CONAMA 2026

MONITORIZACIÓN BIOACÚSTICA PASIVA DE AVIFAUNA EN INSTALACIONES DEL CICLO INTEGRAL DEL AGUA

Sensores IoT e inteligencia artificial

Edita: Fundación Conama

Año: 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autor Principal de la comunicación: Simón Nevado Santos. Director de Operaciones. Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A. (Aguas de Murcia).

Otros Autores: Alicia Gadea. Responsable de Depuración. Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A. (Aguas de Murcia).

Pablo Cascales. Responsable de captaciones superficiales y subterráneas. Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A. (Aguas de Murcia).

Agustín Torres Jerez. Director del Departamento de Salud Ambiental y Medio Natural, LABAQUA.

Lucía Bohajar García. Técnico de proyectos, Departamento de Salud Ambiental y Medio Natural, LABAQUA.

Índice

1. Introducción 1

2. Área de estudio y tecnología empleada 2

2.1. Tecnología: Sensores IoT y Sistema PAM 2

2.2. Descripción de las instalaciones 4

2.2.1. ETAP Contraparada 5

2.2.2. EDAR Murcia Este 6

3. Análisis de Datos y Resultados 8

3.1. Eficiencia de la red IoT y procesamiento de Big Data 8

3.2. Perfiles ecológicos 9

3.2.1. EM ETAP-BIO H03: El Martín pescador como bioindicador de calidad 10

3.2.2. EDARMUR Bio: Fenología y pasos migratorios 12

4. Conclusiones 16

5. Bibliografía 17

1. Introducción

Las infraestructuras del ciclo integral del agua juegan un papel fundamental en la transición ecológica y la resiliencia de nuestras ciudades. En los últimos años, el sector está impulsando la renaturalización de estas instalaciones, de manera que Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP), embalses, tanques de tormentas y, muy especialmente, las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales (EDAR), que evolucionan hacia el concepto de "biofactorías", se integren en el territorio como infraestructuras verdes. Así, se reduce el impacto visual de las instalaciones, contribuyendo al reverdecimiento de su entorno, actuando como conectores ecológicos y nodos estratégicos para la conservación de la biodiversidad periurbana y la gestión del capital natural (Stefanakis, 2019; Chester & Robson, 2013). Tradicionalmente concebidas como instalaciones industriales, estas plantas albergan láminas de agua, vegetación periférica y zonas de exclusión humana que las convierten en hábitats de oportunidad para la fauna silvestre.

La Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia, S.A. (Aguas de Murcia), es la sociedad mixta (51% ayuntamiento de Murcia, 49% Veolia) que gestiona el ciclo urbano del agua en el término municipal de Murcia, con una población de 479.405 habitantes y una superficie de 881,86 km². Entre las infraestructuras bajo su gestión se incluyen la ETAP de La Contraparada y 16 EDAR, la red de saneamiento y de abastecimiento, la red urbana de riego, el control de vertidos, la reutilización de agua regenerada, y otras actividades transversales como la investigación, innovación tecnológica y aprovechamiento energético. En 2025, la empresa suministró 32,11 millones de m³ de agua potable, depuró 43,85 millones de m³ y gestionó redes de distribución y saneamiento con una longitud de 2.270 y 1.609 km, respectivamente.

Por su parte, LABAQUA es una compañía perteneciente al grupo Veolia que integra servicios avanzados de laboratorio, bioseguridad y consultoría en vigilancia ambiental. Con una marcada vocación innovadora y de I+D+i aplicada, desarrolla soluciones tecnológicas para la monitorización ambiental, la detección de contaminantes y la evaluación del capital natural.

En el marco de este compromiso con la sostenibilidad y la innovación aplicada, Aguas de Murcia ha implementado una red de monitorización bioacústica mediante sensores IoT (Internet of Things) de escucha continúa desplegados en la EDAR Murcia Este y en la ETAP Contraparada, ambas situadas en el corredor ecológico del río Segura. El avance de la bioacústica y la tecnología PAM (Passive Acoustic Monitoring) ofrecen herramientas eficaces para la monitorización autónoma y no intrusiva de la avifauna en infraestructuras urbanas (Budka et al., 2022; Gibb et al., 2019). La Inteligencia Artificial (IA) permite identificar en tiempo real los cantos un gran número de especies de aves, generando una cantidad ingente de registros, gestionados y analizados desde el Departamento de Salud Ambiental y Medio Natural de LABAQUA.

