



E0.3. Informe científico/técnico final



E0.3. Informe científico/técnico final	1
1. Introducción	4
1.1 Objetivo	4
1.2 Alcance	4
2 Introducción	5
2.1 Normativa aplicable	5
2.2 Metodología para el estudio de las aves y murciélagos:	6
2.2.1 Proceso de obtención de información	7
3 Diseño de la Solución Hardware	10
3.1 Arquitectura Sistema IA	13
3.1.1 Datos	13
3.1.2 Calibración de la cámara	13
3.1.3 Estudio Zoom óptimo	14
3.1.4 Estudio de las distancias y tamaños de las aves	16
3.2 Barrido del cielo	18
3.2.1 Duración de las grabaciones	18
3.2.2 Caso de uso	19
3.2.3 Mapa de calor resultantes	19
3.2.4 Collage de densidad	20
4 Plataforma piloto para la gestión medioambiental	20
4.1 Visualizador de Mapa Principal	20
4.2 Funcionalidad:	21
4.2.1 Consulta de Recurso Eólico	21
4.2.2 Consulta de Cuadrícula Mesoescalar	23
4.3 Lista de Cámaras (Gestión de Dispositivos)	23
4.3.1 Usuario No Registrado:	23
4.3.2 Usuario Registrado	24
4.4 Formulario de Registro de Cámara	25
4.5 Vista de Detalle de Cámara (Datos y Analíticas)	25
4.5.1 Datos del Dispositivo	26
4.5.2 Análisis de Detecciones	26
4.5.3 Visualización de Mapas de Calor	26
4.6 Vista del Blog (Divulgación y Noticias)	27
4.7 Panel de Administración	28
4.8 Interfaces de Autenticación y Registro	28

4.8.1	Inicio de Sesión	28
4.8.2	Proceso de Registro	29
4.8.3	Flujo de Aprobación.....	30
5	Conclusión	30

1. Introducción

Este documento corresponde al entregable:

E0.3 – Informe científico-técnico final

Refleja los trabajos realizados y los resultados alcanzados durante la ejecución del proyecto,

A1.1 Estudio de la normativa existente en los procesos de evaluación estratégica medioambiental (EEM) y evaluación de impacto ambiental (EIA), A1.2: Estado del arte de IA Explicable y algoritmos para la Planificación Estratégica en el contexto general de la energía eólica, A1.3: Especificación de requisitos funcionales y técnicos y diseño de la arquitectura del sistema, A2.1: Diseño e implementación de una herramienta de IoT para la monitorización acústica y visual de aves en tiempo real, A2.2 Conectores para la ingestión de datos de fuentes externas y otros sistemas de detección, A2.3 Fusión de información de fuentes heterogéneas en una base de conocimiento, A3.1 Redes Neuronales Recurrentes Convolucionales para la detección acústica de aves, A3.2 Redes Neuronales Convolucionales para el procesamiento de mapas de sensibilidad de la vida silvestre, A3.3 Redes Neuronales Bayesianas Explicables para la predicción de los efectos acumulativos en las aves y su hábitat, A4.1 Módulo de gestión de información, elaboración de directrices y criterios de planificación ambiental, A4.2 Tecnologías de análisis visualización de datos masivos para la predicción y protección de aves, A4.3 Integración de componentes y despliegue de la plataforma en un escenario controlado

Esta tarea se encuadra dentro de toda la línea de investigación:

A1. Estado del arte de IA Explicable y requisitos para la gestión de la biodiversidad en parques eólicos del proyecto IA4BIRDS: Plataforma de IA Explicable para la predicción y protección de aves en espacios destinados a ser parques eólicos, A2. Capa para la ingestión de datos de aves: red IoT, fuentes Big data y datos abiertos, A3. Machine Learning para la detección y monitorización de aves, A4. Sistema de gestión de la información de aves y tecnologías de visualización

1.1 Objetivo

El objetivo principal del proyecto IA4BIRDS es diseñar una plataforma inteligente que permita optimizar la evaluación y planificación de espacios destinados a ser parques eólicos aplicando algoritmos híbridos de inteligencia artificial para la detección y predicción de aves y su posterior análisis y predicción. Esta plataforma inteligente incluye la recogida masiva de datos de aves desde fuentes heterogéneas (fuentes Big data, banco de datos abiertos, sistemas de gestión propios...) ha implementado una herramienta para la monitorización acústica y visual de aves en el propio terreno a evaluar de cara a fusionar toda la información en una base única de conocimiento. A lo largo de este documento se presentarán los resultados más relevantes, para ser enviado a entidades y administraciones han mostrado interés en los resultados del mismo.

1.2 Alcance

Este documento se encuentra en la versión 1.0, y es la versión final, la investigación aquí plasmada trata de presentar el trabajo realizado durante el transcurso del proyecto y mostrar un resumen de todas las actividades y resultados ofrecidos por el mismo, se trata de mostrar un resumen de todos los avances en un solo documento, pudiendo dar una visión general del proyecto a gestores, administraciones, grupos de acción local y público general y por lo tanto se

mostrarán los resultados sobre la integración de tecnologías de IA explicable en la gestión de parques eólicos y la protección de la biodiversidad aviar, así como revisar las orientaciones nacionales relacionadas con la evaluación de impacto ambiental (EIA), se dará un repaso a los estudios realizados, se presentará el hardware diseñado para procesar datos y los modelos en campo y se mostrará el funcionamiento de la plataforma desarrollada que permite la visualización del mapa de Castilla y León y facilita la planificación de plantas de energía eólica, ver datos abiertos sobre aves, integrar el hardware desarrollado y agregar nuevas cámaras para una planificación y seguimiento de las zonas de actuación.

2 Introducción

En 2024, Castilla y León consolidó su posición como líder en energía eólica en España, instalando 550 MW de nueva potencia, lo que representó el 47% del total nacional de 1.186 MW. Esta expansión elevó la capacidad instalada en la comunidad a 7.126,9 MW, distribuidos en 272 parques eólicos, cubriendo aproximadamente el 22,5% de la potencia eólica total del país.

A nivel nacional, España superó los 31.600 MW de potencia eólica instalada en 2024, con 1.416 parques eólicos y 22.486 aerogeneradores en funcionamiento. La generación eólica representó el 23% de la demanda eléctrica nacional, contribuyendo significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y al ahorro económico de los consumidores.

En cuanto al futuro, se estima que Castilla y León podría alcanzar una capacidad instalada de hasta 9.000 MW para 2028, considerando proyectos en diversas fases de desarrollo. Este crecimiento proyectado fortalecería aún más su liderazgo en el sector eólico y contribuiría a los objetivos nacionales de transición energética y sostenibilidad ambiental.

2.1 Normativa aplicable

La presente Instrucción se aplica a todo el territorio de Castilla y León y está dirigida a regular la actuación en materia de informes ambientales por parte tanto de los Servicios Territoriales de Medio Ambiente de las Delegaciones Territoriales como de los Servicios de la Dirección General de Patrimonio Natural y Política Forestal.

La normativa aplicable a la materia objeto de la presente Instrucción es:

- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y la Biodiversidad.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.
- Ley 4/2015, de 24 de marzo, del Patrimonio Natural de Castilla y León.
- Acuerdo 15/2015, de 19 de marzo, de la Junta de Castilla y León, por el que se aprueba el Plan Director para la Implantación y Gestión de la Red Natura 2000 en Castilla y León.
- Decreto 57/2015, de 10 de septiembre, por el que se declaran las zonas especiales de conservación y las zonas de especial protección para las aves, y se regula la planificación básica de gestión y conservación de la Red Natura 2000 en la Comunidad de Castilla y León.
- Orden FYM/775/2015, de 15 de septiembre, por la que se aprueban los Planes Básicos de Gestión y Conservación de la Red Natura 2000 en la Comunidad de Castilla y León.
- Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres y Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres

Dentro de un procedimiento de evaluación de impacto ambiental de un proyecto de parque eólico o planta fotovoltaica, el análisis del referido estudio tendrá como referencia de contenidos mínimos y metodologías los requerimientos detallados en los anexos I, II y III de la citada instrucción. Estos anexos podrán ser actualizados por la Dirección General de Patrimonio Natural y Política Forestal de acuerdo con la mejor información técnica y científica.

2.2 Metodología para el estudio de las aves y murciélagos:

La Instrucción 4/FYM/2020 establece los contenidos mínimos y metodologías para los estudios de impacto ambiental de parques eólicos, incluyendo:

- Inventario de especies: Listado de especies aviares y quirópteros, su abundancia y datos sobre su conservación.
- Fenología: Comportamiento fenológico de las especies (sedentarias, nidificantes, invernantes y migratorias).
- Rutas de vuelo: Identificación de corredores aéreos y altitud de vuelo.
- Usos del hábitat: Análisis de las áreas de alimentación, descanso, dormideros y nidificación.
- Período de estudio: Mínimo de un año, con sesiones de muestreo que abarcan diferentes momentos del día y condiciones climáticas.
- Técnicas de muestreo: Transectos estandarizados, puntos de escucha y observación directa.

