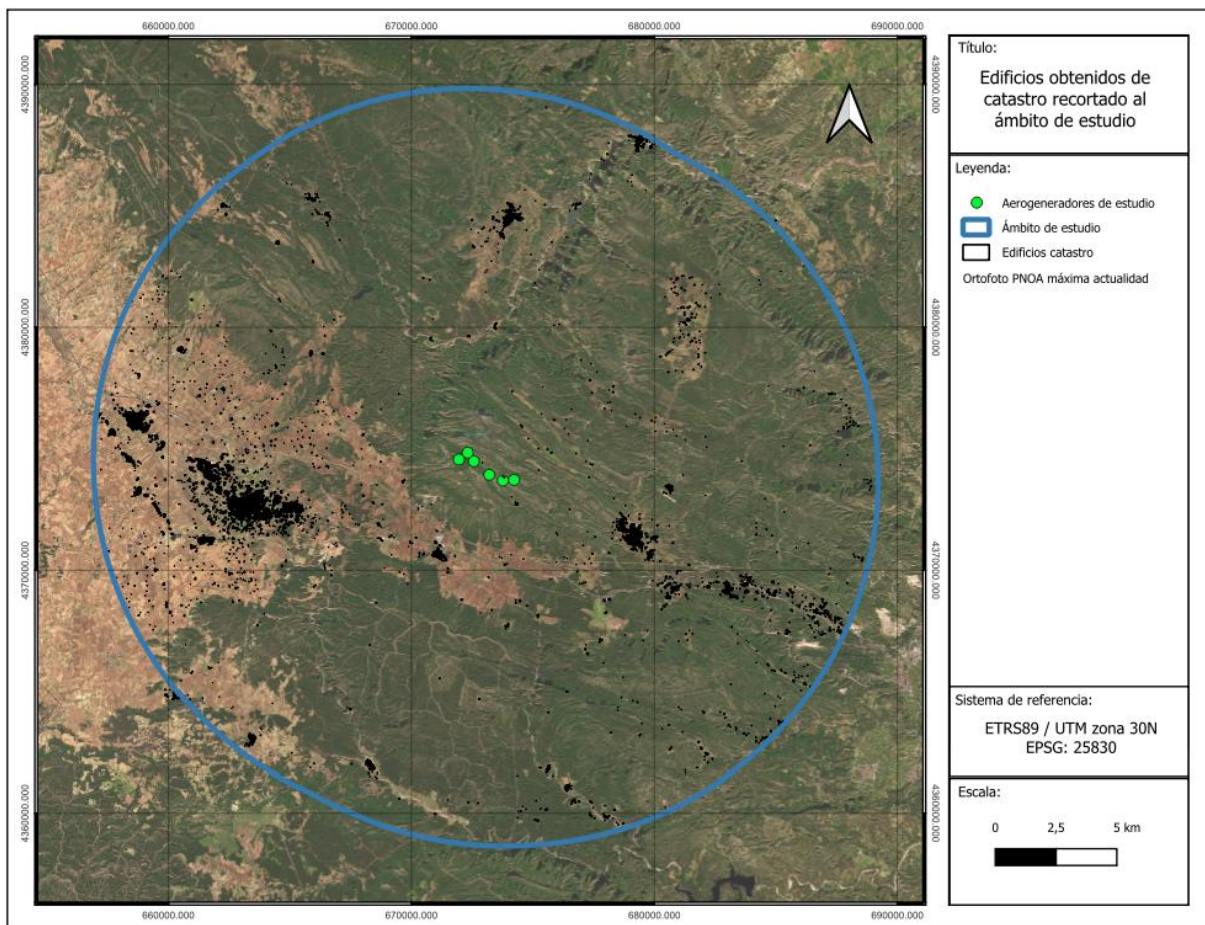


Ilustración 29. Mapa de edificios catastrales. Fuente: Elaboración propia

7.6. Simulación de escenario operacional (uso de CADNA-A)

La simulación acústica constituye una fase crítica en la evaluación del impacto sonoro de un parque eólico, ya que permite anticipar los niveles de ruido que se generarán durante la operación y verificar su compatibilidad con los límites normativos. Para la simulación acústica se empleó el software CADNA-A (Computer Aided Noise Abatement), desarrollado por Datakustik GmbH, ampliamente reconocido en el ámbito de la ingeniería acústica por su capacidad para modelar entornos complejos y aplicar algoritmos conforme a la metodología CNOSSOS-EU, exigida por la normativa europea y española. Este programa está disponible en la página oficial del fabricante (<https://www.datakustik.com>) y se utiliza habitualmente en estudios de impacto sonoro en infraestructuras lineales, parques eólicos y entornos urbanos. Diversos trabajos previos han demostrado su eficacia en la evaluación de niveles de inmisión sonora y en la verificación del cumplimiento normativo en escenarios operativos desfavorables (Comisión Europea, 2012; Datakustik GmbH, 2025).

El escenario operacional definido corresponde al funcionamiento del parque en condiciones de plena carga, lo que implica considerar la situación más desfavorable en términos de emisión sonora. Este enfoque garantiza que los resultados obtenidos representen el máximo impacto posible, ofreciendo un margen de seguridad en la evaluación. Para ello, se introdujeron en el modelo los parámetros técnicos de cada aerogenerador, incluyendo su ubicación exacta en coordenadas UTM, la altura del buje y el diámetro del rotor, así como el nivel de potencia acústica estimado por el fabricante, que en este caso alcanza los 107 dBA en condiciones de máxima producción.

La configuración del modelo se realizó incorporando el Modelo Digital del Terreno (MDT) con resolución de cinco metros, lo que permite reproducir con gran detalle la orografía del emplazamiento, caracterizada por crestas y barrancos que influyen significativamente en la propagación del sonido. Además, se consideraron las características físicas del suelo, asignando coeficientes de absorción diferenciados para superficies reflectantes, como roca desnuda o zonas urbanizadas, y para áreas absorbentes, como vegetación y terrenos agrícolas. Este tratamiento es esencial para simular con precisión los fenómenos de reflexión y atenuación que se producen en el medio. Mediante el MDT se crean curvas de nivel mediante la herramienta de qgis *curvas de nivel*. Estas curvas tendrán que ser de tipo MultiLineString Z para que el programa pueda leerlas.

En cuanto a las condiciones ambientales, se adoptaron los parámetros meteorológicos característicos de la zona, incluyendo velocidad media del viento de 6,5 m/s, temperatura de 13 °C y humedad relativa del 65 %, factores que influyen en la refracción y dispersión del sonido (IDAE, 2025; AEMET, 2025).

Una vez completada la configuración, CADNA-A generó mapas de isófonas que representan la distribución espacial de los niveles sonoros en el entorno del parque. Estos mapas constituyen una herramienta fundamental para identificar las zonas más expuestas y evaluar el cumplimiento de los límites legales definidos en el Real Decreto 1367/2007 y en la normativa autonómica. Además, se analizaron posibles efectos sinérgicos derivados de la interacción con otros parques eólicos existentes en la zona, integrando esta información en el modelo para obtener una visión global del impacto acústico.

En definitiva, la simulación realizada con CADNA-A proporciona una base sólida para la toma de decisiones, permitiendo anticipar el comportamiento acústico del parque y garantizar su integración en el territorio de forma compatible con los objetivos de calidad ambiental.

7.7. Resultados de niveles de inmisión (mapas de isófonas)

Para el cálculo se incluyeron además de los aerogeneradores de estudio, los existentes. Ya que pueden influir en la propagación del sonido y también se utilizarán para un estudio posterior.

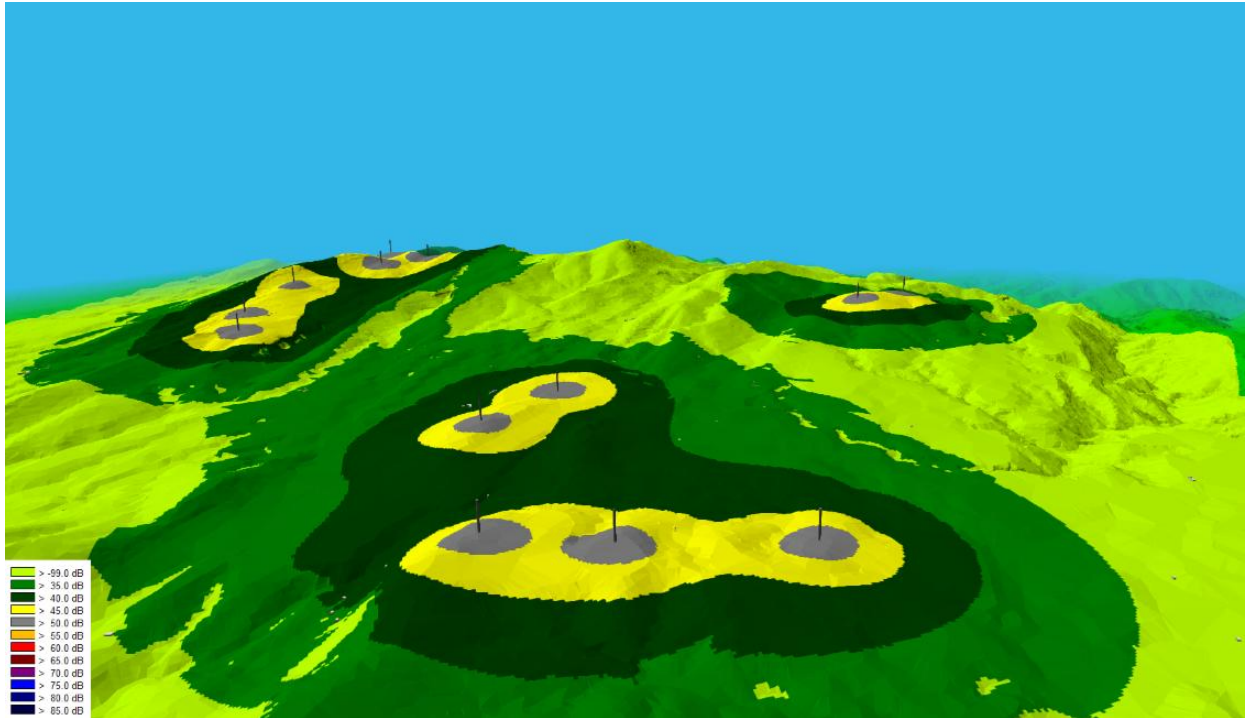


Ilustración 30. Captura del proceso con el software CADNA-A. Fuente: Elaboración propia

La simulación realizada con CADNA-A bajo el escenario más desfavorable (aerogeneradores funcionando a plena carga durante las 24 horas) ha permitido obtener los mapas de isófonas que representan la distribución espacial del ruido en el entorno del parque eólico.