El sistema permite caracterizar el capital natural de las instalaciones del ciclo del agua, o de cualquier red ecológica, poniendo en valor el rol activo de las infraestructuras hídricas en el ecosistema y establecer una línea base continua sobre la que evaluar y hacer un seguimiento a largo plazo de la biodiversidad ligada a estas instalaciones. Mediante esta tecnología es posible monitorizar de forma no invasiva la presencia de rapaces nocturnas, detectar patrones migratorios

o especies vulnerables, así como analizar la relación entre el comportamiento de la avifauna y las variables meteorológicas o cambios en el entorno (nuevos procesos, fenómenos antropogénicos). Además de su indudable valor científico, el proyecto fomenta la conexión social y la transparencia mediante el acceso público a los datos sonoros a través de códigos QR, facilitando la divulgación ambiental y la sensibilización ciudadana.

En la presente comunicación se muestran algunos de los resultados de interés del seguimiento en estas estaciones de escucha diseñadas para comprender cómo la gestión de estos entornos influye en la biodiversidad.

2. Área de estudio y tecnología empleada

Para evaluar la biodiversidad de forma ininterrumpida, Aguas de Murcia ha desplegado una red de tres (3) sensores IoT de Monitorización Acústica Pasiva: uno en la ETAP Contraparada y dos en la EDAR Murcia Este. A continuación, se describe brevemente la metodología tecnológica empleada y el contexto de las instalaciones objeto de estudio.

2.1. Tecnología: Sensores IoT y Sistema PAM

Los dispositivos desplegados en las instalaciones son sensores inteligentes (nodos IoT) equipados con Inteligencia Artificial (IA), diseñados para la identificación automática y continua de la avifauna a través de sus vocalizaciones. Para ello, el sistema incorpora una red neuronal convolucional (CNN) adaptada y optimizada en colaboración con el Centro K. Lisa Yang de Bioacústica de Conservación del Laboratorio de Ornitología de la Universidad de Cornell (EE. UU.), responsable del desarrollo de la plataforma *BirdNET Sound ID*.

Cada sensor opera como un nodo autónomo dentro de una red de Monitoreo Acústico Pasivo (PAM, por sus siglas en inglés). La tecnología PAM, combinada con el aprendizaje automático (*machine learning*) y algoritmos de *deep learning*, constituye una metodología no invasiva, eficiente y de alta resolución temporal que permite estudiar la fauna silvestre, cuantificar patrones de abundancia y evaluar las respuestas conductuales de las comunidades de aves frente a las dinámicas operativas de las plantas y el cambio ambiental.

El flujo de trabajo tecnológico se estructura en tres fases complementarias (Figura 1):

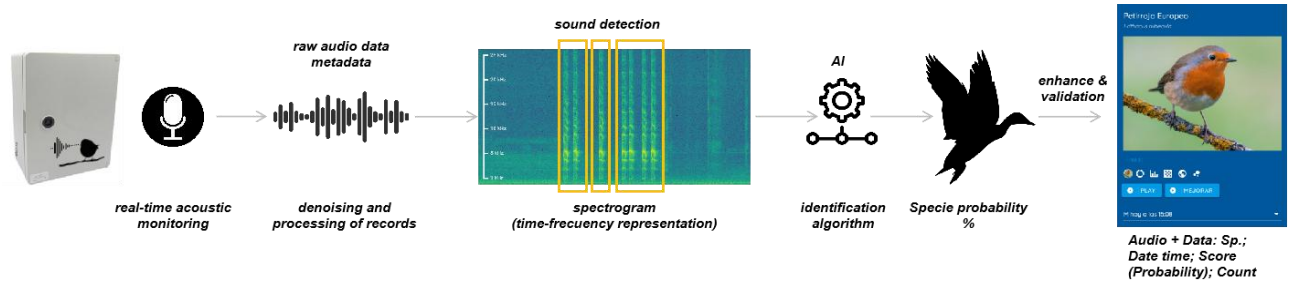


Figura 1. Proceso de escucha, tratamiento e identificación continua las vocalizaciones de las aves (CNN).
Fuente: LABAQUA.

1. **Adquisición acústica en campo** (Figura 2): Los nodos se encuentran protegidos en envolventes estancas de alta durabilidad (grado de protección IP66), preparadas para su montaje mural o fijación mediante bridas en mástiles, luminarias o arbolado. Los equipos disponen de un radio funcional de detección de aproximadamente 50 metros en campo abierto, requiriendo un análisis previo de microhábitats y obstáculos acústicos para optimizar.



Figura 2. Sensor instalado sobre árbol con alimentación de red y sobre luminaria con alimentación fotovoltaica.
Fuente: LABAQUA.