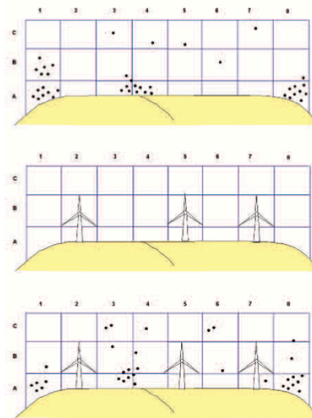


Fig.1. Esquema de usos aéreos por parte de las aves y selección de la ubicación de aerogeneradores.
(Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos 3.0)

- Datos recogidos: Especie, número de individuos, fecha, hora, clima, trayectoria de vuelo, altura y distancia estimada de vuelo.
- Requisitos adicionales:
- Evaluación de riesgos: Identificación de factores de riesgo que incrementen la probabilidad de accidentes.
- Muestreos nocturnos: Realización de observaciones nocturnas para aves y quirópteros.
- Tipo de vuelo: ciclo de remonte, batido, planeo, etc.
- Distancia estimada del ave a la base de los aerogeneradores proyectados.
- Altura de vuelo estimada
- Análisis estadístico de los datos obtenidos

2.2.1 Proceso de obtención de información

Una vez identificada el área de afección del proyecto, se procederá a recopilar toda la información ambiental acerca de ella, con varios objetivos:

- Validar la información obtenida en el análisis previo de la sensibilidad de la zona.
- Determinar la manera en la que las aves hacen uso de ella, para evaluar los posibles riesgos que la instalación conlleve.
- Disponer de información preliminar acerca del tipo de especies y número de ejemplares que utilizan la zona, de forma que podamos contrastarla en el posterior análisis BACI (Before-After/Control Impact) que se realizará en el programa de seguimiento.

De forma general es necesario obtener la siguiente información:

- Listado de especies de aves.
- Distribución y abundancia de aves reproductoras.
- Abundancia y fenología de aves en paso.
- Distribución y abundancia de aves invernantes.
- Colonias y/o dormitorios de aves (especies, tamaño, localización).
- Concentraciones de aves migratorias en áreas de descanso.
- Concentraciones de aves rapaces.
- Concentraciones de aves limícolas.
- Distribución y abundancia de especies con displays reproductivos aéreos.
- Listado de especies de murciélagos.
- Distribución y abundancia de murciélagos reproductores.
- Abundancia y fenología de murciélagos en paso.
- Colonias y refugios de murciélagos (especies, tamaño, localización).

La elaboración de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) para proyectos eólicos requiere de un procedimiento meticuloso de obtención de información que garantice la identificación precisa de los impactos ambientales. Este proceso se estructura en cinco fases esenciales:

Fase 1: Identificación de la Información Necesaria

Esta fase inicial implica la determinación de toda la información relevante que será necesaria para una evaluación exhaustiva del impacto ambiental, evitando la recolección de datos superfluos que no contribuyen al análisis.

Fase 2: Recopilación de la Información Existente

La recopilación de datos incluye la revisión de estudios de impacto ambiental previos, la bibliografía existente, consultar a expertos locales, inventarios de recursos naturales y datos meteorológicos.

bibliografía existente

Algunas fuentes específicas de información que se deben considerar incluyen:

- Resultados de proyectos de seguimiento de otros parques eólicos en la misma provincia, provincias limítrofes o áreas que compartan las mismas especies.

- Anuarios ornitológicos publicados por grupos ornitológicos locales, que pueden proporcionar información detallada sobre especies sensibles, rutas de migración, dormideros, entre otros.
- Atlas y libros rojos que brindan información sobre la distribución y el estado de conservación de las especies.
- Informes de la Administración Regional, que pueden contener datos relevantes sobre censos de especies, planes de ordenación y otros estudios de campo.
- Información científica, como tesis, tesinas y artículos científicos publicados sobre aves y murciélagos en la zona.
- Zonificación de espacios y planes de recuperación de especies, que suelen incluir cartografía detallada con implicaciones legales.

La integración de esta variedad de fuentes de información permite obtener una visión completa del contexto ambiental y facilita la evaluación precisa del impacto de los parques eólicos en la avifauna y los murciélagos.

expertos locales

Se puede contactar con los siguientes grupos:

- SEO/BirdLife y, en especial, sus grupos locales.
- WWF/Adena y sus grupos locales.
- Grupos conservacionistas provinciales.
- Agentes forestales / Celadores de la comarca / APN.
- Profesores de Universidad, tesinandos y doctorandos que hayan trabajado en la zona.
- SECEMU (Sociedad Española para la Conservación y Estudio de los Murciélagos).

Inventarios sobre recursos

En estas bases de datos se puede obtener información acerca de:

- Especies susceptibles de verse afectadas negativamente por parques eólicos (por ejemplo, aquellas de las que, a través de estudios, se tenga conocimiento que presentan una mayor tasa de colisión con los aerogeneradores como las planeadoras)
- Distribución de especies sensibles.
- Zonas sensibles, como IBA (Important Bird Areas o Áreas Importantes para la Conservación de las Aves), ZEPA (Zonas de especial protección de aves).

Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos juegan un papel crucial en la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos. Dichas condiciones pueden magnificar o mitigar los efectos adversos sobre estas especies. Por ejemplo, investigaciones han demostrado una correlación entre condiciones meteorológicas adversas y la tasa de colisión de aves y murciélagos. Mientras que, para las aves, condiciones como la niebla pueden aumentar la mortalidad, para los murciélagos, es probable que eviten volar en condiciones atmosféricas desfavorables para sus actividades biológicas.

Por lo tanto, la recopilación de datos meteorológicos en áreas afectadas es fundamental para prever posibles impactos en la avifauna. Es importante evitar la instalación de parques eólicos en zonas con frecuentes condiciones de poca visibilidad y tormentas, especialmente durante períodos de alta concentración de aves, como las migraciones. La información recopilada debe incluir, al menos, valores de:

- Velocidad del viento y dirección: Estos datos son esenciales para evaluar el valor económico del parque eólico y predecir su impacto en la avifauna. La velocidad del viento se ha relacionado con la mortalidad de aves, ya que la turbulencia generada puede dificultar su capacidad para evitar aerogeneradores o tendidos eléctricos. Algunos datos clave sobre el viento incluyen la velocidad media anual, dirección, distribución, intensidad de turbulencias y vientos extremos (magnitud y frecuencia).
- Días de niebla: Las condiciones de baja visibilidad, como la niebla, están asociadas con el riesgo de colisión de aves. No se recomienda la instalación de parques eólicos en zonas con más de 20 días de niebla al año. Aunque actualmente no existen mapas de niebla, se pueden obtener a partir de estaciones meteorológicas cercanas o instaladas por los promotores del parque, así como a través de información proporcionada por residentes locales, como agricultores y ganaderos.

Fase 3: Evaluación de la Información Recopilada

En esta etapa, se analiza la calidad y relevancia de la información recopilada, determinando la adecuación de los datos para abordar las necesidades específicas del estudio en curso.

Fase 4: Planificación del Trabajo de Campo

Esta fase implica la organización de estudios de campo necesarios para cubrir cualquier vacío informativo identificado en las fases anteriores. La duración de estos estudios no debe ser inferior a un año para capturar adecuadamente la dinámica ambiental del área de estudio.

Fase 5: Realización del Trabajo de Campo

El trabajo de campo se realiza conforme a la planificación previa, con el fin de obtener datos primarios sobre los impactos directos e indirectos del proyecto en la avifauna local y otros elementos bióticos y abióticos. La participación de expertos locales es fundamental en todas las fases del estudio, proporcionando conocimientos específicos del área que pueden ser cruciales para la identificación de impactos potenciales y la formulación de medidas mitigadoras. Se recomienda que su colaboración sea reconocida y compensada adecuadamente dentro del presupuesto del EIA. Este procedimiento sistemático asegura que la evaluación de impacto ambiental sea comprensiva, actualizada y capaz de sustentar decisiones informadas para la mitigación de impactos negativos sobre el medio ambiente local.

Por ello se propone a continuación una solución tanto a nivel hardware como software con una aplicación desarrollada que permite la recopilación de varios datos de los mencionados y es capaz de mostrarlos en una capa común a través de visualizaciones fáciles de entender, escalables y que permitan una mejor planificación respetando la biodiversidad y legislación.

3 Diseño de la Solución Hardware

Tras un análisis de las diferentes soluciones y dada la naturaleza del caso de uso, se propone utilizar la cámara PTZ de 360°. Las características de esta cámara, principalmente, su versatilidad en el área de enfoque permitiendo cubrir todo el espacio y el zoom óptico de 31 aumentos que permite analizar en detalle zonas concretas de visualización, han hecho que sea la seleccionada y se integre en el sistema inteligente de monitorización de aves en espacios abiertos. Además, la posibilidad de tener visión nocturna mediante la fuente luminosa infrarroja habilita su posible funcionamiento en condiciones de baja luminosidad para obtener imágenes y el análisis de aves nocturnas u otras especies, por ejemplo, murciélagos. Adicionalmente, su robustez y preparación para entornos exteriores con climatología adversa también han contribuido a su selección final.



Fig.2. Imagen de la cámara Q6225-LE de Axis

Para el micrófono y debido a las diferentes características presentadas, el dispositivo elegido ha sido el Audiomoth. Este dispositivo, presenta una respuesta en frecuencia muy adecuada para el caso de uso propuesto y, además, registra hasta un valor de 80 kHz, lo cuál puede ser útil para detección de especies que emiten ultrasonidos. Por otro lado, no presenta una respuesta muy directiva como sí pasa con el resto de los micrófonos válidos para el caso de uso, aunque según la literatura científica el comportamiento volumétrico está influido por la carcasa. Como valor adicional el micrófono está extendido en aplicaciones de monitorización y seguimiento en lo que respecta a fauna y, además, está caracterizado y ha sido estudiado por la comunidad científica. Finalmente, su razonable coste y la ausencia de elementos extra para su conexión con el sistema de procesamiento han contribuido a su selección.