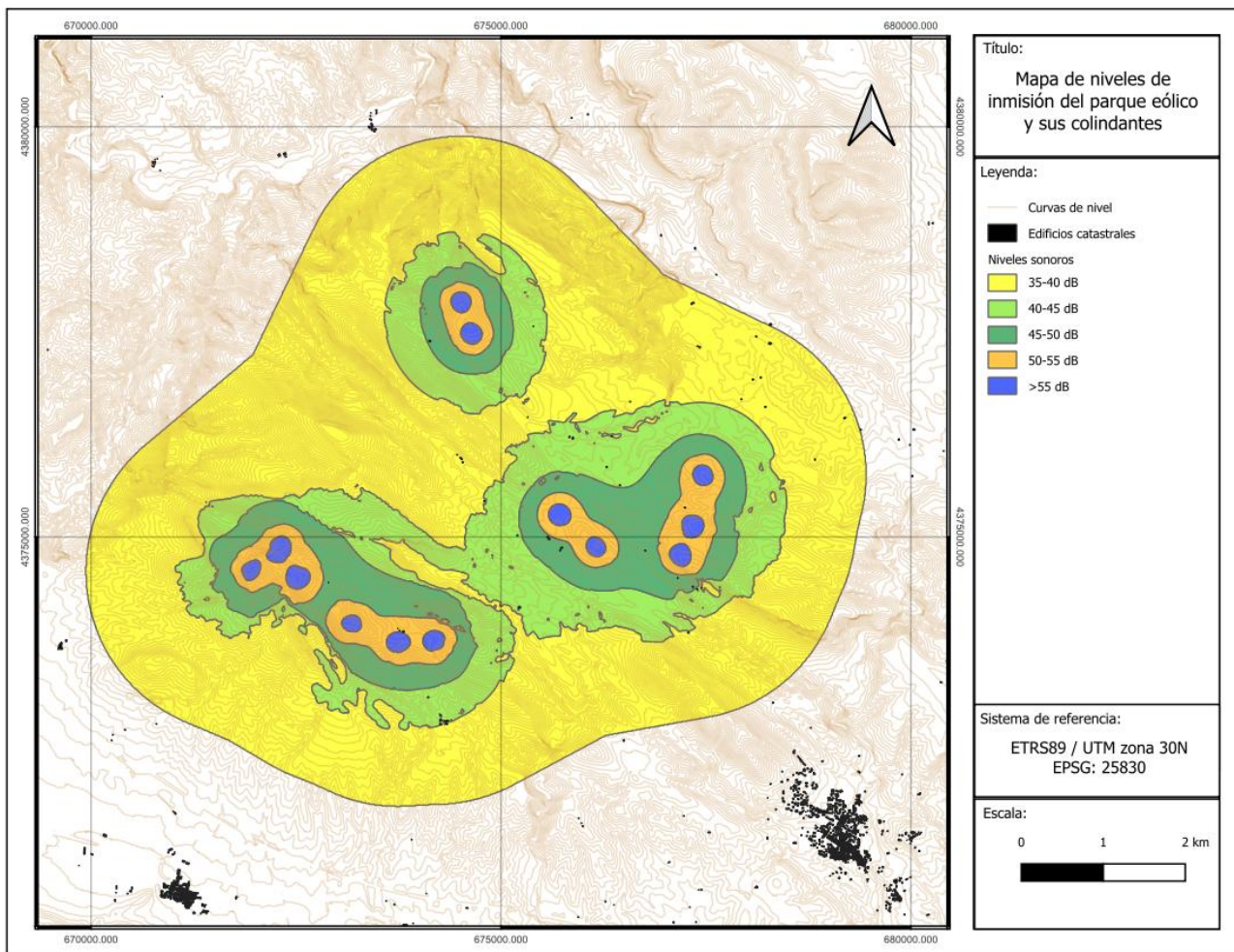


Ilustración 31. Mapa de niveles de inmisión. Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que los niveles máximos de inmisión en las proximidades del parque se sitúan en torno a 55 dBA, disminuyendo progresivamente con la distancia hasta valores inferiores a 35 dBA en el límite del área de influencia. Esta atenuación responde a la dispersión geométrica del sonido, la absorción por el terreno y la presencia de obstáculos naturales, factores que reducen significativamente la energía sonora respecto a la potencia acústica nominal del aerogenerador (107 dBA en la fuente).

En cuanto al cumplimiento normativo, se ha comprobado que ninguna edificación residencial, sanitaria ni docente se encuentra dentro de las zonas donde el nivel sonoro supera los límites establecidos por la legislación autonómica y estatal (45 dBA para uso residencial en periodo nocturno y 35 dBA para usos sanitarios y docentes). Lo que garantiza la compatibilidad acústica del proyecto sin necesidad de medidas correctoras adicionales.

Desde el punto de vista espacial, las isófonas presentan una forma irregular condicionada por la topografía: las crestas y laderas orientadas hacia los aerogeneradores muestran niveles ligeramente superiores, mientras que los valles y zonas protegidas por relieves experimentan una reducción notable del ruido. Este patrón confirma la importancia de incorporar el modelo digital del terreno en la simulación, ya que la propagación en campo libre habría arrojado distancias mayores para los mismos niveles sonoros.

En síntesis, el análisis acústico evidencia que el parque eólico proyectado cumple con los objetivos de calidad acústica definidos por la normativa vigente, incluso en el escenario más desfavorable.

La ausencia de receptores sensibles dentro de las áreas de mayor exposición sonora refuerza la viabilidad del proyecto y su integración en el territorio.

7.8. Evaluación de zonas de exclusión acústica para ampliaciones

La planificación de futuras ampliaciones del parque eólico requiere incorporar criterios acústicos que garanticen el cumplimiento normativo y la protección de los receptores sensibles. Para ello, se ha realizado un análisis prospectivo basado en la normativa vigente y en la propagación del sonido en campo libre, con el objetivo de delimitar las áreas donde la instalación de nuevos aerogeneradores sería inviable.

El cálculo parte de la potencia acústica nominal del aerogenerador (107 dB), aplicando la ley de propagación en campo libre:

$$L_2 = L_1 - 20 \log_{10} \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \rightarrow r_2 = r_1 \times 10^{\frac{L_1 - L_2}{20}}$$

donde:

- L_1 es el nivel sonoro en la distancia de referencia (1 m),
- L_2 el nivel sonoro en la distancia deseada,
- r_1 y r_2 las distancias en metros.

Con esta fórmula se obtienen las distancias necesarias para cumplir los límites más restrictivos en periodo nocturno:

- 35 dBA (usos sanitarios y docentes): 752 m
- 45 dBA (uso residencial): 250 m

Estas distancias se han aplicado para generar *buffers* en QGIS sobre la cartografía catastral (INSPIRE Buildings), diferenciando los usos mediante el campo *current_Use* que identifica los diferentes usos de cada edificio. La unión de estos *buffers* define las zonas de exclusión acústica, donde no se permite la implantación de aerogeneradores adicionales.

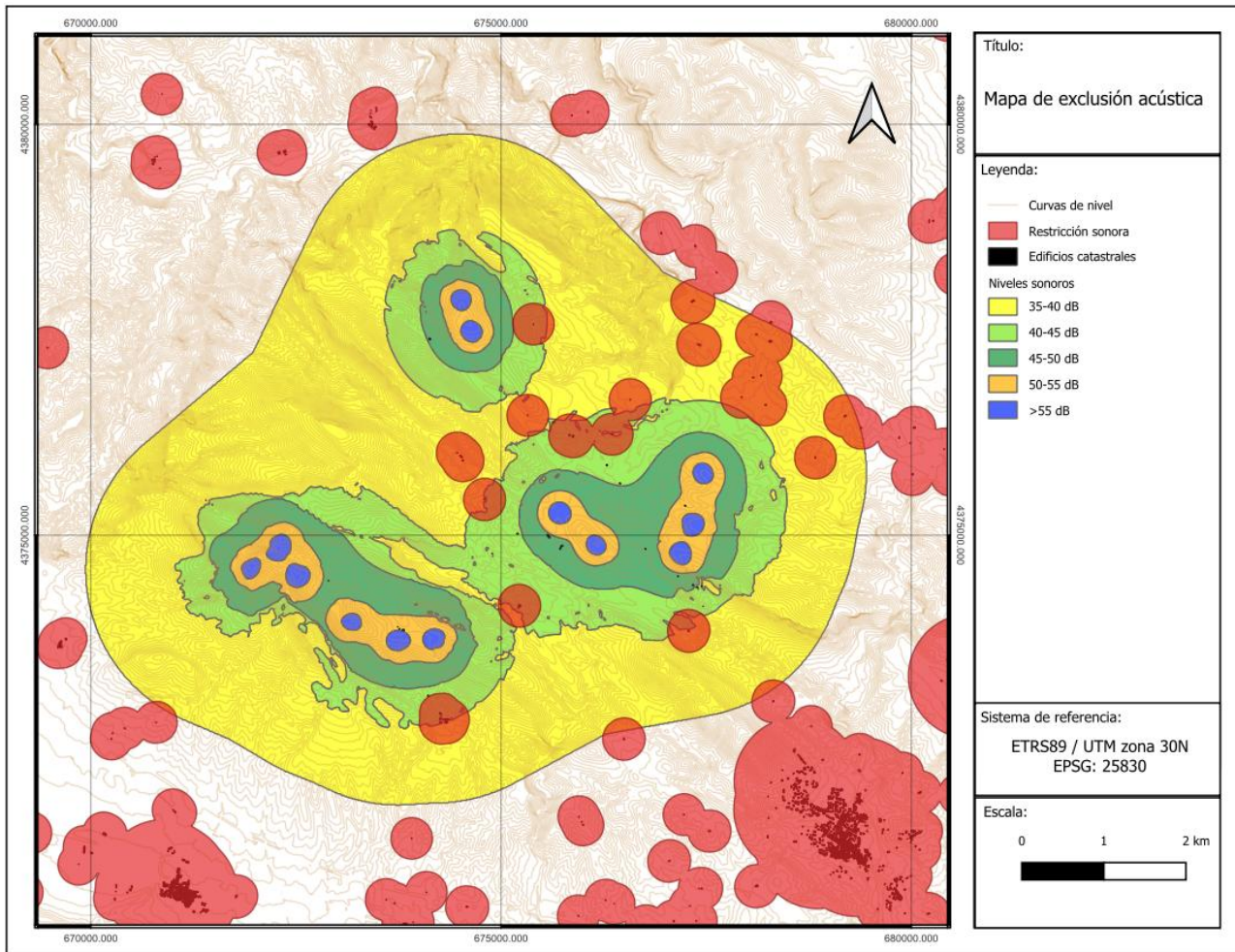


Ilustración 32. Mapa de exclusión acústica. Fuente: Elaboración propia

El mapa resultante muestra las áreas de restricción en torno a los núcleos habitados y equipamientos sensibles. Las zonas coloreadas en verde y amarillo representan los radios de influencia calculados, mientras que las áreas rojas corresponden a edificaciones catastrales analizadas. Se observa que:

- Las áreas más amplias de exclusión se concentran en el sector oriental y meridional del ámbito, donde existe mayor densidad de edificaciones.
- En el interior del polígono del parque, las restricciones son puntuales y no afectan a la ubicación actual de los aerogeneradores.
- Las zonas forestales y agrícolas alejadas permanecen libres de afección, lo que confirma que las limitaciones se focalizan en entornos habitados.

Este patrón evidencia que cualquier ampliación hacia el este o el sur del parque se vería condicionada por la proximidad a núcleos residenciales, mientras que las crestas occidentales presentan mayor margen de compatibilidad.

La identificación de estas áreas de exclusión acústica constituye una herramienta esencial para la planificación estratégica. Permite anticipar conflictos normativos y sociales, evitando la ubicación de aerogeneradores en zonas donde el impacto sonoro sería inaceptable. Además, la metodología

aplicada es replicable y escalable, pudiendo adaptarse a cambios normativos o a variaciones en el diseño del parque.

En conclusión, la Sierra del Tejo mantiene un alto grado de compatibilidad para ampliaciones, siempre que se respeten las distancias mínimas calculadas y se prioricen las áreas libres de afección detectadas en el análisis.

7.9. Conclusiones del estudio acústico

El análisis acústico confirma que el parque eólico proyectado cumple con los límites establecidos por la normativa estatal y autonómica, incluso en el escenario más desfavorable, que considera el funcionamiento continuo de los aerogeneradores a plena carga. Los niveles máximos de inmisión obtenidos en la simulación se sitúan en torno a 55 dBA en las zonas más próximas a las máquinas, reduciéndose rápidamente con la distancia hasta valores inferiores a 35 dBA en el límite del área de influencia. Este comportamiento garantiza que ninguna edificación residencial, sanitaria o docente se encuentra dentro de áreas que superen los valores normativos, lo que asegura la compatibilidad del proyecto con su entorno.

La metodología aplicada ha sido determinante para la fiabilidad del resultado. La integración del Modelo Digital del Terreno y la cartografía catastral en el software CADNA-A ha permitido reproducir la orografía y las edificaciones, factores que influyen de forma decisiva en la propagación del sonido. Este enfoque supera las limitaciones de un cálculo simplificado en campo libre, incorporando absorción del suelo, obstáculos y condiciones meteorológicas, lo que aporta realismo y rigor técnico al análisis.

Desde la perspectiva geomática, el uso de herramientas SIG ha facilitado la representación espacial de los resultados y la identificación de áreas críticas. La generación de mapas de isófonas y la superposición con las áreas de influencia acústica permiten interpretar el impacto acústico en relación con el territorio, ofreciendo una visión clara y operativa para la toma de decisiones. Esta capacidad de integrar normativa y datos espaciales refuerza la utilidad de los SIG en la planificación de proyectos eólicos.

En conjunto, el estudio acústico demuestra que la Sierra del Tejo presenta una alta compatibilidad para la implantación del parque eólico, sin afecciones significativas sobre receptores sensibles. Además, la metodología aplicada constituye una base sólida para futuros análisis, ya que permite incorporar escenarios adicionales y evaluar posibles ampliaciones con criterios objetivos y reproducibles.

8. Conclusiones

El presente Trabajo de Fin de Máster ha permitido evaluar la idoneidad de la Sierra del Tejo para la implantación de un parque eólico mediante un enfoque integral que combina análisis ambiental y modelización acústica. Los resultados obtenidos confirman que el emplazamiento presenta condiciones favorables tanto desde el punto de vista normativo como ambiental, lo que refuerza su viabilidad técnica y su coherencia con los objetivos de sostenibilidad energética.