2. **Transmisión y procesamiento inteligente en la nube:** La transmisión de audio y telemetría se realiza en tiempo real a través de comunicaciones celulares (módem con tarjeta SIM alojada en la propia carcasa). Las señales sonoras son analizadas de forma ininterrumpida en la nube mediante redes neuronales que procesan los espectrogramas para clasificar las especies. Cada detección se registra en una base de datos con su correspondiente marca temporal (*timestamp* en UTC y hora local), especie asociada, sonograma segmentado y el índice de confianza o verosimilitud de la predicción (*scoring*).

3. **Gestión del dato y acceso multicanal:** La información queda disponible en una plataforma de gestión (SaaS) orientada al análisis avanzado, validación ornitológica y descarga de datos brutos y agregados por parte del Departamento de Salud Ambiental y Medio Natural de LABAQUA. De manera paralela, y con el fin de fomentar la transparencia y la sensibilización social, las identificaciones en tiempo real son accesibles al personal de planta y visitantes mediante códigos QR grabados en placas de acero inoxidable ubicadas en puntos estratégicos de las instalaciones (Figura 3).

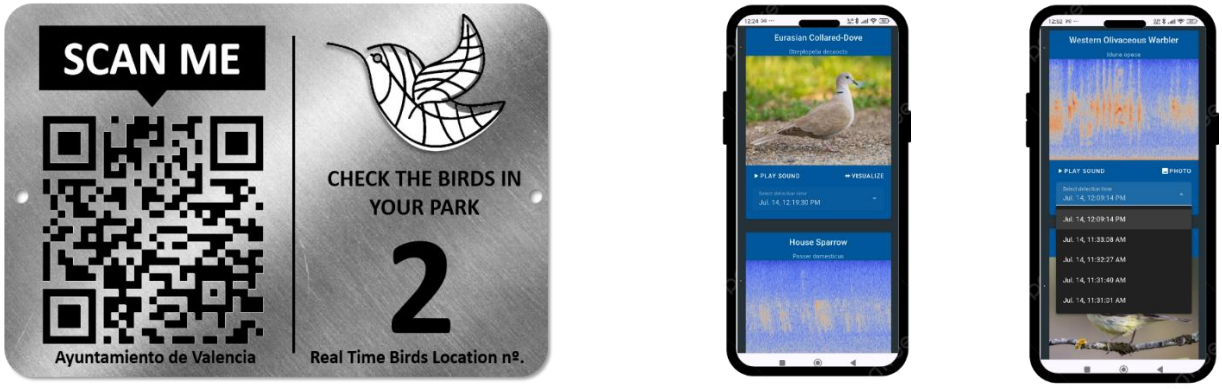


Figura 3. Ejemplo de placa informativa con QR de acceso a registros de aves en tiempo real.
Fuente: LABAQUA

2.2. Descripción de las instalaciones

El proyecto se ha desplegado en dos de las principales infraestructuras del ciclo integral del agua gestionadas por Aguas de Murcia en el municipio ambas íntimamente vinculadas al Río Segura, el gran corredor ecológico que atraviesa la ciudad (Figura 1).