Fig.3. AudioMoth

El dispositivo seleccionado como nodo de procesamiento dentro del proyecto IA4Birds ha surgido como resultado de una investigación previa de las diferentes alternativas que ofrece el mercado en la actualidad. Para la selección del nodo, se han tenido en cuenta tres factores diferentes. En primer lugar, los algoritmos de inteligencia artificial que se ejecutarán en este dispositivo. En segundo lugar, la compatibilidad con los dispositivos de imagen y video que han sido seleccionados previamente. Por último, el lugar de colocación del dispositivo, que viene dado por el propio enfoque del proyecto.

Atendiendo al primer criterio, se hace necesario contar con un dispositivo que tenga capacidades de cómputo de altas prestaciones, pensadas para mover algoritmos de inteligencia artificial. En este aspecto, destacan la UDOO Vision x7 y la NVIDIA Jetson DSBOX-AGX.

Respecto al segundo criterio, es necesario destacar, que, aunque algunas de las opciones del mercado cuentan con interfaces físicas diseñadas explícitamente para entornos IoT, este desarrollo utiliza la cámara Q6225-LE y el micrófono Audiomoth. En ambos casos, se trata de dispositivos avanzados, que utilizan sistemas de comunicación de alto nivel.



Fig.3. NVIDIA Jetson DSBOX-AGX.

En lo que respecta a la solución, se ha diseñado un armario eléctrico con todos los componentes necesarios para su funcionamiento y acondicionado para trabajo en exteriores en condiciones climáticas adversas para disponer de los siguientes elementos

- Jetson AGX ORIN 32GB: Módulo de computación AI de NVIDIA que proporciona capacidades de procesamiento de IA en el borde.
- SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida): Este dispositivo es crucial para garantizar que el sistema siga funcionando en caso de cortes de energía. El SAI se aloja de tal manera que proporcionara una conexión de respaldo a todos los componentes críticos, con baterías que se mantendrían cargadas y listas para tomar el control en caso de interrupción del suministro de energía principal.
- Sistema de climatización: Para mejorar el funcionamiento en exteriores, el sistema de climatización mantendrá a una temperatura y humedad interna óptimas dentro del armario. Esto se logra mediante ventiladores, intercambiadores de calor y resistencias calefactoras. La organización interna del cuadro eléctrico permite un flujo de aire adecuado para la climatización y suficiente espacio para el cableado y la conectividad necesaria para todos los dispositivos.
- Caja apta para trabajar en exteriores: El armario en sí está diseñado para ser resistente a las condiciones externas. Esto implica una construcción robusta con materiales resistentes a la corrosión, sellados para la proteger al equipo del agua y el polvo (con una clasificación IP adecuada para uso en exteriores), y un diseño que permita una fácil instalación y acceso para mantenimiento



Fig.4. Montaje del cuadro con elementos

Para la instalación del prototipo se han barajado diferentes opciones. El aspecto más relevante a la hora de seleccionar la ubicación ideal pasa por que en dicha ubicación existan diferentes especies de aves que se puedan grabar y catalogar. La instalación prototipo se encuentra en AIR Institute, que cuenta con un edificio de investigación que se encuentra en un punto cercano a Las Dunas, u centro de recuperación de aves y en una zona en altura privilegiada donde se observan varias especies de alto interés como pueden ser cigüeñas, milanos, cernícalos y otras especies de paso que han servido para testear la solución de una manera ágil.

A continuación se muestra unas imágenes de la instalación prototipo:



Fig.5. Prototipo de la solución en AIR Institute

3.1 Arquitectura Sistema IA

3.1.1 Datos

La cámara usada para la adquisición de datos en el proyecto IA4BIRDS es AXIS Q6225-LE PTZ Camera. Con dicha cámara se han realizado vídeos del entorno bajo distintas condiciones meteorológicas para capturar imágenes de aves en distintas condiciones, y así evitar sesgos y bias que dificulten el entrenamiento de los modelos. Los fotogramas de los vídeos capturados tienen una resolución de 1920 x 1080 píxeles, con 3 canales de color (RGB), de forma que cada fotograma de un vídeo cuenta con un total de

$$1920 * 1080 * 3 = 6,220,800 \text{ valores.}$$

Con estos vídeos, se han entrenado 2 modelos distintos. El primero de ellos es un modelo YOLOv8, basado en redes convolucionales que se encarga de identificar o segmentar las aves en el vídeo. El segundo el Yolov11, que introduce mejoras en eficiencia, generalización y entrenamiento dinámico.

Una vez hecho eso, con esas imágenes de aves identificadas en los vídeos, se entrenaron modelos que clasifican cada una de esas aves.

3.1.2 Calibración de la cámara

La cámara usada para la adquisición de datos en el proyecto IA4BIRDS es AXIS Q6225-LE PTZ Camera. La resolución del sensor de la cámara es 1920x1080 píxeles. El tamaño de cada píxel es 3.75 μm x 3.75 μm . Por tanto:

- El tamaño horizontal del sensor de la cámara es $1920 \text{ px} * 3.75 \mu\text{m} = 7.2 \text{ mm}$
- El tamaño vertical del sensor de la cámara es $1080 \text{ px} * 3.75 \mu\text{m} = 4.05 \text{ mm}$

Según la documentación oficial de la cámara, la distancia focal mínima y máxima es 6.91 mm y 214.34 mm respectivamente. Los siguientes cálculos se han realizado basado en los datos anteriores. La cámara no ofrece directamente la distancia focal usada en la grabación de cada fotograma, pero sí ofrece el aumento de zoom, el cual tiene una relación directa con la distancia focal. Dicha relación es:

- distancia focal usada (mm) = aumento de zoom * distancia focal mínima (mm)

En este caso, la fórmula anterior quedaría:

- distancia focal usada (mm) = aumento de zoom * 6.91 mm

La API de la cámara no proporciona directamente funcionalidad para controlar el aumento de zoom empleado en cada fotograma, pero sí provee un parámetro llamado 'paso de zoom', contenido en el intervalo [1,7986] que tiene una relación directa con el aumento de zoom. Tanto la información de paso de zoom como aumento de zoom usado en cada fotograma es ofrecida en el mismo. Existe una opción para aumentar el máximo paso de zoom de 7986 a 9999. No obstante, como no se han detectado diferencias significativas, no se ha activado dicha opción.

Debido a que la relación que hay entre la distancia focal y el HFOV ('Horizontal Field of View' del inglés) y el VFOV ('Vertical Field of View' del inglés) es desconocida, se ha calculado este mapeo experimentalmente. Dicho mapeo se muestra en la tabla 3.

Paso de Zoom	HFOV	VFOV	Distancia Focal
1 (min)	60.28°	34.7°	6.91 mm
500	22°	12.48°	17.275 mm
800	15.28°	8.8°	23.494 mm
1000	12.48°	7.12°	27.64 mm
1200	10.48°	5.84°	31.786 mm
1400	8.68°	5°	35.932 mm
1600	7.44°	4.24°	40.078 mm
1800	6.2°	3.64°	44.224 mm
2000	5.34°	3°	48.37 mm
2500	3.92°	2.28°	58.735 mm
3000	3.28°	1.94°	69.1 mm
4000	2.46°	1.46°	89.83 mm
5000	1.98°	1.14°	110.56 mm
6000	1.64°	1.02°	131.29 mm
7986 (max)	1.28°	0.78°	172.75 mm

Tabla.1. Relación entre Zoom, Ángulo de campo de visión y distancia focal

3.1.3 Estudio Zoom óptimo

Se realizó un estudio cuantitativo acerca de que zoom es el óptimo en términos de cantidad y tamaño de las aves detectadas. Además, de manera previa se realizó este mismo estudio de las distancias, pero sin especificar un zoom concreto con el que centrar los esfuerzos. Es decir, se realizó un estudio para estimar la distancia a la que se encuentran las aves según su posible especie utilizando datos de todos los zooms. Los resultados del primer estudio (el de los zooms) mostraron que los zooms óptimos son el 17 y 19 en términos de cantidad de aves detectadas y tamaño de las aves detectadas. Por esa razón se centra la atención del presente estudio en el cálculo de las distancias de las aves con un zoom de 19x.

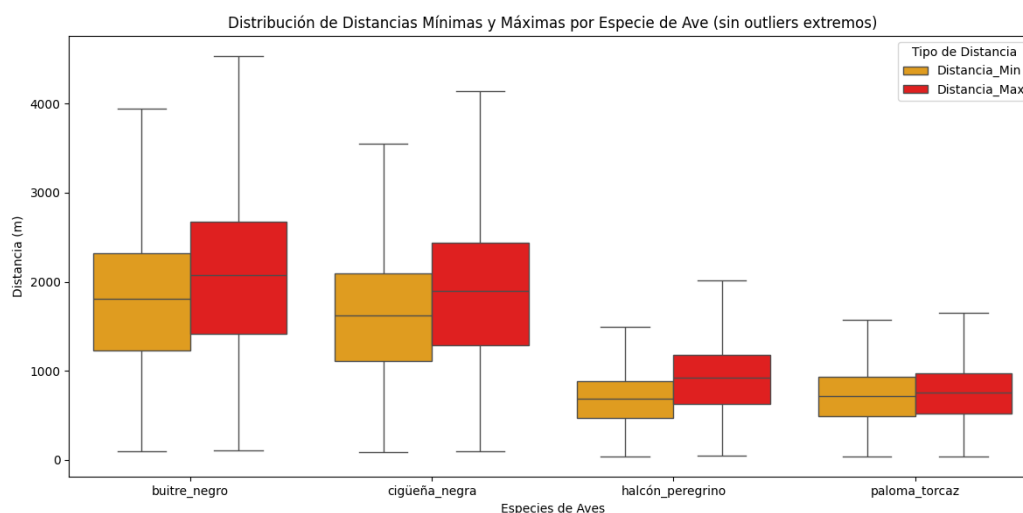


Fig 6 Distribución distancias mínimas y máximas por especie de Ave

GRÁFICAS E INTERPRETACIÓN

La gráfica muestra los boxplots que representan la distribución de las distancias mínimas y máximas observadas en cuatro especies diferentes de aves. Cada especie tiene dos representaciones: una para la Distancia_Min (en amarillo) y la otra para la Distancia_Max (en rojo). Los elementos del boxplot son:

El buitre negro posee una mediana en torno a los 1800 metros en la distancia mínima y en torno a los 2100 metros en la distancia máxima, además la distancia a la que se suele encontrar es entre 1500 metros y 2500 metros.