En primer lugar, el estudio de sensibilidad ambiental ha evidenciado que la mayor parte del ámbito analizado se encuentra en categorías de sensibilidad baja o media, lo que indica una compatibilidad elevada con el desarrollo eólico. Las áreas de alta sensibilidad son puntuales y se asocian principalmente a factores críticos como la proximidad a espacios protegidos (Red Natura 2000, IBAs) y corredores ecológicos. Este patrón confirma que la ubicación propuesta para los aerogeneradores evita zonas de elevada fragilidad, aunque se propone la adopción de medidas preventivas para minimizar impactos sobre la avifauna y la conectividad ecológica. La metodología empleada, basada en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y en operaciones de álgebra de mapas en QGIS, ha permitido integrar múltiples criterios ambientales en un modelo espacial reproducible y transparente.

En segundo lugar, el análisis acústico realizado con el software CADNA-A demuestra que el parque cumple con los límites establecidos por la normativa estatal y autonómica, incluso en el escenario más desfavorable. Los niveles máximos de inmisión se sitúan en torno a 55 dB en las zonas más próximas a los aerogeneradores, reduciéndose rápidamente con la distancia hasta valores inferiores a 35 dB en el límite del área de influencia. Ninguna edificación residencial, sanitaria o docente se encuentra dentro de áreas que superen los valores normativos, lo que garantiza la compatibilidad acústica del proyecto sin necesidad de medidas correctoras adicionales. Este resultado se ha obtenido gracias a la incorporación del Modelo Digital del Terreno y la cartografía catastral en la simulación, lo que aporta realismo y rigor técnico frente a cálculos simplificados en campo libre.

Desde el punto de vista metodológico, el proyecto pone de manifiesto la relevancia de las herramientas geomáticas en la planificación de infraestructuras energéticas. El uso de SIG ha permitido integrar datos ambientales, normativos y territoriales en un entorno común, facilitando la generación de mapas temáticos, la automatización de procesos y la interpretación espacial de los resultados. Esta aproximación no solo mejora la precisión del análisis, sino que también aporta una base sólida para la toma de decisiones y la comunicación técnica, consolidando un flujo de trabajo replicable en otros proyectos.

Finalmente, el estudio confirma que la Sierra del Tejo es un emplazamiento adecuado para la implantación del parque eólico, siempre que se mantenga una gestión responsable del territorio y se apliquen las medidas preventivas propuestas. La metodología desarrollada constituye una herramienta eficaz para garantizar la sostenibilidad del proyecto, anticipar conflictos normativos y ambientales, y orientar futuras ampliaciones con criterios objetivos y reproducibles. En conjunto, este trabajo contribuye a la planificación ordenada de las energías renovables, reforzando su papel en la transición hacia un modelo energético descarbonizado y respetuoso con el medio ambiente.

9. Presupuesto

Este apartado recoge la estimación económica del estudio completo, que incluye la recopilación y tratamiento de datos, análisis de sensibilidad ambiental, modelización acústica, elaboración del informe y una visita técnica al emplazamiento. El cálculo se ha desglosado en costes directos, costes indirectos, beneficio industrial y la aplicación del IVA vigente.

9.1. Costes directos

Los costes directos corresponden a la remuneración del personal técnico especializado en SIG, análisis multicriterio y modelización acústica, así como la visita de campo para verificación del emplazamiento.

Para calcular el coste se ha tomado como referencia el Convenio colectivo del sector de oficinas y despachos de la provincia de Valencia, que establece un salario base para titulados superiores (Grupo 1) en torno a 1.786 € mensuales, más complementos, lo que equivale a unos 89 € por jornada considerando 20 días laborables al mes y 8 horas diarias. Este valor se ha mantenido como base para garantizar coherencia con estándares profesionales.

- Salario base estimado: 1.786 €/mes (según convenio sectorial).
- Jornada laboral: 8 h/día, 20 días/mes → coste diario: 89 €.
- Dedicación total estimada: 450 horas (56,25 jornadas).
- Visita a campo: 150 € (Incluye desplazamiento y dieta)

Coste directo total: $56,25 \text{ jornadas} \times 89,31 \text{ €} = 5.173,69 \text{ €}$

9.2. Costes Indirectos

Incluyen gastos generales no imputables directamente a una tarea concreta: alquiler de espacio, amortización de equipos, suministros y licencias de software (CADNA-A).

- Coste indirecto mensual estimado: 1.600 € → coste diario: 80 €.
- Para 56,25 jornadas: $56,25 \times 80 \text{ €} = 4.500 \text{ €}$

9.3. Presupuesto total

Se ha aplicado un margen del 18% sobre la suma de costes directos e indirectos, equivalente a 1.747,26 €, para cubrir riesgos empresariales y asegurar la sostenibilidad del servicio profesional.

La base imponible resultante es de 11.420,95 €, a la que se añade el IVA vigente (21%), alcanzando un presupuesto final de 13.819,35 €. Este importe incluye todas las fases del estudio: recopilación y análisis de datos, elaboración del modelo de sensibilidad ambiental, simulación acústica, generación de cartografía temática, visita técnica y redacción del documento final.

Quedando un presupuesto final desglosado:

| | |
|----------------------|-------------|
| Costes Directos | 5.173,69 € |
| Costes Indirectos | 4.500,00 € |
| Beneficio Industrial | 1.747,26 € |
| Base Imponible | 11.420,95 € |
| Iva (21%) | 2.398,40 € |
| TOTAL | 13.819,35 € |

Tabla 12. Presupuestos finales. Fuente: Elaboración propia

10. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible forman parte de la Agenda 2030 de Naciones Unidas, un plan global que busca erradicar la pobreza, proteger el medio ambiente y garantizar el bienestar social y económico. Se estructuran en 17 objetivos que abarcan áreas como salud, educación, energía, acción climática y conservación de ecosistemas. Su finalidad es servir como guía para que gobiernos, empresas y proyectos técnicos contribuyan a un desarrollo equilibrado y sostenible (ONU, 2015).

En este trabajo, los ODS se aplican como marco de referencia para asegurar que la implantación del parque eólico no solo cumpla criterios técnicos y normativos, sino que también aporte beneficios ambientales y sociales. La energía eólica, al ser una fuente renovable, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye a la transición hacia un modelo energético más limpio, alineándose con los principios de sostenibilidad global.

- ODS 7: Energía asequible y no contaminante.
El proyecto fomenta el uso de energía renovable, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y promoviendo un suministro energético sostenible.
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.
La planificación del parque eólico considera la integración territorial y la minimización de impactos ambientales, contribuyendo a entornos más seguros y resilientes.
- ODS 13: Acción por el clima.
La generación eólica disminuye las emisiones de CO₂, ayudando a mitigar el cambio climático y a cumplir los compromisos internacionales en materia de descarbonización.
- ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres.
El análisis de sensibilidad ambiental y las medidas preventivas garantizan la protección de la biodiversidad y la conservación de hábitats naturales.

11. Bibliografía

Global Wind Energy Council. (2025). *Global Wind Report 2025*.

<https://gwec.net/global-wind-report-2025>

Red Eléctrica de España. (2025). *Informe del sistema eléctrico español 2024*.

<https://www.ree.es/es>

Asociación Empresarial Eólica. (2025). *Informe anual de energía eólica en España*.

<https://aeeolica.org>

Gómez, J., Pérez, L., & Martínez, R. (2023). *Aplicaciones de la geomática en energías renovables*.

https://www.researchgate.net/publication/382640134_Aplicaciones_geomaticas_en_el_estudio_de_la_sustentabilidad

Generalitat Valenciana. (2020). *Plan Eólico de la Comunidad Valenciana*. Decreto-ley 14/2020, de 7 de agosto, del Consell, por el que se modifica el Plan Eólico de la Comunidad Valenciana.

<https://cindi.gva.es/es/web/energia/pla-eolic-de-la-comunitat-valenciana>

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2025). *Atlas Eólico Ibérico*.

<https://www.mapaeolicoiberico.com>

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2025). *Datos climatológicos: valores normales y extremos*.

<https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos>

Datakustik GmbH. (2025). *CadnaA – Software for Environmental Noise Calculation*.

<https://www.datakustik.com>

Comisión Europea. (2012). CNOSSOS-EU: Common Noise Assessment Methods in Europe. Diario Oficial de la Unión Europea, L168

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32015L0996>

BOE. (2003). Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. Boletín Oficial del Estado, nº 276, 18 de noviembre de 2003.

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-21313>

BOE. (2007). Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, del Ruido. Boletín Oficial del Estado, nº 254, 23 de octubre de 2007.

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-18397>

BOE. (2012). Real Decreto 1038/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1367/2007, del Ruido. Boletín Oficial del Estado, nº 185, 3 de agosto de 2012.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2012-10393>

Unión Europea. (2015). Directive (EU) 2015/996 – CNOSSOS-EU: Common Noise Assessment Methods in Europe. Official Journal of the European Union, L168, 1–823.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32015L0996>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2020). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental de instalaciones eólicas.

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacion-ambiental/>

Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

<https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>

Generalitat Valenciana (GVA). (2019). Plan Eólico de la Comunidad Valenciana. Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural.

<https://geocataleg.gva.es/>

Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (2022). Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG).

<https://info.igme.es/catalogo/resource.aspx?portal=1&catalog=3>

Global Biodiversity Information Facility (GBIF). (2024). API Documentation.

<https://www.gbif.org/developer/summary>

World Wide Fund for Nature (WWF España). (2020). Informe Autopistas Salvajes: Conectividad ecológica en España.

https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/especies_y_habitats/conectividad_y_adaptacion_al_cambio_climatico/informe_autopistas_salvajes/

Comisión Europea. (2012). CNOSSOS-EU: Common Noise Assessment Methods in Europe. Official Journal of the European Union, L168, 1–823.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32015L0996>

Datakustik GmbH. (2025). CadnaA – Software for Environmental Noise Calculation.

<https://www.datakustik.com>

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill.

Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons.

12. Anejos

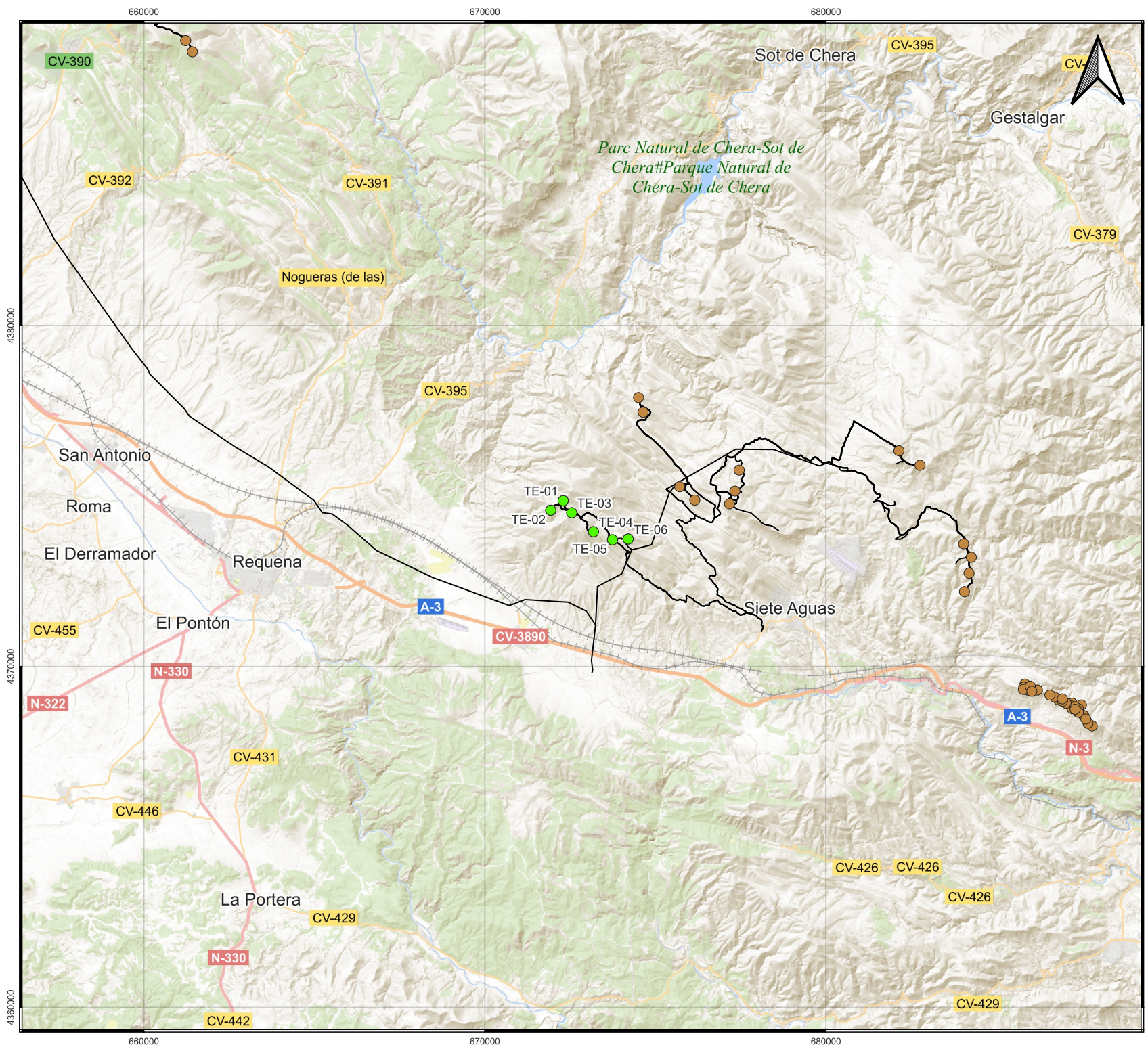
12.1. Mapa de situación

12.2. Mapa de sensibilidad

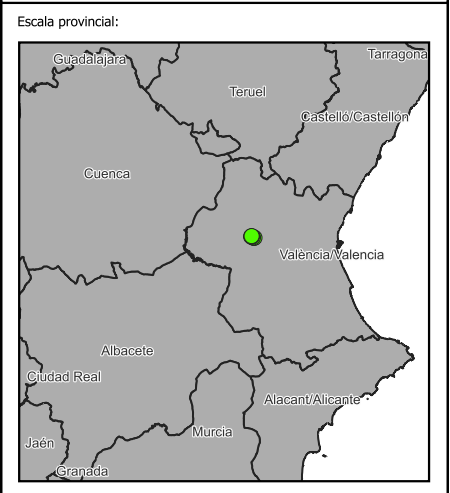
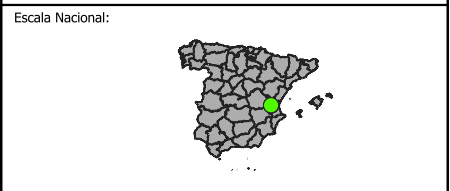
12.3. Mapa de niveles de inmisión