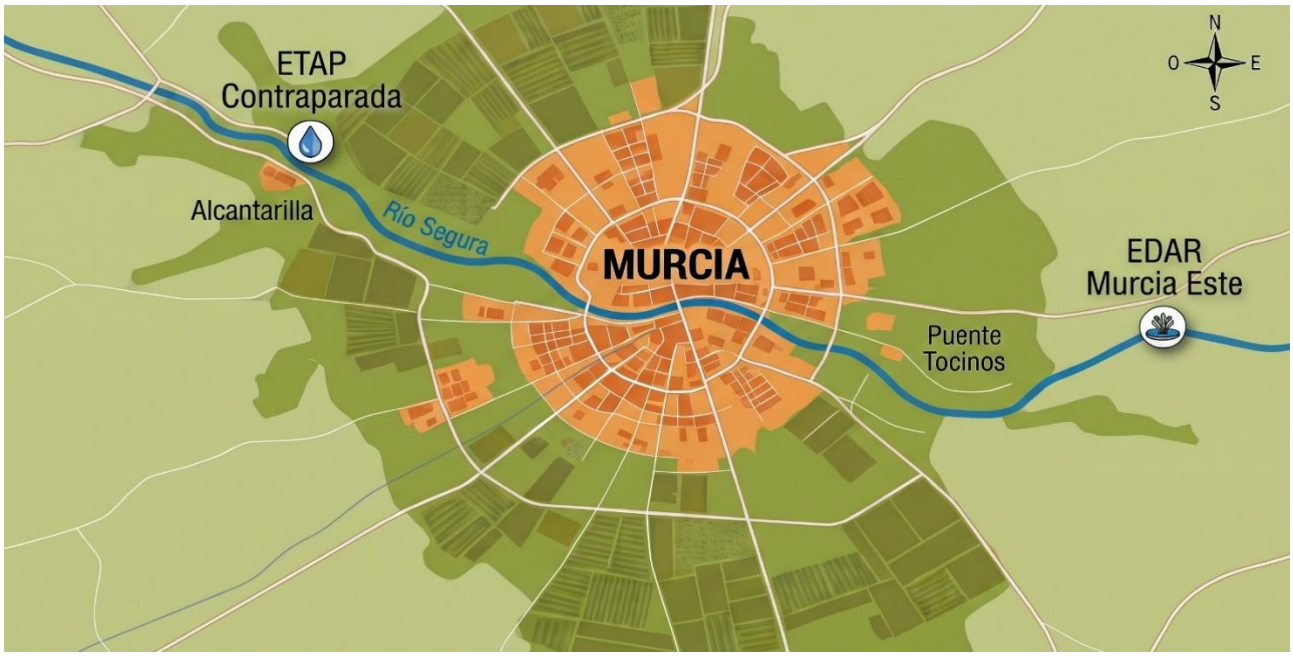


Figura 4. Esquema ubicación de las instalaciones de la ETAP Contraparada y EDAR Murcia Este.
Fuente: Aguas de Murcia.

2.2.1. ETAP Contraparada

En la pedanía de Javalí Viejo, la ETAP Contraparada tiene una capacidad nominal de tratamiento de 2.000 m³/h, destinada al abastecimiento de la ciudad de Murcia y pedanías, que suministra de media alrededor del 25 %del volumen demandado por el término municipal (con una producción en 2025 de más de 6,31 millones de m³ de agua tratada).

Ubicada en la margen izquierda del río Segura, en el paraje del Azud de la Contraparada, un entorno histórico y de alto valor ecológico vinculado a la huerta murciana, sus inmediaciones conservan una rica vegetación de ribera (sotos, tarayales y carrizal). Este espacio ha sido objeto de diversas intervenciones de eliminación de cañaveral invasor y restauración del bosque de ribera (ANSE, s.f.; CHS, 2023). Asimismo, en la propia planta se han desarrollado continuas actuaciones para el fomento de la biodiversidad, en colaboración con ANSE e iniciativas propias, como el programa Biobserva (www.biobserva.com), consolidándola como una infraestructura verde integrada en el territorio que adecua y amplía el hábitat para especies ecológicamente más exigentes.

La estación de monitoreo acústico (en adelante EM) ETAP-RIO [H03] se ubica en las proximidades del paraje del Azud de la Contraparada (Figura 4). Se encuentra en un sector relativamente aislado del tránsito de vehículos y rodeado por un pequeño jardín-huerto con frutales. Aunque está expuesto a cierta influencia de la actividad diaria de la planta potabilizadora, se trata de una zona de máximo interés ecológico por su estrecha proximidad y conexión directa con el corredor del río Segura.

La pedanía de Javalí Viejo, la ETAP Contraparada es una instalación estratégica de potabilización con una capacidad nominal de tratamiento de 2000 m^3/h, destinado al abastecimiento de la ciudad de Murcia y pedanías que suministra, como promedio, el 25 % del volumen demandado. Se ubica en el margen izquierdo del río Segura, en el emblemático paraje del Azud de la Contraparada, un entorno histórico y de alto valor ecológico ligado a la huerta murciana. Los alrededores inmediatos al recinto conservan una rica vegetación de ribera (sotos, tarayales y carrizal), en un entorno que además ha sido foco de intervenciones de eliminación de caña y restauración de bosque de ribera (CHS, 2023) así como en la propias instalaciones también se han desarrollado actuaciones para el fomento de la biodiversidad, consolidando a la ETAP no solo como infraestructura hídrica, sino como un componente más del entorno que se adecua para ampliar el hábitat de especies ecológicamente más exigentes.

El sensor o EM ETAP-RIO[H03] se ubica en un sector (Figura 5) aislada de tránsito de vehículos, en las inmediaciones de un pequeño jardín - huerto con frutales y aunque está expuesto a cierta influencia de la actividad diaria en planta, se trata una zona de alto interés por estar muy cercana al río Segura.



Figura 5. Ubicación de la estación de monitoreo ETAP-RIO[H03].
Fuente: Google maps.