La cigüeña negra posee una mediana en torno a los 1600 metros en la distancia mínima y en torno a los 2000 metros en la distancia máxima, además la distancia a la que se suele encontrar es entre 1200 metros y 2300 metros.

El halcón peregrino posee una mediana en torno a los 600 metros en la distancia mínima y en torno a los 800 metros en la distancia máxima, además la distancia a la que se suele encontrar es entre 500 metros y 1100 metros.

La paloma torcaz posee una mediana en torno a los 500 metros en la distancia mínima y en torno a los 600 metros en la distancia máxima, además la distancia a la que se suele encontrar es entre 300 y 800 metros.

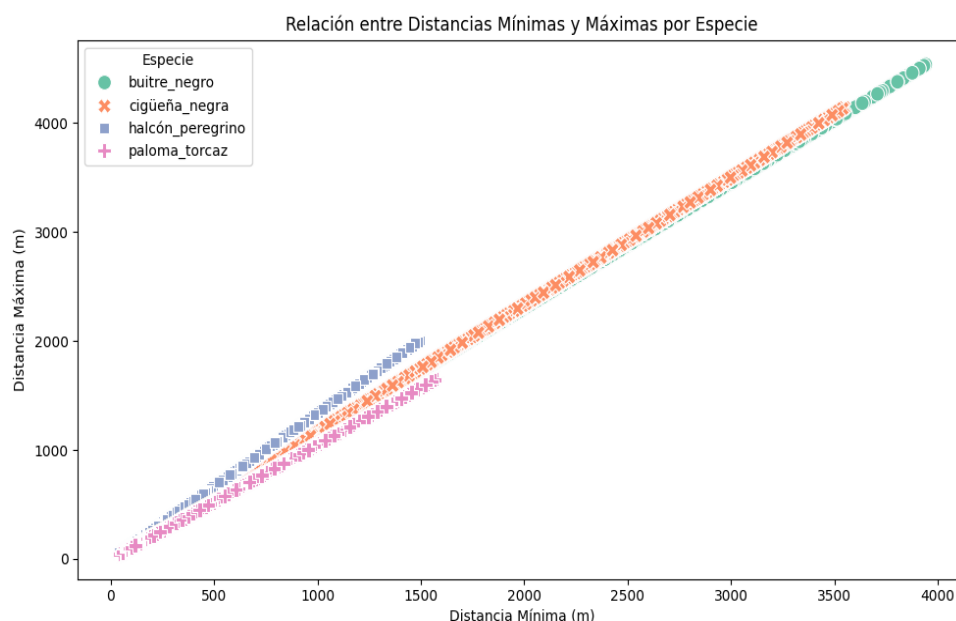


Fig.7 Relación entre distancias mínimas y máximas por especie

La gráfica muestra un gráfico de dispersión donde se comparan las distancias mínimas y máximas registradas por cada especie de ave. Los puntos están codificados por colores y símbolos que representan diferentes especies:

- Círculos verdes: Buitre negro
- Cruces naranjas: Cigüeña negra
- Cuadrados morados: Halcón peregrino
- Cruces rosas: Paloma torcaz

Existe cierta correlación lineal aparente, para todas las especies, hay una correlación lineal clara entre las distancias mínimas y máximas, lo que indica que las mayores distancias mínimas generalmente se asocian con mayores distancias máximas dentro de la misma observación. Cada especie muestra una tendencia lineal, pero las pendientes y las intercepciones con el eje (y) varían, lo que sugiere diferencias en cómo cada especie gestiona sus rangos de vuelo:

- Buitre negro y cigüeña negra: Muestran las mayores distancias, con los buitres negros alcanzando las mayores distancias máximas para cualquier distancia mínima dada.
- Halcón peregrino y paloma torcaz: Tienen distancias más contenidas, con los halcones peregrinos mostrando menor variabilidad entre las distancias mínimas y máximas comparando con las cigüeñas y los buitres.

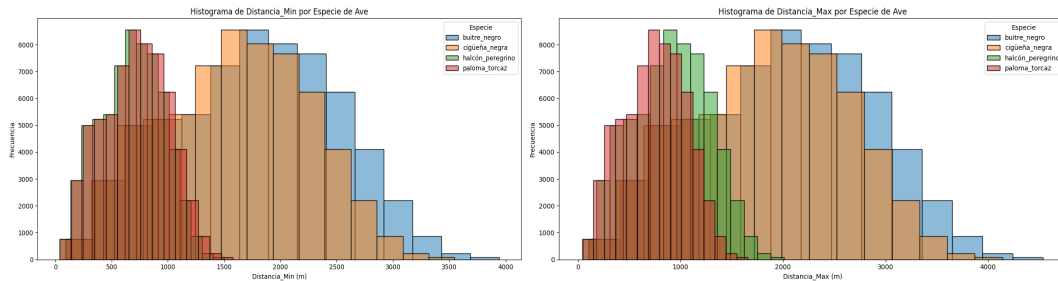


Fig.8 Histograma de distancia min_max por especie

Estas gráficas representan la distribución de las distancias mínimas y máximas observadas para cuatro especies de aves: buitre negro, cigüeña negra, halcón peregrino y paloma torcaz. Cada especie está representada por un color específico en dos gráficos separados, uno para la distancia mínima y otro para la distancia máxima.

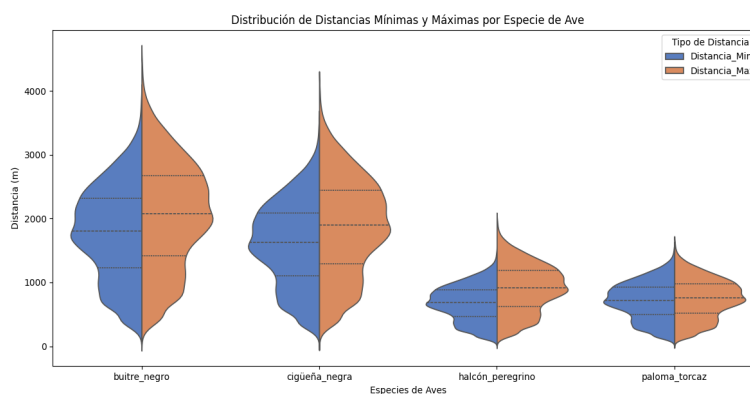


Fig.9 Distribución de distancias mínimas y máximas

La visualización muestra gráficos de violín para las distancias mínimas (en azul) y máximas (en naranja) de vuelo de cuatro especies de aves. Estos gráficos permiten comparar la dispersión y la distribución de los valores dentro de cada especie. El buitre negro tanto para las distancias mínimas como para las máximas presenta una gran dispersión, indicando una variabilidad significativa en las distancias de vuelo. La cigüeña negra es similar al buitre negro, tiene una amplia dispersión en ambas distancias, con una densidad de datos que también se extiende a distancias mayores. El halcón peregrino presenta unos gráficos de violín relativamente estrechos, especialmente para las distancias máximas, indicando menos variabilidad y distancias más consistentes.

3.1.4 Estudio de las distancias y tamaños de las aves

El último parámetro para poder calcular la distancia a la que se encuentra el ave es la longitud en metros. Al no disponer de esta información de manera certera, se ha probado con las dimensiones de tres tipos de aves diferentes. Estas aves son buitre negro, halcón peregrino, paloma torcaz y cigüeña negra. Todas ellas son aves grandes debido a que las más pequeñas no serán identificadas por nuestra cámara.

Ave	Longitud (cm)	Envergadura (cm)	Velocidad (km/h)	Velocidad Media (km/h)
Buitre negro	100 - 115	265 - 290	40 - 50	45
Halcón peregrino	38 - 51	80 - 120	60 - 90	75
Paloma torcaz	40 - 42	75 - 80	60 - 70	65
Cigüeña negra	90 - 105	145 - 155	50 - 70	60

Tabla.2. Comparativa tamaño y velocidad aves

¿CÓMO CALCULAR LA DISTANCIA A LA QUE SE ENCUENTRA EL AVE?