12.4. Mapa de exclusión acústica

12.5. Scripts de Python

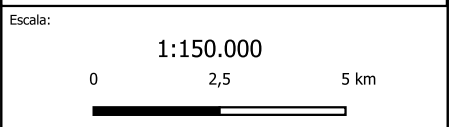


Título:
MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL PARQUE EÓLICO



- Leyenda:
- Aerogeneradores de estudio
 - Aerogeneradores existentes
 - Caminos y líneas de evacuación
 - Mapa base IGN

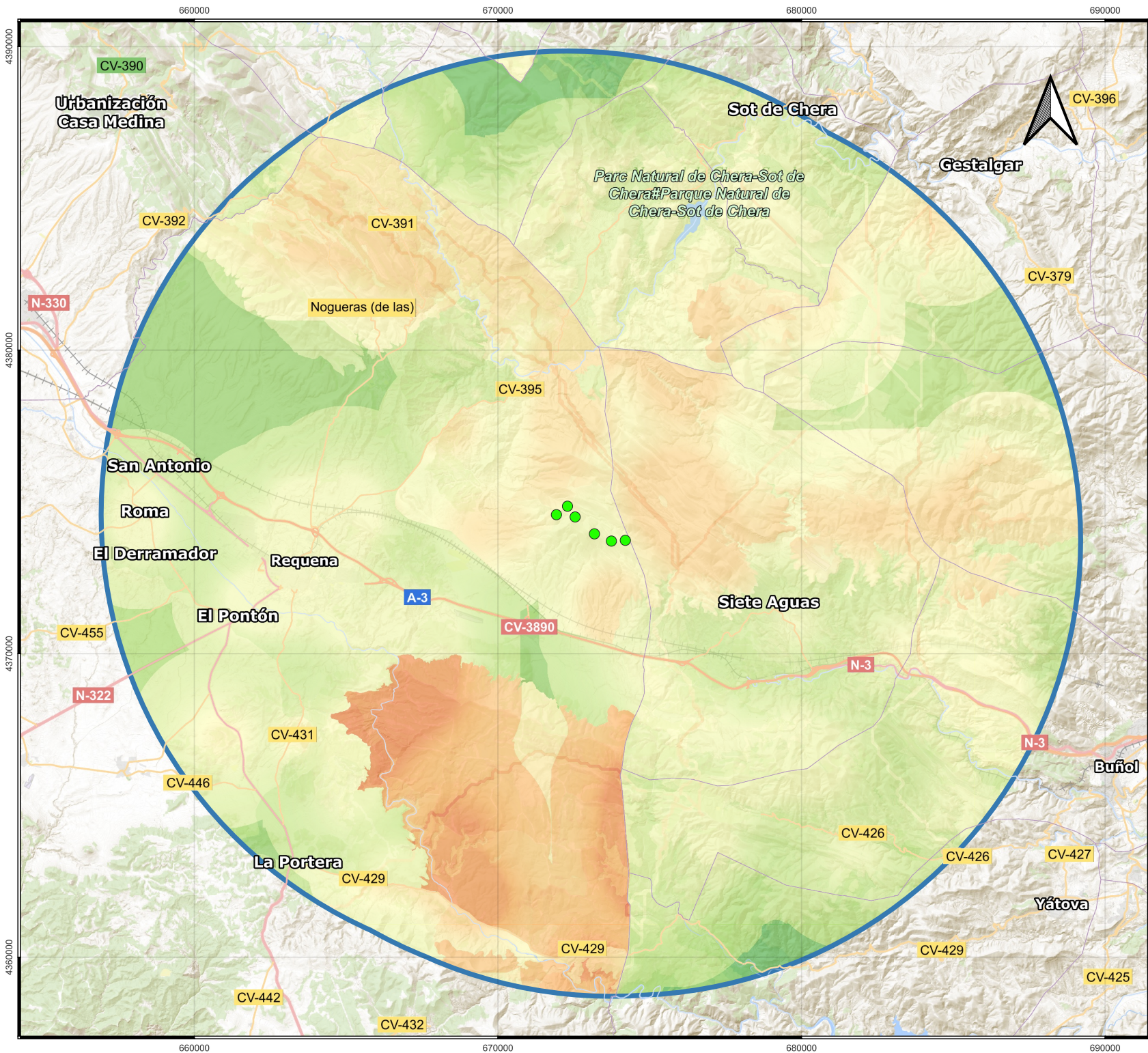
Sistema de referencia:
 ETRS89 / UTM zona 30N
 EPSG: 25830



Autor:
Carlos Alós Miguel

Fecha:
NOVIEMBRE 2025

Logos:



Título:

MAPA DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL

Leyenda:

- Aerogeneradores de estudio
- Ámbito de estudio

Clasificación de sensibilidad

- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy alta

Mapa base IGN

Sistema de referencia:

ETRS89 / UTM zona 30N
EPSG: 25830

Escala:

1:170.000

0 2,5 5 km


Autor:


Carlos Alós Miguel

Fecha:

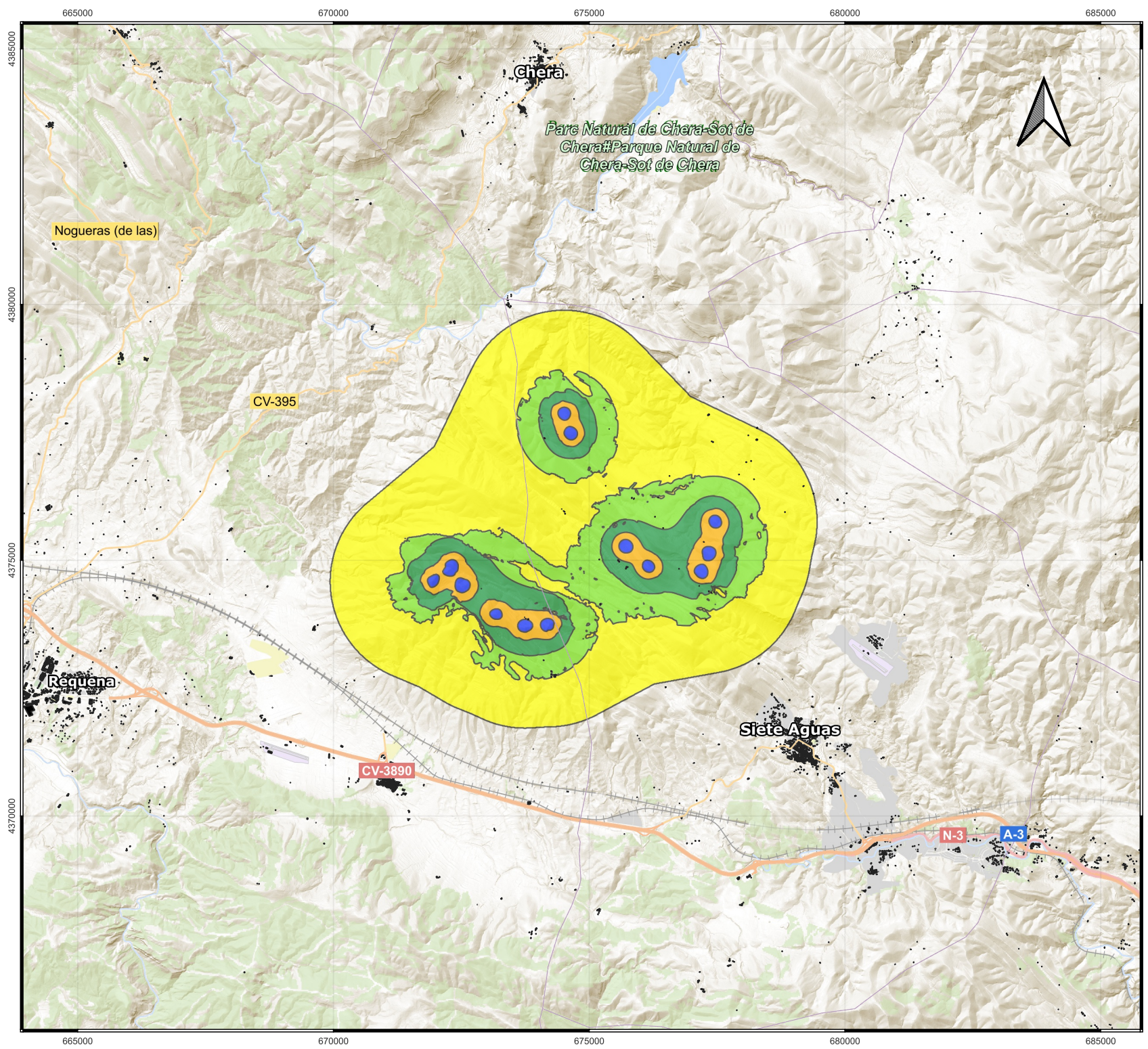
NOVIEMBRE 2025

Logos:











**ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**




Título:
MAPA DE NIVELES DE INMISIÓN

Legenda:

-  Edificios catastrales
- Niveles de inmisión
-  35-40 dB
-  40-45 dB
-  45-50 dB
-  50-55 dB
-  >55 dB
- Mapa base IGN