2.2.2. EDAR Murcia Este

Con un caudal de diseño de 100.000 m³/día, la EDAR Murcia Este es la principal instalación de depuración del término municipal, tratando en 2025 más de 39,35 millones de m³ de agua residual (el 89,7 % del caudal total gestionado por la empresa). Concebida originalmente como una planta de tratamiento convencional, la instalación avanza hacia el modelo de «biofactoría», integrando principios de economía circular, descarbonización y valorización de recursos. Entre sus hitos destaca una producción eléctrica en cogeneración a partir de biogás de 7,93 GWh en 2025, lo que le permite alcanzar una autosuficiencia energética del 64%.

A pesar de su intensa actividad operativa, la planta cuenta con amplias láminas de agua abierta que ejercen un fuerte efecto llamada sobre la avifauna acuática e insectívora, mientras que las actuaciones de revegetación perimetral con especies autóctonas están transformando

progresivamente sus límites en conectores ecológicos (*stepping stones*) dentro de la matriz de la huerta tradicional y el cauce del río Segura (dominado en este tramo por carrizal y cañaveral). Para caracterizar la biodiversidad en este entorno industrial renaturalizado, la EDAR cuenta con dos EM diferenciadas (Figura 6):

- **EDARMUR-BIO [H02]:** Emplazada en las proximidades del reactor biológico, directamente integrada en el corredor de vegetación perimetral.
- **EDARMUR-PARKING [H01]:** Situada en la zona norte de la planta, junto a los decantadores, en un área más abierta, separada de las edificaciones de mayor trasiego y próxima a las franjas de vegetación perimetral.