Para calcular la distancia a la que se encuentra el ave es necesario conocer el Focal Length de la cámara, el número de píxeles de anchura y la longitud real en metros del ave. El cálculo se realiza por medio de la instanciación de la clase Calibrator, es por ello por lo que también resulta imprescindible conocer la longitud y latitud a la que se encuentra la cámara. Por medio de la siguiente ilustración se especifica lo explicado recientemente:

GRAFICOS DE TAMAÑO VS DISTANCIAS

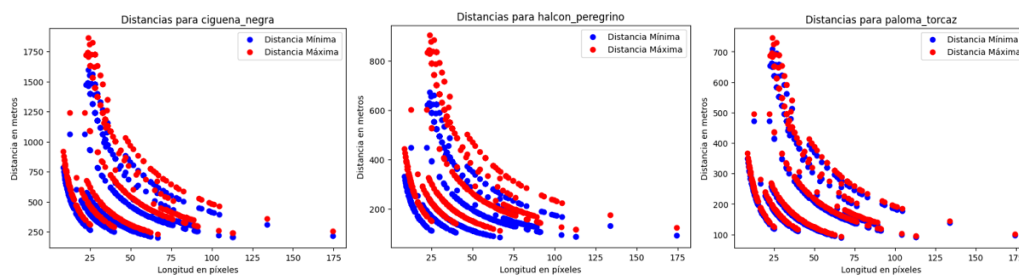


Fig.10 Gráficos comparativo cigüeña, halcón y paloma

INTERPRETACIÓN DE LA GRÁFICA DEL BUITRE NEGRO (GENERALIZABLE)

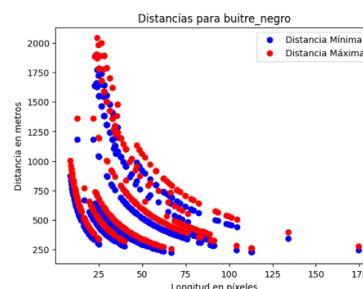


Fig.11 Gráfico Buitre

Podemos ver dos series de puntos: los puntos azules representan la distancia mínima y los rojos la distancia máxima estimada para cada longitud de píxeles. Ambas series exhiben un patrón descendente claro, donde la distancia estimada, tanto mínima como máxima, disminuye a medida que aumenta la longitud en píxeles de las aves. Este patrón sugiere que a mayor tamaño aparente del ave en la imagen (mayor cantidad de píxeles), menor es la distancia estimada del ave, lo cual es coherente con la percepción visual básica. Los puntos también muestran una forma de curva para cada serie, lo que indica una relación no lineal entre la longitud en píxeles y la distancia. Las distancias máximas tienden a ser consistentemente más altas que las mínimas para la misma longitud en píxeles, lo que es esperable dado que representan el límite superior del rango de distancia estimada para cada tamaño detectado de ave.

3.2 Barrido del cielo

Uno de los objetivos principales del proyecto IA4 BIRDS es ser capaces de mapear el cielo en su totalidad o de manera al menos parcial. Mediante los mecanismos empleados ahora mismo, somos capaces de abarcar un campo de visión horizontal de 1.98º y un campo de visión vertical de 1.14º. No obstante, el rango abarcado es relativamente pequeño en comparación con el rango total abarcable.

Cabe mencionar que el azimuth de la cámara es relativo y no absoluto. Lo que quiere decir que el norte (0º absolutos) tiene correspondencia con 144.43º relativos. Esta es una conversión que se debe de tener en consideración a la hora de realizar los cálculos y conversiones que se desarrollarán en el presente documento.

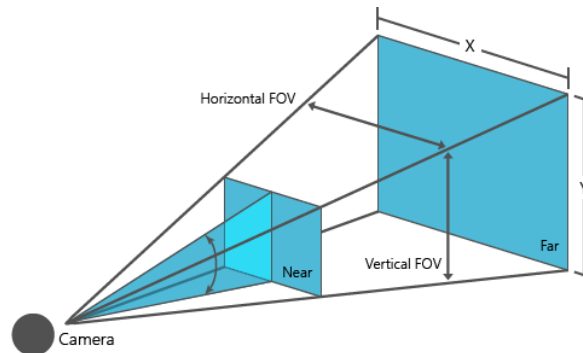


Fig.12 Ejemplo de VFOV y HFOV

3.2.1 Duración de las grabaciones

Las grabaciones no durarán más de 1 hora ya que para el estudio del zoom y las distancias se han utilizado vídeos de 4 horas y debido a la gran cantidad de vídeos que se requieren para completar el sub-mapeo del cielo, sería inviable tomar vídeos tan largos con los que barrer la zona del cielo planteada. El número de grabaciones por barrido horizontal se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Número de grabaciones horizontal} = \frac{\text{Rango total en grados}}{\text{HFOV}} = \frac{30}{1.98} \approx 16$$

Respecto al número de grabaciones por barrido vertical, se realizarán 10 TILTS diferentes, el número de grabaciones verticales será de 10. El número total de grabaciones viene dado por el producto de los barridos horizontales por los barridos verticales. Viene dado por la siguiente expresión.

$$\begin{aligned} \text{Total de grabaciones} &= \text{Número de grabaciones horizontal} \\ &\cdot \text{Número de grabaciones vertical} = 16 \cdot 10 = 160 \end{aligned}$$

Como se puede observar, el número de grabaciones para abarcar 30º absolutos y 10 VFOV diferentes es de 160 y si se incrementa la cantidad de horas por vídeos, se tendría una cantidad exorbitante de horas a grabar.

3.2.2 Caso de uso

Aplicando los conceptos recién discutidos. Partimos de una colatitud de 89.56° ; es decir $\theta = 90 - 0.44^\circ$ con un HFOV de 1.98° y un azimuth relativo de 155.61° . El primer paso consiste en convertir los grados de la colatitud en radianes para ser capaces de evaluar la función definida

En este proceso, se utiliza la colatitud de 89.56° , que se convierte en radianes para trabajar con fórmulas trigonométricas. El HFOV (campo de visión horizontal) de 1.98° y el azimuth relativo de 155.61° son los parámetros iniciales. Al convertir la colatitud a radianes, se obtiene un valor de 1.563 radianes, lo que indica que se debe aplicar la segunda parte de la fórmula trigonométrica. Para colatitudes cercanas a 90° , como en este caso, se usa la fórmula que establece que el incremento de azimuth será igual al HFOV, es decir, 1.98° .

El azimuth se va incrementando en pasos de 1.98° para cubrir un rango de 0° a 30° de manera horizontal, manteniendo constante la colatitud. Una vez que se completa el barrido horizontal, se incrementa la colatitud en 1.14° para realizar el siguiente barrido vertical. Después de cada barrido vertical, se reevalúa el incremento de azimuth para ajustarlo en función de la nueva colatitud. Este proceso permite cubrir de forma eficiente el área del cielo en pequeños pasos, asegurando que las mediciones sean precisas y completas.

3.2.3 Mapa de calor resultantes

A continuación se muestra el mapa de calor resultante del barrido del cielo mediante el procedimiento descrito, dando lugar a información de interés en cuanto a detección de especies aviares mediante un control automático de la cámara y uso de modelos de IA para la detección de las mismas.

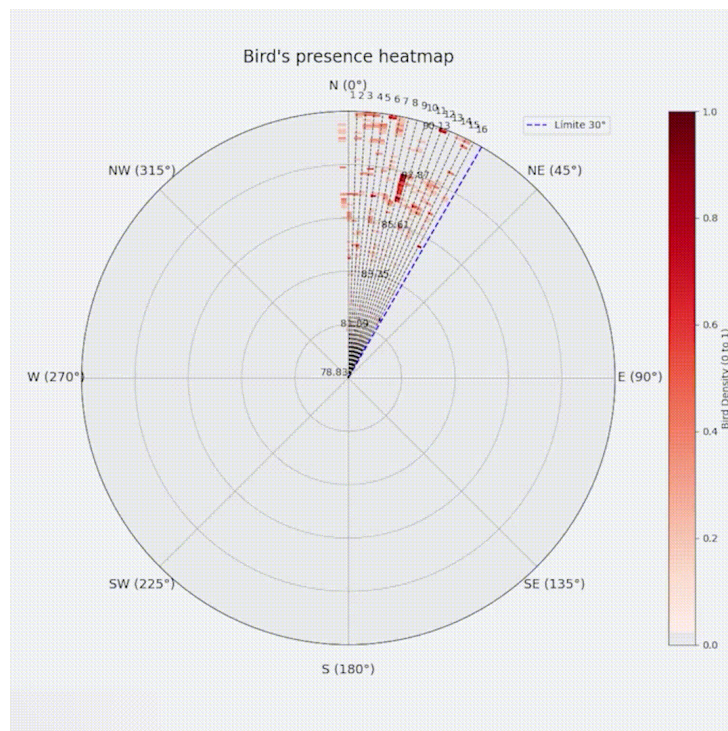


Fig.13 mapas de calor barrido del cielo

3.2.4 Collage de densidad

Primero, se definen las ubicaciones de las imágenes y del collage que se va a generar. A continuación, se utilizan expresiones regulares (Regex) para extraer datos relevantes, como el azimut y la colatitud de los nombres de los archivos de las imágenes. Las imágenes se agrupan en un diccionario por colatitud, y si el proceso de extracción de datos tiene éxito, se almacenan en el diccionario con la colatitud como clave y la combinación de azimut y ruta de la imagen como valor. Luego, se ordenan las imágenes por colatitud de forma ascendente, y dentro de cada grupo, se ordenan nuevamente por azimut.

Las imágenes se cargan una por una usando el software OpenCV y, si se cargan correctamente, se agregan a una lista. Posteriormente, las imágenes se combinan horizontalmente para formar filas, que se almacenan junto con el número de columnas de cada fila. Luego, se ajusta el tamaño de las filas para asegurarse de que todas tengan el mismo ancho, añadiendo espacios (padding) cuando sea necesario. Finalmente, todas las filas ajustadas se apilan verticalmente para formar el collage final, que se guarda en la ubicación deseada. Si todo el proceso se realiza con éxito, se muestra un mensaje de confirmación; de lo contrario, se informa sobre el error encontrado.

Este proceso automatiza la organización y presentación de las imágenes, asegurando que el collage final tenga una estructura ordenada y uniforme, facilitando su visualización y análisis.