Sistema de referencia:
ETRS89 / UTM zona 30N
EPSG: 25830

Escala:
1:100.000

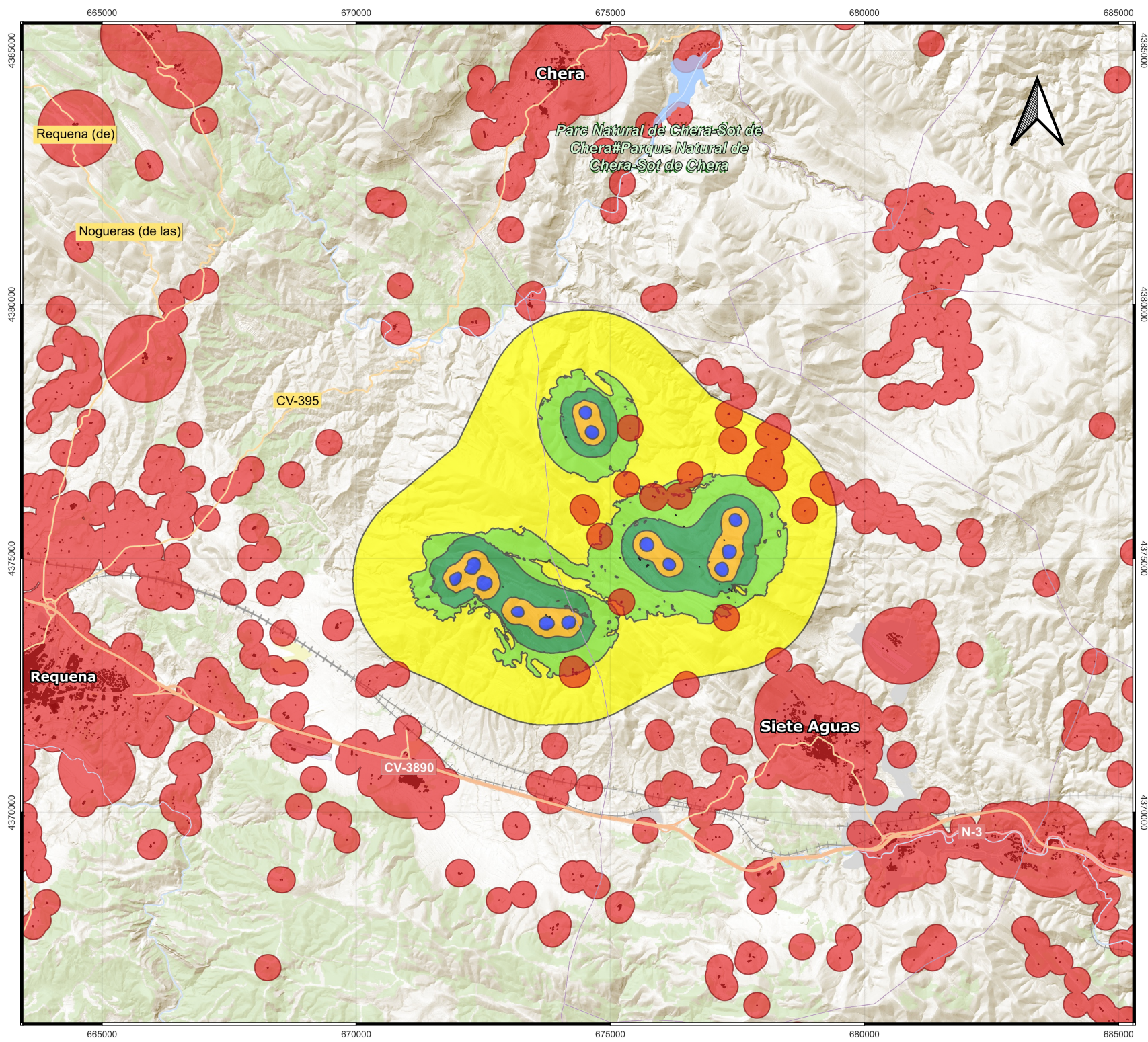


Autor:
Carlos Alós Miguel

Fecha:
NOVIEMBRE 2025

Logos:





Título:
MAPA DE EXCLUSIÓN ACÚSTICA

Legenda:

- Edificios catastrales
- Restricción sonora

Niveles de inmisión

- 35-40 dB
- 40-45 dB
- 45-50 dB
- 50-55 dB
- >55 dB

Mapa base IGN

Sistema de referencia:
ETRS89 / UTM zona 30N
EPSG: 25830

Escala:
1:100.000

0 1 2 3 km

Autor:
Carlos Alós Miguel

Fecha:
NOVIEMBRE 2025

Logos:

**ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

12.5 Scripts de Python

Cargar Fauna en Qgis:

Mapa de interpolación de la fauna:

Puntos cada KM y detección de núcleos de población:

Descarga automatizada de catastro:

Cargar Fauna en Qgis:

```
from qgis.core import QgsProject, QgsVectorLayer, QgsField, QgsFeature, QgsGeometry,
QgsPointXY
```

```
from PyQt5.QtCore import QVariant
```

```
import requests
```

```
# Lista de nombres científicos
```

```
scientific_names = [
```

```
    'Sylvia undata', 'Rhinolophus ferrumequinum', 'Myotis emarginatus', 'Lutra lutra',
```

```
    'Lullula arborea', 'Cobitis paludica', 'Circaetus gallicus', 'Aquila fasciata',
```

```
    'Aquila chrysaetos', 'Oxygastra curtisii', 'Falco peregrinus', 'Coenagrion mercuriale',
```

```
    'Cinclus cinclus', 'Barbastella barbastellus', 'Alcedo atthis'
```

```
]
```

```
# Parámetros de consulta
```

```
country = 'ES'
```

```
publishing_country = 'ES'
```

```
institution_code = 'bdbcv'
```

```
# Función para obtener datos de GBIF API con paginación
```

```
def get_gbif_occurrences(scientific_name):
```

```
    url = 'https://api.gbif.org/v1/occurrence/search'
```

```
    limit = 100
```

```
    offset = 0
```

```
    all_results = []
```

```
    while True:
```

```
        params = {
```

```
            'scientificName': scientific_name,
```

```
            'country': country,
```

```
            'publishingCountry': publishing_country,
```

```
            'institutionCode': institution_code,
```

```
            'limit': limit,
```

```

        'offset': offset
    }
}

try:
    response = requests.get(url, params=params)
    response.raise_for_status()
    data = response.json()
    if 'results' in data and len(data['results']) > 0:
        all_results.extend(data['results'])
        offset += limit
    else:
        break
except requests.exceptions.RequestException as e:
    print(f"Error al obtener datos de GBIF para {scientific_name}: {str(e)}")
    break

return all_results

# Función para cargar los datos en QGIS
def load_gbif_data_into_qgis(scientific_name):
    # Obtener datos de GBIF
    data = get_gbif_occurrences(scientific_name)
    if not data:
        print(f"No se encontraron datos para {scientific_name}")
        return

    # Crear capa vectorial en memoria
    mem_layer = QgsVectorLayer("Point?crs=epsg:4326&index=yes", scientific_name,
    "memory")

    # Añadir campo de scientific_name a la capa si no existe
    field_name = "scientific_name"
    if not mem_layer.fields().indexFromName(field_name) >= 0:
        mem_layer.startEditing()
        mem_layer.addAttribute(QgsField(field_name, QVariant.String))

```

```

mem_layer.commitChanges()

# Añadir características a la capa

features = []

for record in data:

    latitude = record.get('decimalLatitude')

    longitude = record.get('decimalLongitude')

    if latitude is not None and longitude is not None:

        point = QgsPointXY(float(longitude), float(latitude))

        feature = QgsFeature()

        feature.setGeometry(QgsGeometry.fromPointXY(point))

        # Establecer atributo scientific_name como el nombre de la especie

        feature.setAttributes([scientific_name])

        features.append(feature)

# Agregar características a la capa

mem_layer.dataProvider().addFeatures(features)

mem_layer.updateExtents()

# Añadir capa a QGIS

QgsProject.instance().addMapLayer(mem_layer)

print(f"Capa cargada para {scientific_name}")

# Procesar cada nombre científico

for name in scientific_names:

    load_gbif_data_into_qgis(name)

```

Mapa de interpolación de la fauna:

```

import os, math, tempfile

import numpy as np

from qgis.core import (QgsProject, QgsVectorLayer, QgsRasterLayer, QgsRectangle,
                       QgsCoordinateTransform)

```

```

from osgeo import gdal, osr, ogr

# -----
# CONFIG (ajusta aquí)
# -----

LAYER_NAMES = {          # nombres EXACTOS en el panel de capas
    "avifauna": "unido_avifauna",
    "terrestre": "unido_terrestre",
    "flora": "unido_flora",
}

STUDY_POLY_NAME = "zona_estudio" # polígono de recorte

RADII = {                # radio hasta 0 para distance-decay
    "avifauna": 2500.0,   # m
    "terrestre": 2000.0, # m
    "flora": 400.0,      # m
}

GAMMAS = {
    "avifauna": 0.7,
    "terrestre": 0.7,
    "flora": 0.7,
}

GRID_RES_METERS = 5.0    # 5 m por píxel
KDE_SIGMA_FACTOR = 2.5   # sigma_px = (R / factor) / res con 3 ⇒ 3σ ≈ R
CLEAN_THRESHOLD = 0.01   # fuerza a 0 valores muy bajos
COMBINATION = "max"      # 'max' | 'mean' | 'weighted_mean'
WEIGHTS = {              # solo si COMBINATION = 'weighted_mean'
    "avifauna": 1.0,
    "terrestre": 1.0,
    "flora": 1.0,
}

OUTPUT_PATH = r"C:\Users\carlo\Documents\fusion_interpolacion_5m_3.tif"
OVERWRITE = True

# -----

proj = QgsProject.instance()

```

```

def layer_by_name(name):
    lst = proj.mapLayersByName(name)
    return lst[0] if lst else None

# 1) Cargar capas
layers = {}
for k, nm in LAYER_NAMES.items():
    lyr = layer_by_name(nm)
    if not lyr:
        raise Exception(f" No encuentro la capa de puntos '{nm}'.")
    if not isinstance(lyr, QgsVectorLayer) or lyr.geometryType() != 0:
        raise Exception(f" '{nm}' debe ser de PUNTOS.")
    layers[k] = lyr
poly = layer_by_name(STUDY_POLY_NAME)
if not poly:
    raise Exception(f" No encuentro el polígono '{STUDY_POLY_NAME}'.")

# 2) CRS métrico común (usamos el de avifauna)
target_crs = layers["avifauna"].crs()
if target_crs.isGeographic():
    raise Exception(" CRS geográfico detectado. Reprojeta a EPSG:25830 u otro CRS en METROS.")
for nm, lyr in list(layers.items()) + [(STUDY_POLY_NAME, poly)]:
    if lyr.crs().authid() != target_crs.authid():
        raise Exception(f" '{nm}' no está en el mismo CRS que avifauna ({target_crs.authid()}). Reprojétala.")
target_authid = target_crs.authid()
print(f" CRS destino: {target_authid}")

# 3) Extensión = bbox de zona_estudio ampliada por el mayor radio
max_r = max(RADII.values())
e = poly.extent()
ext = QgsRectangle(e.xMinimum()-max_r, e.yMinimum()-max_r,
                  e.xMaximum()+max_r, e.yMaximum()+max_r)

# 4) Malla 5 m exactos (GeoTransform)

```

```

res = GRID_RES_METERS

cols = int(math.ceil(ext.width() / res))
rows = int(math.ceil(ext.height() / res))

minx, maxy = ext.xMinimum(), ext.yMaximum()
geotransform = (minx, res, 0.0, maxy, 0.0, -res)

print(f" Extensi3n ampliada:
{ext.xMinimum()},{ext.xMaximum()},{ext.yMinimum()},{ext.yMaximum()}")

print(f" Malla: {cols} x {rows} celdas (5 m/px)")

# 5) SRS WKT para GDAL
sref = osr.SpatialReference()
if target_authid.upper().startswith("EPSG:"):
    sref.ImportFromEPSG(int(target_authid.split(":")[1]))
else:
    sref.ImportFromWkt(target_crs.toWkt())
wkt = sref.ExportToWkt()

# 6) Utilidades GDAL/NumPy
def create_tiff(path, cols, rows, geotransform, wkt, dtype=gdal.GDT_Float32, nodata=0,
options=None):
    if options is None:
        options = ['TILED=YES', 'COMPRESS=DEFLATE', 'PREDICTOR=2']
    drv = gdal.GetDriverByName('GTiff')
    ds = drv.Create(path, cols, rows, 1, dtype, options=options)
    ds.SetGeoTransform(geotransform)
    ds.SetProjection(wkt)
    band = ds.GetRasterBand(1)
    if nodata is not None:
        band.SetNoDataValue(nodata)
    return ds

def save_array_tiff(arr, path, dtype=gdal.GDT_Float32, nodata=0.0):
    ds = create_tiff(path, arr.shape[1], arr.shape[0], geotransform, wkt, dtype=dtype,
nodata=nodata)
    ds.GetRasterBand(1).WriteArray(arr)
    ds.GetRasterBand(1).FlushCache()

```

```
ds = None
```

```
def points_to_mask_array(qgs_layer, cols, rows, geotransform, target_crs):  
    """Devuelve array uint8 con 1 en el píxel de cada punto."""  
    arr = np.zeros((rows, cols), dtype=np.uint8)  
    minx, px_w, _, maxy, _, neg_py = geotransform  
    pos_py = -neg_py  
    need_tr = (qgs_layer.crs().authid() != target_crs.authid())  
    ct = QgsCoordinateTransform(qgs_layer.crs(), target_crs, proj) if need_tr else None  
  
    count = 0  
    for f in qgs_layer.getFeatures():  
        g = f.geometry()  
        if not g or g.isEmpty():  
            continue  
        geom = g  
        if need_tr:  
            try:  
                geom = g.clone(); geom.transform(ct)  
            except Exception:  
                try:  
                    g.transform(ct); geom = g  
                except Exception:  
                    continue  
        try:  
            if geom.isMultipart():  
                coords = [(p.x(), p.y()) for p in geom.asMultiPoint()]  
            else:  
                p = geom.asPoint(); coords = [(p.x(), p.y())]  
        except Exception:  
            c = geom.centroid().asPoint(); coords = [(c.x(), c.y())]  
  
        for x, y in coords:
```

```

col = int((x - minx) // px_w)
row = int((maxy - y) // pos_py)
if 0 <= col < cols and 0 <= row < rows:
    arr[row, col] = 1
    count += 1
print(f" Píxeles de puntos: {count}")
return arr