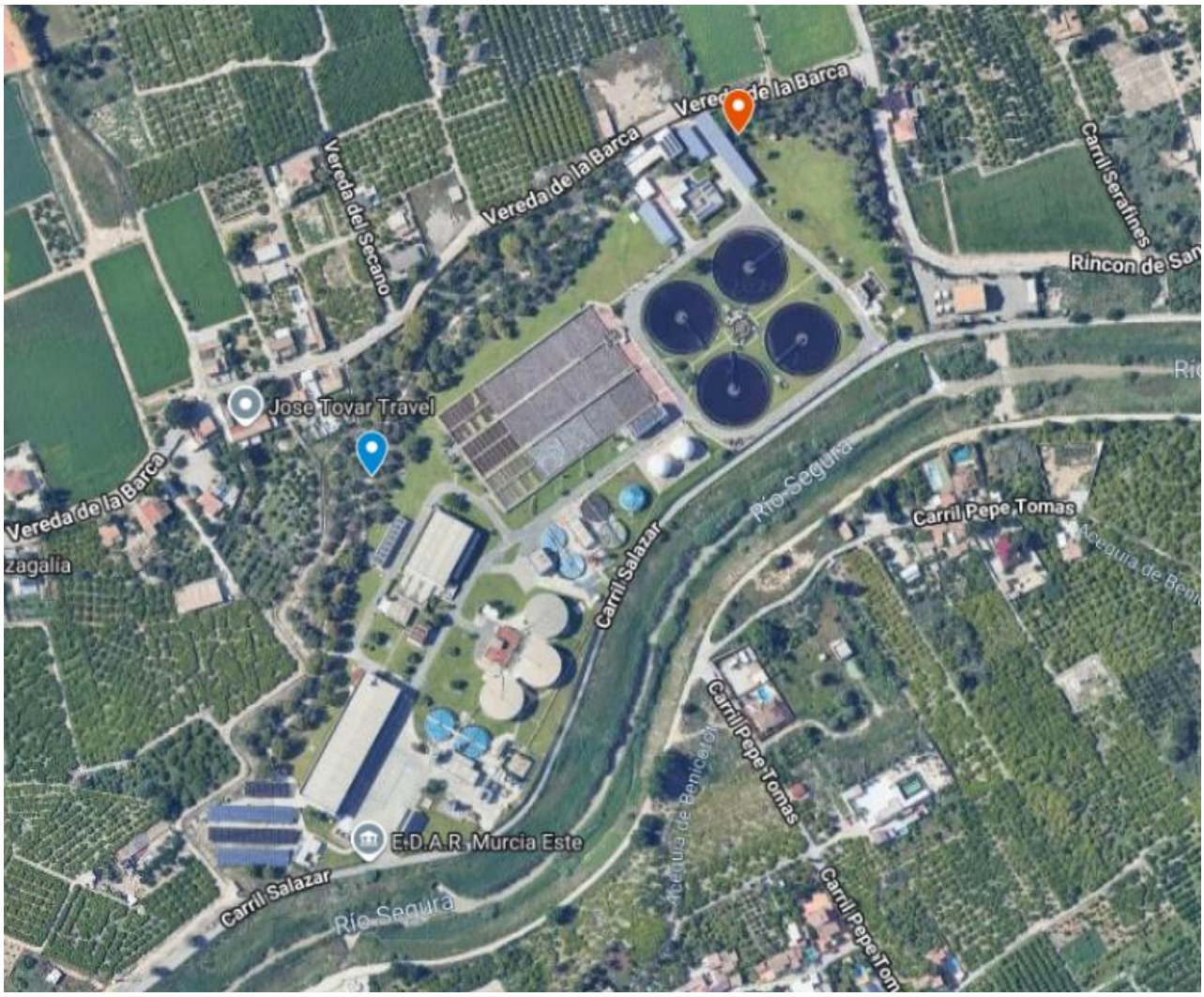


Figura 6. Ubicación de las estaciones de monitoreo EDARMUR-BIO[H02] en azul y EDARMUR-PARKING[H01] en rojo.
Fuente: Google maps.

3. Análisis de Datos y Resultados

3.1. Eficiencia de la red IoT y procesamiento de datos

Algunos de los sensores registran datos desde junio de 2024, sin embargo, para esta comunicación se han evaluado registros a partir de 2025, ya que es en febrero de ese mismo año dónde todos los sensores se encuentran en su ubicación definitiva. El análisis evolutivo del rendimiento del sistema (Cuadro 1), contrastando el ciclo completo de 2025 frente a los primeros diez meses de 2026, revela una optimización sustancial en la autonomía de los nodos IoT, que ha minimizado los tiempos de inactividad ampliando un 14% la cobertura media de la red, garantizando una cobertura temporal prácticamente ininterrumpida.

Cuadro 1. Evolución de la cobertura temporal y disponibilidad de la red de sensores.
Fuente: Elaboración propia.

Instalación / Sensor	Período estudio (2025)	Días sin registro (2025)	Cobertura efectiva (2025)	Período estudio (2025)	Días sin registro (2026)*	Cobertura efectiva (2026)*
H01	365	62	83,0%	304	10	96,7%
H02	365	40	89,0%	304	1	99,4%
H03	338 días**	62	81,7%	304	4	98,7%
Media		55	85%		5	98%

** Desde el 1 de enero hasta el 31 de octubre de 2026, última fecha utilizada para el análisis.** ETAP-RIO[H03] se instala el 28 de enero de 2025.*

Como señalan algunos autores (Stowell, 2022) el despliegue de la red PAM ha evidenciado una robustez operativa importante y ha confirmado la capacidad para la producción masiva de datos en campo. Esta alta cobertura genera un volumen ingente de información acústica, superando los 2,5 millones de registros brutos entre las tres EM (Cuadro 2).

El nivel de confianza asociado a cada detección (*score*) permite realizar un filtrado de los datos, cuyo umbral se ha establecido en el percentil 25 (P25) específico de cada sensor y periodo. Esta aproximación metodológica adaptativa permite respetar la realidad acústica local de cada nodo (diferenciando las zonas forestales de los entornos puramente industriales), buscando un equilibrio óptimo que compense la pérdida de detecciones válidas (falsos negativos) con la minimización de identificaciones erróneas (falsos positivos).

Cuadro 2. Volumen de Big Data acústico acumulado y filtrado (2025-2026), indicando el umbral P25 aplicado en cada periodo.
Fuente: Elaboración propia.

Instalación / Sensor	Año	Registros Brutos	Cantos score>P25	Umbral P25 aplicado
EDARMUR -Parking H01	2025	478.152	395.179	0,40
	2026*	330.029	66.967	0,51
EDARMUR -Bio H02	2025	440.053	371.592	0,43
	2026*	399.044	323.802	0,50
ETAP-Rio H03	2025	482.341	401.070	0,45
	2026*	465.586	381.076	0,45
TOTAL		2.595.205	1.939.686	

** Desde el 1 de enero hasta el 31 de octubre de 2026, última fecha utilizada para el análisis.*

3.2. Perfiles ecológicos

Para caracterizar las comunidades de avifauna de cada instalación de forma cuantitativa, en el cuadro 3 se han calculado los principales índices de diversidad alfa a partir de las series de 2025.

Cuadro 3. Indicadores clave de diversidad alfa sobre los datos de actividad vocal.