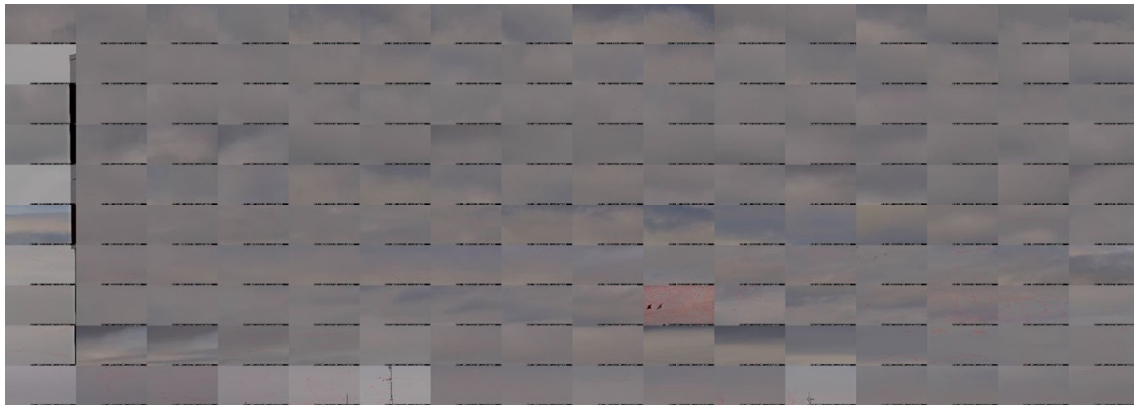


Fig.14 Mapas de collage de densidad

4 Plataforma piloto para la gestión medioambiental

Para materializar los objetivos de la plataforma, <http://ia4birds-platform.air-institute.com> se ha diseñado un conjunto de visualizaciones e interfaces orientadas a transformar los datos (tanto de los sensores IoT como de las fuentes de contexto) en información comprensible y accionable para los perfiles de usuario definidos (Gestores, Investigadores y público general).

El proceso de despliegue continuo para IA4Birds se gestiona de forma automatizada mediante GitHub Actions. Todo el código fuente, la configuración y los flujos de trabajo están centralizados en el repositorio principal del proyecto: <https://github.com/AIRInstitute/IA4Birds>.

4.1 Visualizador de Mapa Principal

Esta interfaz es la vista central de la aplicación. Se compone de un mapa interactivo (tipo Leaflet/Mapbox) que carga por defecto con varias capas de información superpuestas. En el lateral, dispone de un panel de control que permite al usuario activar o desactivar capas adicionales para personalizar el análisis.

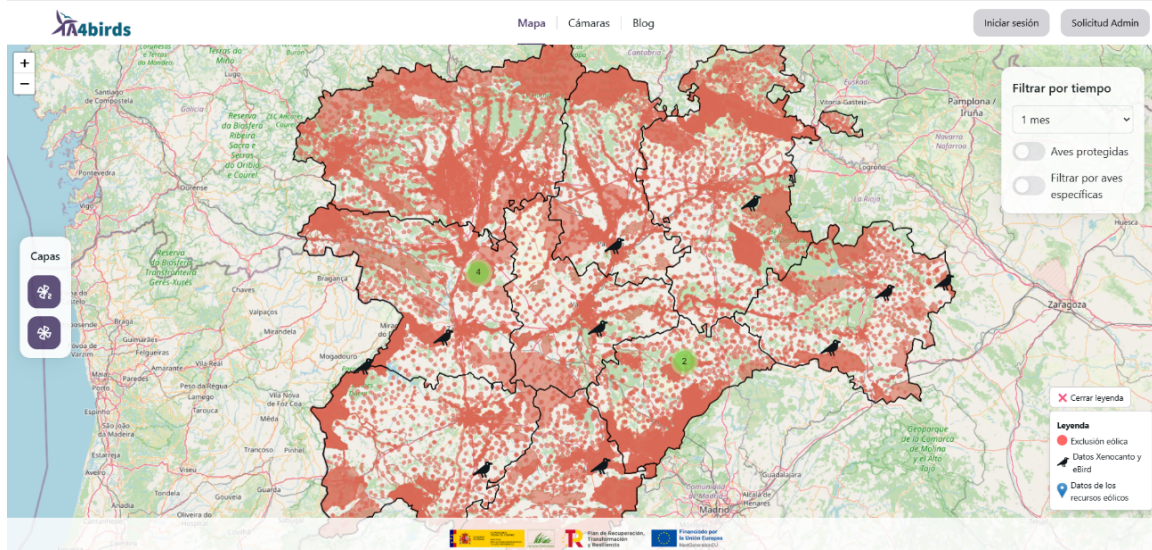


Fig.15. Pantalla principal

4.2 Funcionalidad:

El usuario puede navegar (pan/zoom) por el mapa. Por defecto, visualiza la capa de exclusión eólica y los puntos de avistamiento de aves.

4.2.1 Consulta de Recurso Eólico

Al activar esta capa, el usuario puede hacer clic en cualquier punto del mapa. Esta acción consulta el endpoint del Mapa Eólico Ibérico para esas coordenadas y despliega una ventana modal con cuatro visualizaciones gráficas clave:

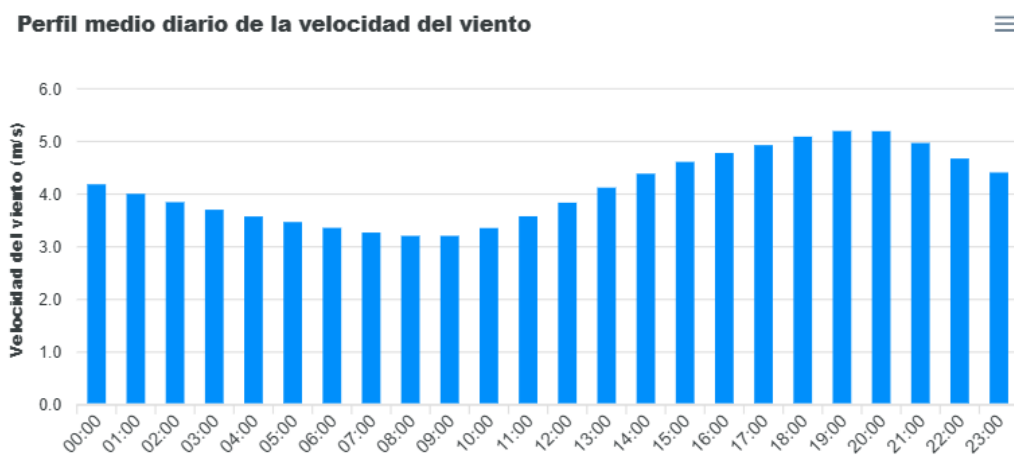


Fig.16. Perfil medio diario velocidad del viento en m/s

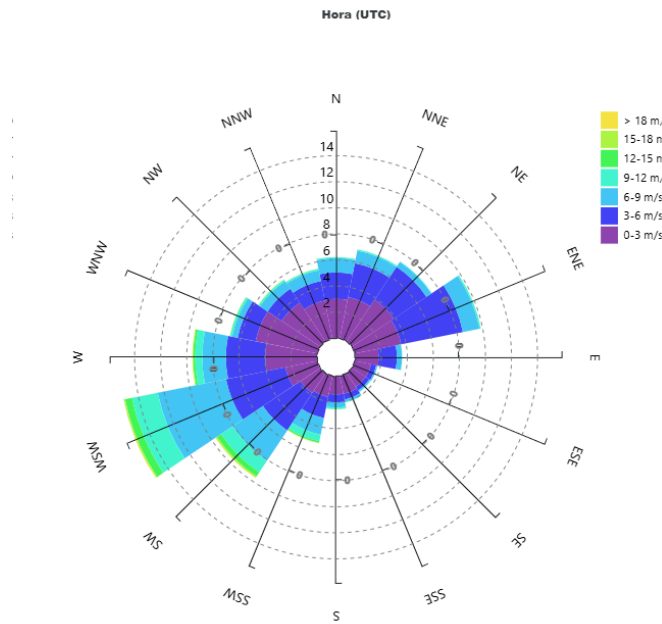


Fig.17. Rosa de los vientos

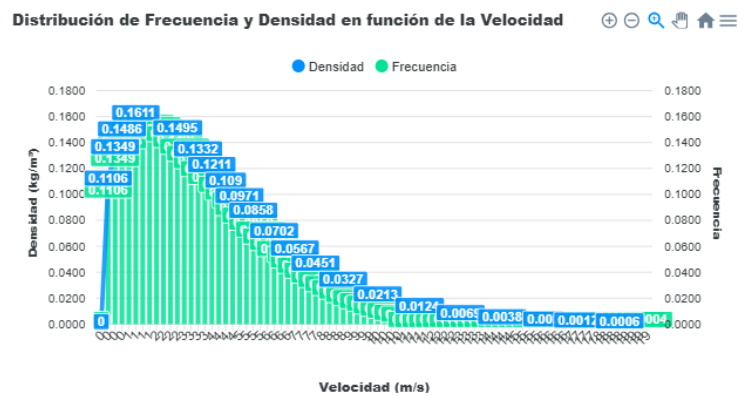


Fig.18. Distribución de frecuencia y densidad de la velocidad.



Fig.19. Perfil vertical medio de la velocidad del viento

4.2.2 Consulta de Cuadrícula Mesoescalar

Al activar esta capa, la interfaz superpone un "mapa recomendador" (cuadrícula visual .jpg) que evalúa la idoneidad para la instalación de aerogeneradores basándose en reglas predefinidas:

- Rojo (No Disponible): La celda tiene más del 25% de solapamiento con la capa de exclusión eólica.
- Naranja (Disponible, Viento Bajo): La celda es viable (menos del 25% de exclusión) pero los vientos son desfavorables (inferiores a 5.5 m/s).
- Verde (Disponible, Viento Favorable): La celda es viable y presenta vientos favorables.