```

```

def compute_distance(mask_tif, dist_tif):

```

```

    """Distancia (m) al píxel 1 más cercano (GDAL API)."""
    src = gdal.Open(mask_tif, gdal.GA_ReadOnly)
    out = create_tiff(dist_tif, cols, rows, geotransform, wkt, dtype=gdal.GDT_Float32, nodata=0)
    gdal.ComputeProximity(src.GetRasterBand(1), out.GetRasterBand(1),
        ['VALUES=1', 'DISTUNITS=GEO', 'NODATA=0'])
    out.FlushCache(); out = None; src = None

```

```

def gaussian_kernel1d_sigma(sigma_px):

```

```

    rad = int(max(1, math.ceil(3.0 * sigma_px)))
    x = np.arange(-rad, rad+1, dtype=np.float32)
    k = np.exp(-(x**2) / (2.0 * sigma_px * sigma_px))
    k /= k.sum()
    return k

```

```

def sep_conv_rows(arr, k):

```

```

    pad = len(k)//2
    padded = np.pad(arr, ((0,0),(pad,pad)), mode='edge')
    out = np.empty_like(arr, dtype=np.float32)
    for i in range(arr.shape[0]):
        out[i, :] = np.convolve(padded[i, :], k, mode='valid')
    return out

```

```

def sep_conv_cols(arr, k):

```

```

    pad = len(k)//2

```

```

padded = np.pad(arr, ((pad,pad),(0,0)), mode='edge')
out = np.empty_like(arr, dtype=np.float32)
for j in range(arr.shape[1]):
    out[:, j] = np.convolve(padded[:, j], k, mode='valid')
return out

def rasterize_polygon_mask(poly_layer_src_path):
    """Máscara 1/0 de zona_estudio (GDAL RasterizeLayer)."""
    ogr_ds = ogr.Open(poly_layer_src_path)
    if ogr_ds is None:
        raise Exception(" No pude abrir la fuente de 'zona_estudio' con OGR. Guarda a Shapefile/Geopackage y reintentá.")
    ogr_lyr = ogr_ds.GetLayer(0)
    mask_path = os.path.join(tmpdir, "mask_poly.tif")
    ds_mask = create_tiff(mask_path, cols, rows, geotransform, wkt, dtype=gdal.GDT_Byte, nodata=0)
    rb = ds_mask.GetRasterBand(1); rb.Fill(0)
    try:
        gdal.RasterizeLayer(ds_mask, [1], ogr_lyr, burn_values=[1])
    except AttributeError:
        raise Exception(" Tu GDAL no expone RasterizeLayer. Exporta 'zona_estudio' a archivo vectorial e inténtalo de nuevo.")
    ds_mask.FlushCache(); ds_mask = None
    ds = gdal.Open(mask_path, gdal.GA_ReadOnly)
    arr = ds.GetRasterBand(1).ReadAsArray().astype(np.uint8); ds = None
    return (arr > 0)

# 7) TMP y máscara de zona_estudio (para aplicar 0 fuera)
os.makedirs(os.path.dirname(OUTPUT_PATH), exist_ok=True)
tmpdir = tempfile.mkdtemp(prefix="fusion3_5m_")
print("TMP:", tmpdir)

poly_src_path = poly.dataProvider().dataSourceUri().split('|')[0]
inside_mask = rasterize_polygon_mask(poly_src_path).astype(np.float32) # 1 dentro, 0 fuera

```

```
# 8) Fusión incremental para ahorrar RAM (v_final se combina al vuelo)
```

```
v_final = None
```

```
weight_sum = 0.0
```

```
for key in ["avifauna", "terrestre", "flora"]:
```

```
    lyr = layers[key]
```

```
    R = float(RADII[key])
```

```
    gamma = float(GAMMAS[key])
```

```
    print(f"\n ♦ Procesando {key} (R={R} m, gamma={gamma}) ...")
```

```
    # 8.1) Máscara de puntos -> TIFF temporal
```

```
    mask_pts = points_to_mask_array(lyr, cols, rows, geotransform, target_crs)
```

```
    mask_pts_tif = os.path.join(tmpdir, f"{key}_mask_pts.tif")
```

```
    save_array_tiff(mask_pts.astype(np.uint8), mask_pts_tif, dtype=gdal.GDT_Byte, nodata=0)
```

```
    # 8.2) Distancia (m) y decaimiento con corte (power)
```

```
    dist_tif = os.path.join(tmpdir, f"{key}_dist.tif")
```

```
    compute_distance(mask_pts_tif, dist_tif)
```

```
    ds = gdal.Open(dist_tif, gdal.GA_ReadOnly)
```

```
    darr = ds.GetRasterBand(1).ReadAsArray().astype(np.float32); ds = None
```

```
    norm = (darr / R) ** gamma
```

```
    v_decay = 1.0 - norm
```

```
    v_decay[darr > R] = 0.0
```

```
    v_decay[v_decay < 0] = 0.0
```

```
    # 8.3) KDE gaussiano (sin corte), escalado a pico=1
```

```
    sigma_px = max(0.5, (R / KDE_SIGMA_FACTOR) / GRID_RES_METERS)
```

```
    k1d = gaussian_kernel1d_sigma(sigma_px)
```

```
    heat = sep_conv_cols(sep_conv_rows(mask_pts.astype(np.float32), k1d), k1d)
```

```
    peak = float(k1d[len(k1d)//2] ** 2)
```

```
    v_kde = heat / max(peak, 1e-9)
```

```

v_kde = np.clip(v_kde, 0.0, 1.0)

# 8.4) Combinar DECAY + KDE por máximo (sin huecos)
v_grp = np.maximum(v_decay, v_kde)

# 8.5) Recorte a zona_estudio y limpieza de "niebla"
v_grp = v_grp * inside_mask
if CLEAN_THRESHOLD and CLEAN_THRESHOLD > 0:
    v_grp[v_grp < CLEAN_THRESHOLD] = 0.0

# 8.6) Fusión global
if v_final is None:
    if COMBINATION.lower() == "weighted_mean":
        v_final = v_grp * WEIGHTS[key]
        weight_sum += WEIGHTS[key]
    elif COMBINATION.lower() == "mean":
        v_final = v_grp
        weight_sum = 1.0
    else: # 'max'
        v_final = v_grp
else:
    if COMBINATION.lower() == "weighted_mean":
        v_final += v_grp * WEIGHTS[key]
        weight_sum += WEIGHTS[key]
    elif COMBINATION.lower() == "mean":
        v_final += v_grp
        weight_sum += 1.0
    else: # 'max'
        v_final = np.maximum(v_final, v_grp)

# 9) Normalizar si toca y guardar
if COMBINATION.lower() in ("mean", "weighted_mean"):
    v_final = v_final / max(weight_sum, 1e-9)
v_final = np.clip(v_final, 0.0, 1.0) # asegurar 0..1

```

```
if (not OVERWRITE) and os.path.exists(OUTPUT_PATH):
    raise Exception(f"El archivo ya existe: {OUTPUT_PATH}")

save_array_tiff(v_final.astype(np.float32), OUTPUT_PATH, dtype=gdal.GDT_Float32,
nodata=0.0)

# 10) Añadir al proyecto e info
rl = QgsRasterLayer(OUTPUT_PATH, os.path.basename(OUTPUT_PATH))
if rl.isValid():
    QgsProject.instance().addMapLayer(rl)
    print(" Capa añadida al proyecto.")
    try:
        px = rl.rasterUnitsPerPixelX(); py = rl.rasterUnitsPerPixelY()
        print(f" Tamaño de píxel: {px:.3f} x {py:.3f} m")
        print(f" Rango de valores: {float(v_final.min()):.4f} → {float(v_final.max()):.4f}")
    except Exception:
        pass
else:
    print(" No se pudo cargar la capa resultante (pero el archivo existe).")
```

Puntos cada KM y detección de núcleos de población:

=== Parámetros ===

USE_ACTIVE_LAYER = True

LAYER_NAME = "carretera_25830"

Paso y separación por defecto (fuera de núcleos)

BASE_STEP_M = 1000.0

BASE_MIN_SEP_M = 800.0

MIN_SEP_FLOOR_M = 120.0 # piso para evitar colapso incluso en núcleos

Detección de núcleos (más estricta para reducir falsos positivos)

SAMPLE_STEP_M = 400.0 # muestreo a lo largo de las líneas para buscar centros candidatos

DENSITY_RADIUS_M = 200.0 # radio para evaluar "trama urbana"

THR_LEN_M = 1800.0 # ↑ longitud total de vías dentro del radio

THR_SEG_COUNT = 30 # ↑ nº mínimo de segmentos

THR_ORIENT_ENTROPY = 0.72 # ↑ entropía mínima (0..1) de orientaciones

MAX_DOMINANCE_RATIO = 0.45 # ↓ si un segmento domina >45% de longitud, descarta

Clustering de candidatos para formar núcleos (más exigente y compacto)

CLUSTER_RADIUS_M = 200.0

MIN_CANDIDATES_PER_CLUSTER = 250

HULL_BUFFER_M = 50.0 # ensancha el hull para cubrir calles periféricas

Densificación dentro de núcleo

NUCLEUS_MULT = 2.5 # 2 (doble), 3 (triple), o decimal (2.5)

(Opcional) Filtrar tipos de vía para la detección del núcleo (NO afecta a la generación de puntos)

Desactivado por defecto para evitar mensajes y depender de campos

USE_ATTR_FILTER = False

ATTR_FIELD = "highway"

ALLOW_VALUES = {"residential", "living_street", "service", "unclassified", "tertiary", "secondary"}

```

# =====

from qgis.core import (
    QgsProject, QgsVectorLayer, QgsFeature, QgsField, QgsFeatureRequest,
    QgsWkbTypes, QgsSpatialIndex, QgsGeometry, QgsUnitTypes, QgsPointXY
)
from qgis.PyQt.QtCore import QVariant
import math

# 1) Capa de líneas
if USE_ACTIVE_LAYER:
    line_layer = iface.activeLayer()
else:
    line_layer = next((lyr for lyr in QgsProject.instance().mapLayers().values()
                      if lyr.name() == LAYER_NAME), None)
if not line_layer:
    raise Exception("No se encontró la capa de líneas. Actívala o indica su nombre.")
if line_layer.geometryType() != QgsWkbTypes.LineGeometry:
    raise Exception(f"La capa activa no es de líneas: {line_layer.name()}")

# 2) CRS en metros
crs = line_layer.crs()
if crs.mapUnits() != QgsUnitTypes.DistanceMeters:
    raise Exception(
        f"El CRS de la capa ({crs.authid()}) no está en metros. "
        "Reprojeta a EPSG métrico (p. ej., 25830/25831/3857) e inténtalo de nuevo."
    )

# 3) Preparar índice de líneas y caché
line_sp_index = QgsSpatialIndex()
line_geoms = {}
use_filter = USE_ATTR_FILTER

```

```

allow_ids = set()

fld_idx = -1
if use_filter:
    fld_idx = line_layer.fields().indexOfName(ATTR_FIELD)
    # Si el campo no existe, desactiva filtro en silencio
    if fld_idx == -1:
        use_filter = False

for lf in line_layer.getFeatures():
    if use_filter:
        val = lf[ATTR_FIELD]
        if val not in ALLOW_VALUES:
            # ignoramos esta línea para la detección de núcleos
            continue
        allow_ids.add(lf.id())
    g = lf.geometry()
    if g and not g.isEmpty():
        line_geoms[lf.id()] = g
        line_sp_index.addFeature(lf)

def _segments_from_geom(geom):
    """Devuelve lista de segmentos: ((x1,y1,x2,y2), length, orientation_deg[0..180])."""
    segs = []
    if not geom or geom.isEmpty():
        return segs
    gtype = QgsWkbTypes.geometryType(geom.wkbType()) # 0=Point,1=Line,2=Polygon
    if gtype != QgsWkbTypes.LineGeometry:
        return segs
    try:
        if geom.isMultipart():
            mlines = geom.asMultiPolyline()
            for pl in mlines:

```

```

for i in range(len(pl)-1):
    p1, p2 = pl[i], pl[i+1]
    dx, dy = (p2.x() - p1.x(), p2.y() - p1.y())
    L = math.hypot(dx, dy)
    if L <= 0: continue
    ang = (math.degrees(math.atan2(dy, dx)) + 360.0) % 180.0
    segs.append(((p1.x(), p1.y(), p2.x(), p2.y()), L, ang))
else:
    pl = geom.asPolyline()
    for i in range(len(pl)-1):
        p1, p2 = pl[i], pl[i+1]
        dx, dy = (p2.x() - p1.x(), p2.y() - p1.y())
        L = math.hypot(dx, dy)
        if L <= 0: continue
        ang = (math.degrees(math.atan2(dy, dx)) + 360.0) % 180.0
        segs.append(((p1.x(), p1.y(), p2.x(), p2.y()), L, ang))
except Exception:
    pass
return segs