Indicadores de Diversidad Alfa (2025)	ETAP Contraparada (H03)	EDARMUR Bio (H02)	EDARMUR Parking (H01)
Riqueza específica efectiva (nº especies)	147	154	181
Diversidad (H' Shannon)	1,95	2,28	2,54
Dominancia (1-D Gini-Simpson)	0,72	0,82	0,86
Uniformidad (E Pielou)	0,38	0,44	0,47

Los resultados del cuadro 3 evidencian que, si bien la ETAP alberga una comunidad más especializada, es el entorno de la depuradora (especialmente en la EM EDARMUR-Parking H01) el que presenta una mayor riqueza específica y una mayor equitatividad en la distribución de sus poblaciones. Sin embargo, en el análisis masivo de grandes paquetes de datos acústicos mediante Inteligencia Artificial, es imperativo realizar una lectura ecológica cautelosa y bien fundamentada: la alta sensibilidad de la red PAM conlleva la potencial detección de falsos positivos, provocados por solapamientos acústicos con ruidos humanos, mecánicos o industriales. Por ello, la caracterización funcional y el rol ecológico real de cada instalación deben analizarse a través del grueso de su abundancia acústica validada y el conocimiento del entorno.

El cuadro 4 expone el "Top 10" de especies con mayor número de vocalizaciones detectadas durante 2025 (agrupando el grueso de los registros de la red). Este ranking evidencia dos perfiles ecológicos distintos:

- **La EDAR Murcia Este** (tanto Parking H01 como Bio H02) presenta un perfil marcadamente sinantrópico y oportunista (tórtola turca, gorrión común), pero extraordinariamente rico en aves insectívoras atraídas por las láminas de agua industriales. La presencia sostenida de la lavandera blanca (*Motacilla alba*) en el Top 10 es un claro indicador de este aprovechamiento trófico, ya que esta especie utiliza los muros de los decantadores para capturar dípteros de forma intensiva.

- **La ETAP Contraparada** (Río H03) sostiene una comunidad ligada a medios forestales y de ribera estructurada. Destaca la altísima actividad vocal de fringílidos asociados a las orlas arbustivas, junto con especies indicadoras de vegetación densa del soto fluvial, como el ruiseñor bastardo (*Cettia cetti*).

Cuadro 4. Top 10 de especies dominantes por estación de monitorización en abundancia de cantos relativa (2025).

Ranking	EDARMUR- Parking (H01)	EDARMUR- Bio (H02)	ETAP – Rio (H03)
1	Serín verdecillo (22,97%)	Tórtola turca (30,18%)	Serín verdecillo (57,89%)
2	Gorrión común (19,47%)	Serín verdecillo (24,59%)	Verderón común (22,84%)
3	Tórtola turca (13,95%)	Gorrión común (11,23%)	Mirlo común (3,11%)
4	Verderón común (11,98%)	Petirrojo europeo (7,21%)	Herrerillo común (2,84%)
5	Mirlo común (8,71%)	Papamoscas gris (3,77%)	Curruca cabecinegra (2,18%)
6	Papamoscas gris (2,99%)	Verderón común (3,55%)	Gorrión común (1,89%)
7	Mosquitero común (2,81%)	Mirlo común (3,22%)	Petirrojo europeo (1,49%)
8	Lavandera blanca (2,54%)	Carbonero común (2,15%)	Papamoscas gris (1,09%)
9	Jilguero europeo (2,32%)	Lavandera blanca (1,92%)	Jilguero europeo (1,04%)
10	Carbonero común (1,98%)	Gorrión molinero (1,30%)	Cetia ruiseñor (0,96%)

El análisis transversal de la red acústica confirma una divergencia ecológica, ya que, a pesar de su proximidad geográfica en el corredor del Segura, cada infraestructura hídrica soporta una comunidad ornitológica distinta y que asume funciones ecosistémicas diferentes. Con el objetivo de profundizar un poco más en la caracterización de las poblaciones presentes en cada instalación, se ha puesto el foco en especies de interés a partir de las series consolidadas de 2025.

3.2.1. El Martín pescador como bioindicador de calidad

El martín pescador (*Alcedo atthis*), una especie catalogada como «en peligro» (EN) en el *Libro Rojo de las Aves de España* de López-Jiménez (2021). Se trata además, de un indicador de la calidad

del agua y de disponibilidad de recursos tróficos acuáticos. Es un depredador, por lo que se encuentra en el nivel más alto de la red trófica acuática, su presencia continua requiere y garantiza una alta transparencia y calidad físico-química de la lámina de agua que le permita el avistamiento de presas. Asimismo, certifica la existencia de una abundante comunidad de macroinvertebrados y pequeña ictiofauna intolerantes a la contaminación, y ratifica la buena conservación geomorfológica de los márgenes naturales, necesarios para sus posaderos de caza (Green & Elmberg, 2014).



Figura 7. Fotografía de un ejemplar de martín pescador (*Alcedo athis*).
Fuente: Macaulay Library / Cornell Lab of Ornithology.

Se ha calculado la tasa media diaria de cantos durante el ciclo anual 2025, relacionando las detecciones validadas con el número de días efectivos de registro (descontando los días de inactividad de cada sensor expuestos en el cuadro 1).