Además, la capa es interactiva. Al hacer clic sobre cualquiera de las celdas de la cuadrícula, se despliega una ventana emergente (*popup*) con la "Información de la celda" específica. Este *popup* muestra los datos detallados que justifican su estado, incluyendo:

- id (identificador de la celda)
- viento medio
- WTG (viabilidad del aerogenerador)
- aves observadas
- Especies
- Cobertura (porcentaje de exclusión)

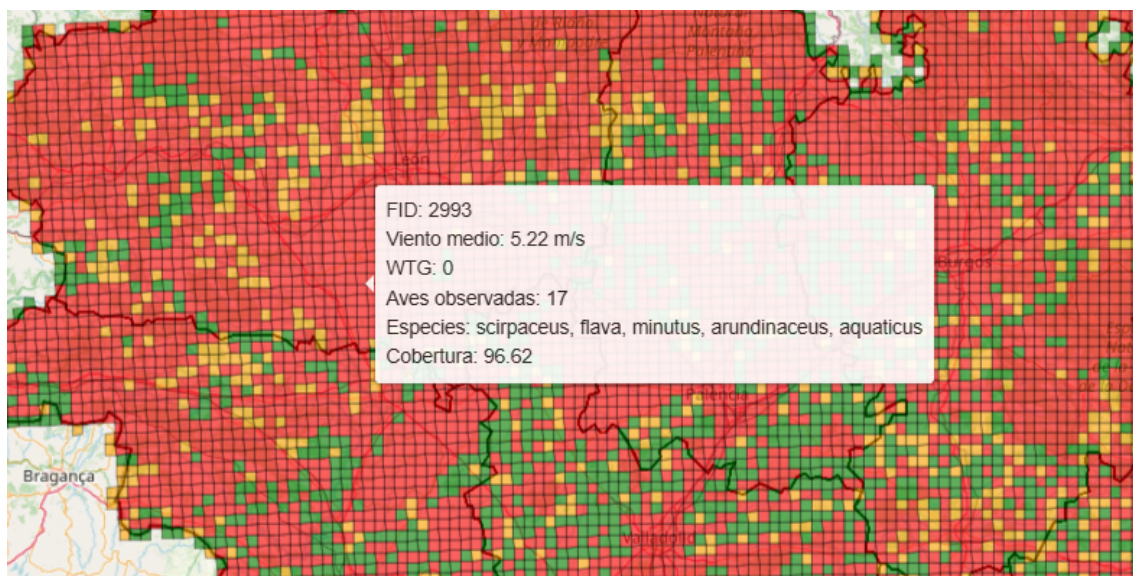


Fig.20. Cuadrícula mesoescalar

4.3 Lista de Cámaras (Gestión de Dispositivos)

Objetivo: Proveer un catálogo centralizado de los dispositivos de monitorización (cámaras) conectados a la plataforma.

Esta interfaz adapta su funcionalidad según el perfil del usuario:

4.3.1 Usuario No Registrado:

La vista muestra una galería de las cámaras que han sido registradas como "**Públicas**".

Cámaras Públicas

AIR INSTITUTE

N/A

camara_air



Fig.21. Cámaras públicas

4.3.2 Usuario Registrado

El usuario ve una vista unificada que incluye tanto las cámaras Públicas como las cámaras Privadas que él mismo ha registrado. Además, esta vista habilita la funcionalidad de "Añadir Cámara".

Cámaras Públicas

Cámaras Privadas

AIR INSTITUTE

N/A

camara_air



+ Añadir Cámara

Fig.22. Cámaras privadas

4.4 Formulario de Registro de Cámara

Al seleccionar "Añadir Cámara", se despliega una ventana modal que permite al usuario registrado configurar un nuevo dispositivo. El formulario solicita la siguiente información:

- Nombre de la Cámara: Un identificador legible (ej. "Nido Gredos").
- Ubicación: Descripción textual de la localización.
- URL de la Cámara: La dirección del stream (ej. rtsp://...).
- Tipo de Fuente: Un selector para definir el protocolo del stream (RTSP, RTMP, HLS, YouTube).
- Latitud y Longitud: Coordenadas GPS para posicionar la cámara en el mapa principal.
- Estado Cámara: Un interruptor (Switch) para definir si la cámara está "Activa" o "Inactiva".
- Datos de Almacenamiento: Información sobre el estado del almacenamiento del dispositivo Edge.
- Visibilidad de la cámara: Un interruptor (Switch) crucial que define si la cámara será "Pública" (visible para todos) o "Privada" (visible solo para el usuario que la registra).

Fig.23. Registro de nueva cámara

4.5 Vista de Detalle de Cámara (Datos y Analíticas)

El acceso a la vista de detalle de una cámara es una funcionalidad exclusiva para los usuarios registrados, solo un usuario que ha iniciado sesión puede acceder a esta pantalla de análisis avanzado, ya sea seleccionando una cámara pública o una de sus propias cámaras privadas.

Una vez dentro, la interfaz presenta un panel completo que combina la telemetría del dispositivo con los resultados analíticos generados en el Edge.

4.5.1 Datos del Dispositivo

En la parte superior, se muestra un resumen de los datos estáticos de la cámara, proporcionando contexto sobre el estado y configuración del dispositivo. Esta información incluye:

- Datos del vídeo
- Datos GPS (ej. "No disponible")
- Estado cámara (ej. "pending")
- Datos de almacenamiento (ej. "No disponible")
- Visibilidad (ej. "Pública")

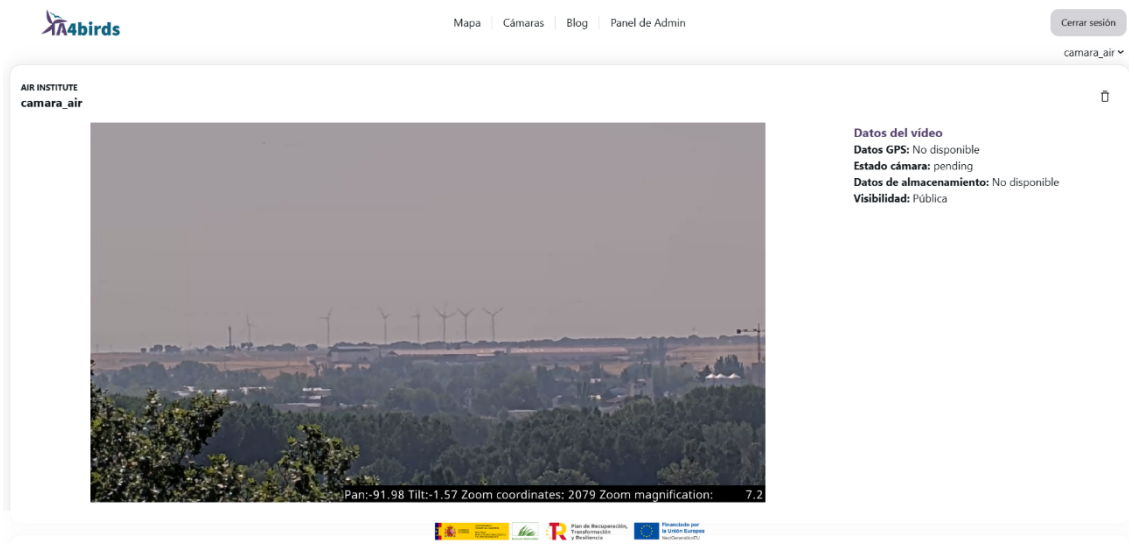


Fig.24. Visor de cámara en directo

4.5.2 Análisis de Detecciones

El núcleo de esta vista se divide en dos niveles de información:

- Detecciones por Frame: Se presenta la "Información Detallada de Especies", que es un desglose granular de las detecciones en crudo reportadas por el dispositivo Edge. Esta tabla permite un análisis forense, mostrando cada detección individual con sus coordenadas y clasificación (ej. 13AVE002X1: 1817, Y1: 10131026.2 px²halcon peregrino-117.7%).
- Agregado por Especies: Para un resumen gerencial, se muestra la tabla de "Información por Especies". Esta vista agrega los datos, mostrando un conteo total por especie para esa cámara. Incluye el "Nombre Común" (ej. buitres_negro, halcon_peregrino), el total de "Detecciones" y la marca temporal de la "Última Detección".

4.5.3 Visualización de Mapas de Calor

Finalmente, la interfaz ofrece la herramienta de análisis visual más potente: el mapa de calor (heatmap). Esta visualización representa gráficamente las zonas de mayor actividad y tráfico de aves frente a la cámara. Junto al heatmap, se muestran las estadísticas asociadas, permitiendo

al investigador interpretar rápidamente los patrones de vuelo y las áreas de mayor interés sin necesidad de revisar los datos en crudo.