```

```

def _orientation_entropy(angles_deg, bins=8):
    """Entropía normalizada (0..1) sobre orientaciones 0..180°."""
    if not angles_deg: return 0.0
    hist = [0]*bins
    width = 180.0 / bins
    for a in angles_deg:
        idx = int(a // width)
        if idx >= bins: idx = bins-1
        hist[idx] += 1
    n = sum(hist)
    if n == 0: return 0.0
    probs = [h/n for h in hist if h > 0]
    H = -sum(p * math.log(p) for p in probs)

```

```

Hmax = math.log(bins)
return H / Hmax if Hmax > 0 else 0.0

def metrics_at_point(pt_geom, radius_m):
    """Calcula métricas en el entorno del punto (usando solo líneas permitidas si aplica)."""
    buf = pt_geom.buffer(radius_m, 12)
    cand_ids = line_sp_index.intersects(buf.boundingBox())
    total_len = 0.0
    seg_lengths, angles = [], []
    for cid in cand_ids:
        if use_filter and (cid not in allow_ids):
            continue
        inter = line_geoms[cid].intersection(buf)
        if not inter or inter.isEmpty():
            continue
        total_len += inter.length()
        segs = _segments_from_geom(inter)
        for _, L, ang in segs:
            seg_lengths.append(L)
            angles.append(ang)
    seg_count = len(seg_lengths)
    max_seg = max(seg_lengths) if seg_lengths else 0.0
    dominance = (max_seg / total_len) if total_len > 0 else 0.0
    H = _orientation_entropy(angles, bins=8)
    return total_len, seg_count, H, dominance

def is_village_candidate(pt_geom):
    L, N, H, dom = metrics_at_point(pt_geom, DENSITY_RADIUS_M)
    return (L >= THR_LEN_M) and (N >= THR_SEG_COUNT) and (H >=
THR_ORIENT_ENTROPY) and (dom <= MAX_DOMINANCE_RATIO)

# 4) Buscar candidatos muestreando a lo largo de las líneas (solo sobre las líneas cargadas)
candidate_pts = []
for fid, geom in line_geoms.items():

```

```

length = geom.length()
d = 0.0
while d <= length:
    pt = geom.interpolate(d)
    if pt and not pt.isEmpty() and is_village_candidate(pt):
        candidate_pts.append(pt)
    d += SAMPLE_STEP_M

```

5) Clusterizar candidatos y crear polígonos de núcleos

```

nuclei_layer = QgsVectorLayer(f"Polygon?crs={crs.authid()}", "Nucleos_detectados_tmp",
"memory")
nu_prov = nuclei_layer.dataProvider()
nu_prov.addAttributes([
    QgsField("cluster_id", QVariant.Int),
    QgsField("n_cand", QVariant.Int),
    QgsField("area_m2", QVariant.Double)
])
nuclei_layer.updateFields()

```

Índice para clustering de candidatos

```

cand_index = QgsSpatialIndex()
cand_geoms = {}
for i, g in enumerate(candidate_pts, start=1):
    cand_geoms[i] = g
    tmpf = QgsFeature()
    tmpf.setGeometry(g)
    tmpf.setId(i)
    cand_index.addFeature(tmpf)

```

```

visited = set()
clusters = []
for uid in list(cand_geoms.keys()):
    if uid in visited:

```

```

        continue
queue = [uid]
cluster = []
visited.add(uid)
while queue:
    cur = queue.pop()
    cluster.append(cur)
    bbox = cand_geoms[cur].buffer(CLUSTER_RADIUS_M, 8).boundingBox()
    neigh = cand_index.intersects(bbox)
    for vid in neigh:
        if vid in visited:
            continue
        if cand_geoms[vid].distance(cand_geoms[cur]) <= CLUSTER_RADIUS_M:
            visited.add(vid)
            queue.append(vid)
clusters.append(cluster)

```

Crear polígonos (hull + buffer) para núcleos válidos

```

cluster_polys = []
cluster_id = 0
for cluster in clusters:
    if len(cluster) < MIN_CANDIDATES_PER_CLUSTER:
        continue
    pts = [cand_geoms[u].asPoint() for u in cluster]
    if len(pts) >= 3:
        mp = QgsGeometry.fromMultiPointXY([QgsPointXY(p) for p in pts])
        hull = mp.convexHull()
        if HULL_BUFFER_M > 0:
            hull = hull.buffer(HULL_BUFFER_M, 12)
    else:
        base = QgsGeometry.fromMultiPointXY([QgsPointXY(p) for p in pts])
        hull = base.buffer(CLUSTER_RADIUS_M, 12)
    if hull and not hull.isEmpty():

```

```
cluster_id += 1
f = QgsFeature(nuclei_layer.fields())
f.setGeometry(hull)
f["cluster_id"] = cluster_id
f["n_cand"] = len(cluster)
f["area_m2"] = float(hull.area())
nu_prov.addFeatures([f])
cluster_polys.append(hull)
```

```
nuclei_layer.updateExtents()
QgsProject.instance().addMapLayer(nuclei_layer)
```

6) Índice de núcleos (para comprobar si un punto cae dentro)

```
nucleus_index = QgsSpatialIndex()
```

```
nucleus_geoms = {}
```

```
for i, poly in enumerate(cluster_polys, start=1):
```

```
    nucleus_geoms[i] = poly
```

```
    tmpf = QgsFeature()
```

```
    tmpf.setGeometry(poly)
```

```
    tmpf.setId(i)
```

```
    nucleus_index.addFeature(tmpf)
```

```
def in_any_nucleus(pt_geom):
```

```
    if not nucleus_geoms:
```

```
        return False
```

```
    cand = nucleus_index.intersects(pt_geom.boundingBox())
```

```
    for cid in cand:
```

```
        if nucleus_geoms[cid].contains(pt_geom):
```

```
            return True
```

```
    return False
```

7) Generar puntos solo densificando dentro de núcleos detectados

```
pt_layer = QgsVectorLayer(f"Point?crs={crs.authid()}", "Puntos_en_nucleos_tmp", "memory")
```

```

pt_prov = pt_layer.dataProvider()
pt_prov.addAttributes([
    QgsField("src_fid", QVariant.LongLong),
    QgsField("d_m", QVariant.Double),
    QgsField("len_m", QVariant.Double),
    QgsField("in_nucleus", QVariant.Int), # 1 si está en núcleo, 0 si no
    QgsField("step_m", QVariant.Double),
    QgsField("minsep_m", QVariant.Double)
])
pt_layer.updateFields()

# Índice para separación mínima global
accepted_pts = {}
pt_sp_index = QgsSpatialIndex()
next_pt_id = 1
def too_close(pt_geom, min_sep_m):
    bbox = pt_geom.buffer(min_sep_m, 8).boundingBox()
    cand = pt_sp_index.intersects(bbox)
    for cid in cand:
        if accepted_pts[cid].distance(pt_geom) < min_sep_m:
            return True
    return False
for f in line_layer.getFeatures():
    geom = f.geometry()
    if not geom or geom.isEmpty():
        continue
    length = geom.length()
    d = 0.0
    while d <= length:
        pt = geom.interpolate(d)
        if not pt or pt.isEmpty():
            d += BASE_STEP_M
            continue

```

```

inside = in_any_nucleus(pt)
mult = NUCLEUS_MULT if inside else 1.0
step_here = max(BASE_STEP_M / mult, 1.0)
minsep_here = max(BASE_MIN_SEP_M / mult, MIN_SEP_FLOOR_M)

if not too_close(pt, minsep_here):
    nf = QgsFeature(pt_layer.fields())
    nf.setGeometry(pt)
    nf["src_fid"] = int(f.id())
    nf["d_m"] = round(float(d), 3)
    nf["len_m"] = round(float(length), 3)
    nf["in_nucleus"] = 1 if inside else 0
    nf["step_m"] = float(step_here)
    nf["minsep_m"] = float(minsep_here)
    pt_prov.addFeatures([nf])

    accepted_pts[next_pt_id] = pt
    tmpf = QgsFeature()
    tmpf.setGeometry(pt)
    tmpf.setId(next_pt_id)
    pt_sp_index.addFeature(tmpf)
    next_pt_id += 1

    d += step_here

pt_layer.updateExtents()
QgsProject.instance().addMapLayer(pt_layer)
# 8) Resumen (consola limpia)
print("=== RESUMEN ===")
print(f"Núcleos detectados: {len(cluster_polys)}")
print(f"Puntos generados: {pt_layer.featureCount()}")
print(f"Solo se densifica x2.5 dentro de {nuclei_layer.name()}")

```

Descarga automatizada de catastro:

```
import os, re, time, zipfile, unicodedata

from urllib.request import Request, urlopen
from urllib.error import URLError, HTTPError

from urllib.parse import urljoin, urlsplit, urlunsplit, quote, unquote

import xml.etree.ElementTree as ET

from qgis.core import (
    QgsProject, QgsVectorLayer, QgsFeatureRequest, QgsSpatialIndex,
    QgsCoordinateTransform, QgsGeometry
)

# ===== CONFIGURACIÓN =====

BASE_DIR = r"C:\Users\carlo\Documents\TFM_CarlosAlos_act\rutina_catastro\rutina_catastro"
SHP_DIR = os.path.join(BASE_DIR, "capas_shp")
PROV_SHP = os.path.join(SHP_DIR, "provincias.shp")
MUNI_SHP = os.path.join(SHP_DIR, "municipios.shp")
AOI_SHP = os.path.join(SHP_DIR, "contorno.shp")

PROV_NAME_FIELD = "NAMEUNIT"
MUNI_NAME_FIELD = "NAMEUNIT"

# ¿Qué descargar? 'CP' (Parcelas), 'AD' (Direcciones), 'BU' (Edificios)
DATASETS = ['BU'] # Ej.: ['CP','AD','BU'] para todo

# Carpeta de salida + ¿cargar GML al proyecto?
TARGET_DIR = os.path.join(BASE_DIR, "descargas_ins")
ADD_TO_PROJECT = False

# --- BANDERA PARA EL CONTORNO (AOI) ---
ADD_AOI_TO_PROJECT = True # <- añade AOI al proyecto nada más cargarlo

# Red
```

```
TIMEOUT = 90
```

```
UA = "QGIS-Py/3.x (+https://qgis.org) Catastro-INSPIRE by Nombres"
```

```
# Feeds raíz ATOM (dominio actual de la DGC)
```

```
BASE_URLS = {
```

```
    'CP':
```

```
    'https://www.catastro.hacienda.gob.es/INSPIRE/CadastralParcels/ES.SDGC.CP.Atom.xml',
```

```
    'AD': 'https://www.catastro.hacienda.gob.es/INSPIRE/Addresses/ES.SDGC.AD.Atom.xml',
```

```
    'BU': 'https://www.catastro.hacienda.gob.es/INSPIRE/Buildings/ES.SDGC.BU.Atom.xml',
```

```
}
```

```
# =====
```

```
# ----- utilidades QGIS -----
```

```
def load_vector(path, provider="ogr"):
```

```
    if not os.path.exists(path):
```

```
        raise RuntimeError(f"No existe: {path}")
```

```
    lyr = QgsVectorLayer(path, os.path.splitext(os.path.basename(path))[0], provider)
```

```
    if not lyr.isValid():
```

```
        raise RuntimeError(f"No se pudo cargar: {path}")
```

```
    return lyr
```

```
def dissolve_union_geom(layer):
```

```
    geoms = []
```

```
    for f in layer.getFeatures():
```

```
        g = f.geometry()
```

```
        if g and not g.isEmpty():
```

```
            if not g.isGeosValid():
```

```
                g = g.makeValid()
```

```
            geoms.append(g)
```

```
    if not geoms:
```

```
        raise RuntimeError(f"La capa '{layer.name()}' no tiene geometrías válidas.")
```

```
    out = geoms[0]
```

```
    for g in geoms[1:]:
```

```

        out = out.combine(g)
    if not out.isGeosValid():
        out = out.buffer(0, 5)
    return out

def reproject_geom(geom, src_crs, dst_crs):
    if src_crs == dst_crs:
        return geom

    tr = QgsCoordinateTransform(src_crs, dst_crs, QgsProject.instance())
    g2 = QgsGeometry(geom)
    g2.transform(tr)
    return g2

# ----- normalización / tokens -----
STOPWORDS = {'de','del','la','el','los','las','da','do','das','dos','d','l'}

def strip_accents(s: str) -> str:
    if s is None:
        return ""

    # NFD: descomponer
    nfd = unicodedata.normalize('NFD', s)
    # PROTEGER c + cedilla (U+0327) recomponiéndolo a 'ç'/'Ç' antes de limpiar el resto
    nfd = nfd.replace('c\u0327', 'ç').replace('C\u0327', 'Ç')
    # Eliminar el resto de marcas diacríticas
    t = ".join(ch for ch in nfd if unicodedata.category(ch) != 'Mn')
    return t

def norm_text(s: str) -> str:
    """
    Normaliza textos para comparaciones robustas con los feeds ATOM:
    - sin acentos
    - minúsculas
    - reemplaza separadores problemáticos

```

- elimina/aplana apóstrofes y demás puntuación
- colapsa espacios

```
"""
```

```
if s is None:
```

```
    return "
```

```
t = strip_accents(s).lower()
```

```
t = t.replace('ç', ' ') # <-- NUEVO: reemplaza 'ç' por espacio
```

```
t = re.sub(r"[´ `]", " ", t) # apóstrofes y variantes -> espacio
```

```
t = re.sub(r"[^a-z0-9\\s\\-]", " ", t) # limpia otros signos
```

```
return re.sub(r"\\s+", " ", t).strip()
```

```
def tokens(s: str):
```

```
    return [t for t in norm_text(s).split() if t and t not in STOPWORDS]
```

```
# Sanitizado de nombres de carpeta/archivo
```

```
def safe_name(s: str) -> str:
```

```
    """
```

```
    Nombres seguros para carpetas/archivos (Windows-safe).
```

```
    Sustituye / \ < > : " \n ? * y comillas/apóstrofes por _
```

```
    y colapsa espacios.
```

```
    """
```

```
if s is None:
```

```
    return "
```

```
t = s.replace('/', '_').replace('\\', '_')
```

```
t = re.sub("[<>:\\\"\\n?*"`, " ", t)
```

```
t = re.sub(r"\\s+", " ", t).strip()
```

```
return t
```

```
# ----- ATOM / web -----
```

```
def fetch_bytes(url: str) -> bytes:
```

```
    req = Request(url, headers={"User-Agent": UA, "Accept": "application/atom+xml,  
application/xml;q=0.9, */*;q=0.8"})
```

```
    with urlopen(req, timeout=TIMEOUT) as r:
```

```

    return r.read()

def parse_xml(url: str):
    data = fetch_bytes(url)
    if not data.lstrip().startswith(b'<'):
        raise RuntimeError("Respuesta no-XML al leer feed: " + url)
    return ET.fromstring(data)

def absolutize_and_encode(href: str, base: str) -> str:
    abs_url = urljoin(base, href)
    parts = urlsplit(abs_url)
    safe_p = "%:;@&=+$,-_~"; safe_q = "%+,:;@/_-~"
    path = quote(parts.path, safe=safe_p)
    query = quote(parts.query, safe=safe_q)
    return urlunsplit((parts.scheme, parts.netloc, path, query, parts.fragment))

def list_entries(feed_url: str):
    root = parse_xml(feed_url)
    ns = {'atom': 'http://www.w3.org/2005/Atom'}
    out = []
    for e in root.findall('atom:entry', ns):
        title = e.findtext('atom:title', namespaces=ns) or ""
        link = (e.find("atom:link[@rel='alternate']", ns) or e.find("atom:link", ns))
        href = link.get('href') if link is not None else None
        if href:
            out.append((title.strip(), absolutize_and_encode(href, feed_url)))
    return out

# caches
ROOT_CACHE = {} # ds -> [(prov_title, prov_href_abs)]

def root_entries(ds: str):
    if ds not in ROOT_CACHE:

```

```
    ROOT_CACHE[ds] = list_entries(BASE_URLS[ds])
return ROOT_CACHE[ds]
```

```
def pick_province_link(ds: str, prov_name: str):
    want = norm_text(prov_name)
    entries = root_entries(ds)
    # 1) exacto
    for t, h in entries:
        if norm_text(t) == want:
            return t, h
    # 2) contiene -> preferir el más corto
    cand = [(len(norm_text(t)), t, h) for (t,h) in entries if want in norm_text(t)]
    if cand:
        cand.sort(key=lambda x: x[0])
        _, t, h = cand[0]
        return t, h
    return None, None
```

```
def split_title_muni_part(title: str) -> str:
    # Títulos municipales suelen ser "NNNNN-NOMBRE", aceptando -, - o —
    tt = norm_text(title)
    parts = re.split(r"\s*[-—]\s*", tt, maxsplit=1)
    return parts[1] if len(parts) > 1 else tt
```

```
def pick_municipio_link_in_prov(prov_url: str, muni_name: str):
    """
    Busca el municipio dentro del feed de provincia con 3 pasos:
    1) tokens exactos en la parte tras el guion (NNNNN-NOMBRE)
    2) subset de tokens (preferir el que tenga menos 'extras' y sea más corto)
    3) substring simple
    Si todo falla, reintentar con alias/variantes bilingües habituales.
    """
    entries = list_entries(prov_url)
```

```

def _try_match(want_tokens_set, want_substr):
    # 1) exacto (tokens iguales)
    for t, h in entries:
        muni_part = split_title_muni_part(t)
        if set(tokens(muni_part)) == want_tokens_set:
            return t, h
    # 2) subset (el que menos extras y más corto)
    ranked = []
    for t, h in entries:
        muni_part = split_title_muni_part(t)
        cand_tokens = set(tokens(muni_part))
        if want_tokens_set and want_tokens_set.issubset(cand_tokens):
            extra = len(cand_tokens - want_tokens_set)
            ranked.append((extra, len(muni_part), t, h))
    if ranked:
        ranked.sort(key=lambda x: (x[0], x[1]))
        _, _, t, h = ranked[0]
        return t, h
    # 3) substring simple
    cand2 = [(len(split_title_muni_part(t)), t, h) for (t,h) in entries
              if want_substr and want_substr in split_title_muni_part(t)]
    if cand2:
        cand2.sort(key=lambda x: x[0])
        _, t, h = cand2[0]
        return t, h
    return None, None

# Intento normal
want_tokens_set = set(tokens(muni_name))
want_substr = ' '.join(tokens(muni_name))
t, h = _try_match(want_tokens_set, want_substr)
if t and h:

```

```

return t, h

# Alias / variantes bilingües habituales (ampliado para casos conflictivos)
alias_map = {
    'puçol': {'puçol', 'pucol', 'puzol'},
    'pucol': {'puçol', 'pucol', 'puzol'},
    'puzol': {'puçol', 'pucol', 'puzol'},
    'xilxes': {'xilxes', 'chilches'},
    'chilches': {'xilxes', 'chilches'},
    'sagunt': {'sagunt', 'sagunto'},
    'sagunto': {'sagunt', 'sagunto'},
    'montitxelvo': {'montitxelvo', 'montichelvo'},
    'montichelvo': {'montitxelvo', 'montichelvo'},
    # añade aquí variantes locales si detectas más casos
}

expanded = set()
for tok in want_tokens_set:
    expanded |= alias_map.get(tok, {tok})

if expanded != want_tokens_set:
    t, h = _try_match(expanded, ''.join(sorted(expanded)))
    if t and h:
        return t, h

return None, None

def get_zip_from_muni(ds: str, muni_href: str):
    low = muni_href.lower()
    if low.endswith('.zip') or '.zip' in low:
        return muni_href
    root = parse_xml(muni_href)
    ns = {'atom': 'http://www.w3.org/2005/Atom'}

```

```

link = root.find("//atom:link[@type='application/zip']", ns)
if link is not None:
    return absolutize_and_encode(link.get('href'), muni_href)
for e in root.findall('atom:entry', ns):
    l = e.find("atom:link[@type='application/zip']", ns)
    if l is not None:
        return absolutize_and_encode(l.get('href'), muni_href)
raise RuntimeError("No se encontró ZIP en el feed municipal: " + muni_href)

```

```

def download_zip(zip_url: str, dest_dir: str) -> str:
    os.makedirs(dest_dir, exist_ok=True)
    data = fetch_bytes(zip_url)
    fname = unquote(os.path.basename(urisplit(zip_url).path))
    if not fname.lower().endswith('.zip'):
        fname += ".zip"
    zpath = os.path.join(dest_dir, fname)
    with open(zpath, 'wb') as f:
        f.write(data)
    return zpath

```

```

def unzip_to(zpath: str, out_dir: str):
    with zipfile.ZipFile(zpath) as z:
        z.extractall(out_dir)

```

```

def load_gmls(dir_path: str):
    if not ADD_TO_PROJECT:
        return
    for root, _, files in os.walk(dir_path):
        for fn in files:
            if fn.lower().endswith('.gml'):
                full = os.path.join(root, fn)
                vl = QgsVectorLayer(full, os.path.splitext(fn)[0], 'ogr')
                if vl.isValid():

```

```
QgsProject.instance().addMapLayer(vl)
```

```
# ----- 0) Cargar AOI primero y (opcional) añadirlo al proyecto -----
```

```
aoi_lyr = load_vector(AOI_SHP)
```

```
if ADD_AOI_TO_PROJECT:
```

```
    QgsProject.instance().addMapLayer(aoi_lyr)
```

```
# ----- 1) AOI ∩ Municipios → pares (Provincia -> Municipio) -----
```

```
t0 = time.time()
```

```
prov_lyr = load_vector(PROV_SHP)
```

```
muni_lyr = load_vector(MUNI_SHP)
```

```
for lyr, fld in ((prov_lyr, PROV_NAME_FIELD), (muni_lyr, MUNI_NAME_FIELD)):
```

```
    if fld not in lyr.fields().names():
```

```
        raise RuntimeError(f"La capa '{lyr.name()}' no tiene el campo '{fld}'.")
```

```
# Disolver AOI en CRS municipal
```

```
aoi_geom = dissolve_union_geom(aoi_lyr)
```

```
aoi_geom = reproject_geom(aoi_geom, aoi_lyr.crs(), muni_lyr.crs())
```

```
# Índices espaciales
```

```
muni_index = QgsSpatialIndex(muni_lyr.getFeatures())
```

```
prov_index = QgsSpatialIndex(prov_lyr.getFeatures())
```

```
cand_ids = muni_index.intersects(aoi_geom.boundingBox())
```

```
pairs = set() # (prov_name, muni_name)
```

```
prov_crs = prov_lyr.crs()
```

```
muni_crs = muni_lyr.crs()
```

```
need_reproj = (prov_crs != muni_crs)
```

```
for f in muni_lyr.getFeatures(QgsFeatureRequest(cand_ids)):
```

```
    g = f.geometry()
```

```
    if not g or g.isEmpty():
```

```
        continue
```

```
    if not (g.intersects(aoi_geom) or g.touches(aoi_geom)):
```

```

        continue
    muni_name = str(f[MUNI_NAME_FIELD]).strip()

    # Provincia por contención del punto interior; si no, por mayor intersección
    centroid = g.pointOnSurface()
    if need_reproj:
        centroid = reproject_geom(centroid, muni_crs, prov_crs)
    pid = prov_index.intersects(centroid.boundingBox())
    prov_name = None
    for pf in prov_lyr.getFeatures(QgsFeatureRequest(pid)):
        pg = pf.geometry()
        if pg and pg.contains(centroid):
            prov_name = str(pf[PROV_NAME_FIELD]).strip()
            break
    if prov_name is None:
        gm = g if not need_reproj else reproject_geom(g, muni_crs, prov_crs)
        pid2 = prov_index.intersects(gm.boundingBox())
        best, best_nm = 0.0, None
        for pf in prov_lyr.getFeatures(QgsFeatureRequest(pid2)):
            pg = pf.geometry()
            if not pg:
                continue
            inter = gm.intersection(pg)
            a = inter.area() if inter and not inter.isEmpty() else 0.0
            if a > best:
                best, best_nm = a, str(pf[PROV_NAME_FIELD]).strip()
        prov_name = best_nm or "Provincia_desconocida"

    pairs.add((prov_name, muni_name))

# ----- 2) Descarga ATOM por nombre (robusto) -----
os.makedirs(TARGET_DIR, exist_ok=True)
total_ok = total_err = 0

```



```

        raise RuntimeError(f"Municipio '{muni_name}' no encontrado en {ds}")

# 3) ZIP y descarga
zip_url = get_zip_from_muni(ds, m_url)
out_dir = os.path.join(TARGET_DIR, ds, safe_name(prov_name),
safe_name(muni_name))
zpath = download_zip(zip_url, out_dir)
unzip_to(zpath, out_dir)
load_gmls(out_dir)
print(f"OK {prov_name} -> {muni_name} [{ds}] -> {out_dir}")
total_ok += 1
except (HTTPError, URLError) as e:
    print(f"ERR {prov_name} -> {muni_name} [{ds}] HTTP: {e}")
    total_err += 1
except Exception as e:
    print(f"ERR {prov_name} -> {muni_name} [{ds}] {e}")
    total_err += 1

print(f"\nHecho. Descargas OK: {total_ok} \nErrores: {total_err} \nTiempo: {time.time()-t0:.1f}s")

```