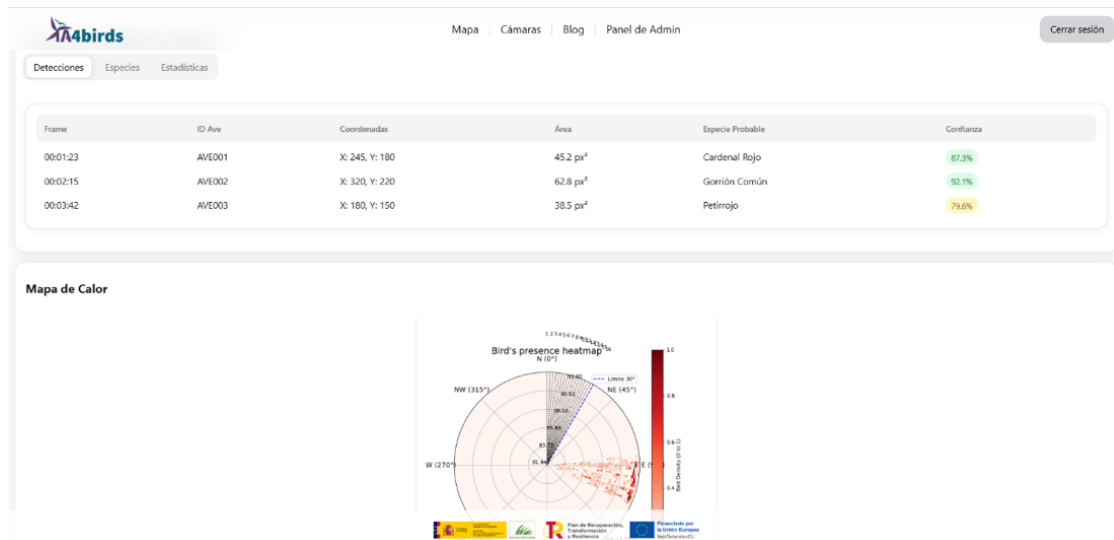


Fig.25. Mapa de calor

4.6 Vista del Blog (Divulgación y Noticias)

Esta interfaz es una sección pública de la plataforma, accesible para usuarios no registrados y registrados por igual. Está diseñada como un blog tradicional donde se presentan los contenidos de forma clara y cronológica.

Los usuarios pueden navegar y leer artículos que explican en profundidad los objetivos del proyecto. Por ejemplo, se publican entradas que detallan el funcionamiento de la plataforma y su aplicación práctica, como el análisis de "qué zonas son adecuadas para instalar parques eólicos", permitiendo así una mayor transferencia de conocimiento no solo a los gestores, sino también al público general interesado en la tecnología y el medio ambiente.

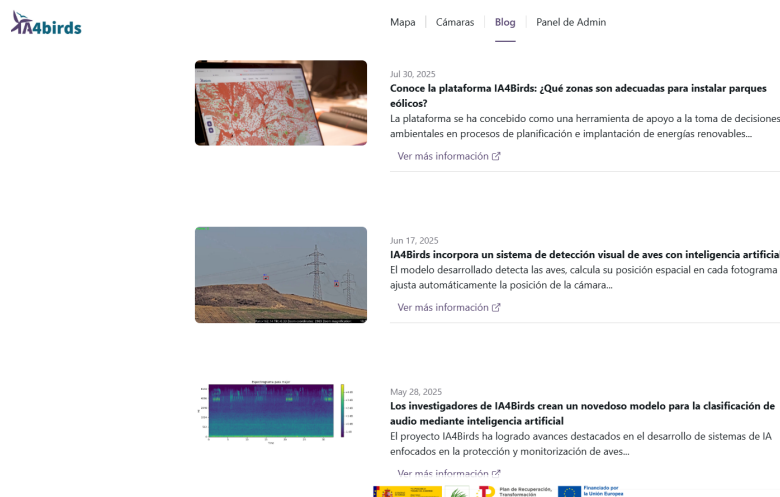


Fig.26. Blog

4.7 Panel de Administración

Objetivo: Proporcionar una vista técnica destinada a la validación y depuración de los flujos de datos de la plataforma.

Descripción y Funcionalidad: Esta interfaz es una sección de acceso restringido, visible únicamente para usuarios registrados (probablemente con rol de administrador). Su propósito no es la analítica visual, sino la inspección de los datos en crudo.

Como se observa en la imagen, el panel permite al administrador:

- Validar los Conectores: Muestra la respuesta JSON en crudo que devuelven los endpoints de ingesta de datos externos, como XenoCanto, eBird y la capa de Exclusión Mutua (IDECYL). Esto permite verificar que los servicios de terceros están respondiendo correctamente.
- Supervisar Datos de Cámaras: Muestra la información de los dispositivos (cámaras) registrados en el sistema.

Esta vista es una herramienta que permite a los administradores validar la integridad de los datos que se están ingiriendo antes de que estos sean procesados y mostrados en las visualizaciones públicas.

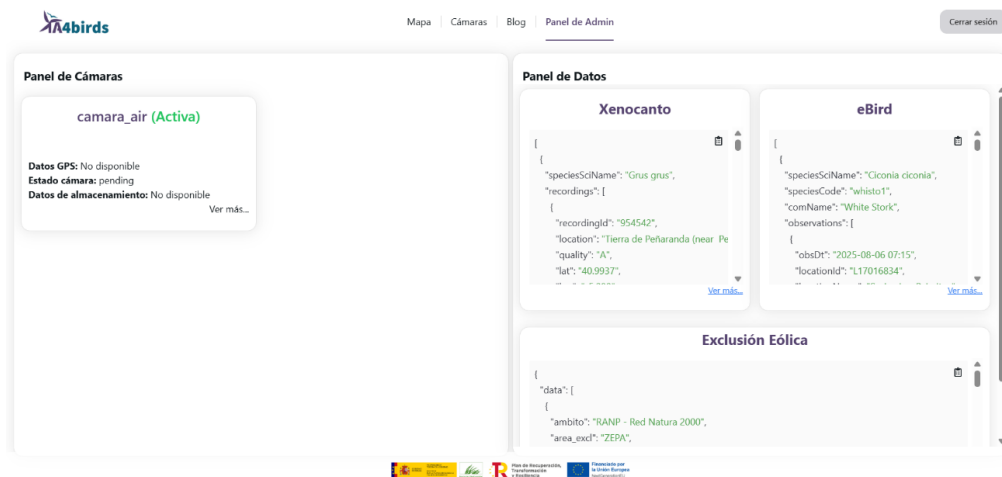


Fig.27. Panel de administración flujo de datos

4.8 Interfaces de Autenticación y Registro

El acceso a las funcionalidades avanzadas de la plataforma está protegido y requiere un proceso de autenticación.

4.8.1 Inicio de Sesión

Los usuarios que ya poseen una cuenta pueden acceder a la plataforma a través de un formulario de inicio de sesión estándar. Esta interfaz solicita el correo electrónico y la contraseña del usuario para autenticarlo y generar su *token* de sesión.

Inicio de Sesión

Fig.28. Inicio de sesión

4.8.2 Proceso de Registro

A diferencia de un registro público abierto, el alta en IA4Birds está mediatizada para asegurar que los usuarios tengan fines de investigación, institucionales o de gestión ambiental.

El proceso se basa en un formulario de "Solicitud de rol admin" donde el interesado debe proporcionar información detallada sobre su perfil:

- Email
- Organización
- Entidad (un selector con opciones como "Privada", "Pública", etc.)
- Ocupación (ej. "Project manager")
- Descripción (un campo de texto libre para justificar el motivo de la solicitud, ej. "Pruebas del funcionamiento de la plataforma").



[Mapa](#) | [Cámaras](#) | [Blog](#)

[Iniciar sesión](#)

Solicitar rol admin

Entidad:

Descripción
Ejemplo: Somos la Junta de Castilla y León y queremos solicitar una cuenta para ver la información de las aves...

Fig.29. Proceso de registro

4.8.3 Flujo de Aprobación

Una vez enviado el formulario, la solicitud no crea una cuenta automáticamente. En su lugar, se envía un correo electrónico de notificación al correo corporativo de los administradores de IA4Birds.



Fig.30. Flujo de aprobación de acceso

Este correo contiene toda la información proporcionada por el solicitante. Un administrador revisa la solicitud y, si considera que el perfil es adecuado, hace clic en el enlace "Activar cuenta" contenido en el correo. Solo tras esta aprobación manual se crea la cuenta del usuario y se le notificará para que pueda establecer su contraseña e iniciar sesión.

5 Conclusión

El proyecto IA4Birds ha logrado avances significativos en la monitorización y protección de la biodiversidad, particularmente en lo que respecta a la interacción entre los parques eólicos y las aves. La implementación de la plataforma ha permitido no solo mejorar la visualización de datos críticos a través de mapas interactivos y modelos predictivos, sino también facilitar la toma de decisiones más informadas y responsables en la planificación de proyectos eólicos. A través de herramientas avanzadas como cámaras de alta resolución, micrófonos de bajo costo y algoritmos de inteligencia artificial, IA4Birds ha proporcionado una solución eficaz para monitorear las especies en su entorno, mejorando la gestión de los parques eólicos de forma que se minimicen los riesgos para la fauna aviar.

Los resultados obtenidos en este proyecto representan un gran paso para Air Institute, consolidándose como un referente en el desarrollo de tecnologías IA e IoT. La plataforma IA4Birds no solo ha demostrado ser una herramienta eficaz en la planificación eólica, sino que también abre las puertas a nuevos modelos de IA para la protección de la biodiversidad. Estos avances abren la posibilidad de aplicar la tecnología a otros campos de la conservación y la gestión ambiental, con el potencial de ampliar el alcance del proyecto a otras áreas geográficas y para diferentes especies, permitiendo un desarrollo más sostenible en múltiples sectores.

IA4Birds ha cumplido sus objetivos iniciales y ha demostrado ser una solución innovadora para equilibrar la producción de energía eólica con la conservación de la biodiversidad, un avance que sin duda contribuirá a futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos en el campo de la inteligencia artificial aplicada a la protección del medio ambiente.