Como se observa en el cuadro 4 la tasa de detección del martín pescador en EM 01 y 02 ubicadas en la EDAR Murcia Este, es marginal (apenas 0,04 cantos/día en EM Parking), lo que sugiere avistamientos ocasionales o individuos en tránsito rápido. Por el contrario, la tasa en la ETAP Contraparada es casi siete veces superior a los datos más altos de las EM de la depuradora, confirmando su asentamiento en el ecosistema.

Cuadro 5. Tasa de detección diaria del Martín pescador (*Alcedo atthis*) por hábitat en 2025.

Fuente: Elaboración propia.

Instalación / Sensor (Año 2025)	Días efectivos con registro	Cantos de martín pescador	Tasa media (cantos/día)
ETAP - RIO (H03)	276	243	**0,88**
EDARMUR - BIO (H02)	324	42	0,13
EDARMUR - Parking (H01)	303	11	0,04

**Abundancia calculada aplicando los umbrales de validación predeterminados de cada informe).*

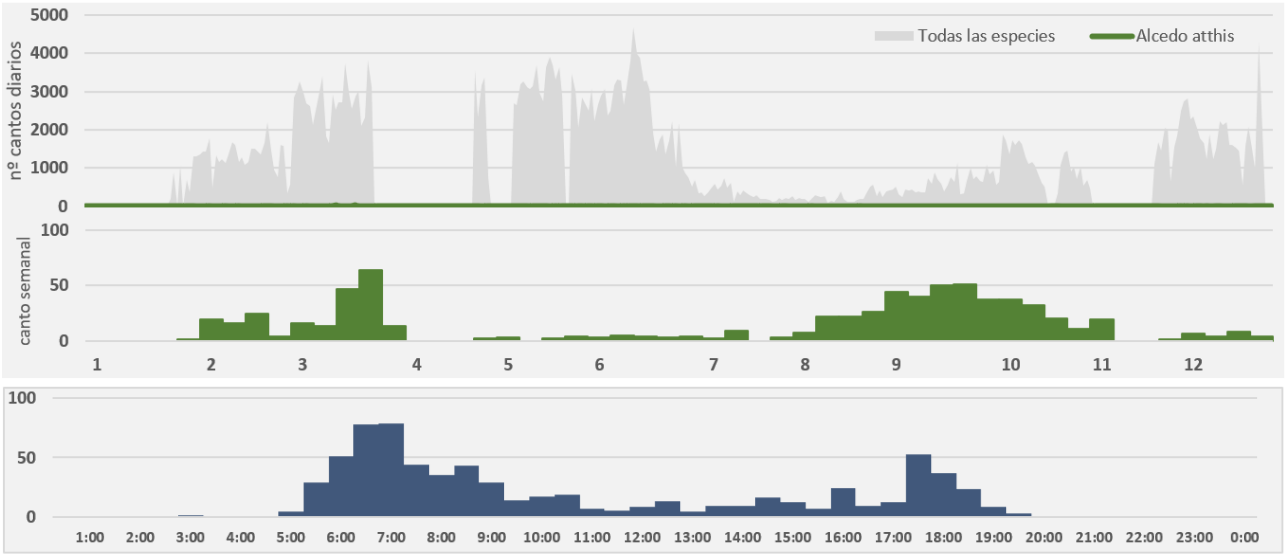


Figura 8. Registros de cantos diarios anuales frente al total de cantos registrados durante el 2025 de martín pescador (*Alcedo athis*) y actividad horaria.
Fuente: LABAQUA.

En la figura 8 se deduce que su presencia es más o menos constante, sin registro aquellas semanas en las que la EM estaba fuera de funcionamiento y con mayor actividad vocal los meses de primavera y otoño. Es un animal diurno y concentra su actividad durante les primeras horas del día con un pequeño conato antes de las 19h.

3.2.2. Refugio migratorio

La destacada presencia del petirrojo europeo y papamoscas gris en el *top 10* de especies detectadas en la EM H02, ha motivado el uso de este sensor para analizar la fenología de ambas especies, tomándolas como ejemplos representativos de aves migradoras. La ubicación de este nodo, próximo a los reactores biológicos de la depuradora, lo convierte en un punto estratégico para monitorizar estas fluctuaciones. Se localiza en una zona de refugio con vegetación autóctona asentada y protegido del viento, pero cercano a las láminas de agua de los decantadores que actúan como un imán trófico inagotable. Las series continuas han trazado con exactitud dos patrones

fenológicos clave: la migración presahariana del petirrojo europeo y la transahariana del papamoscas gris.

3.2.2.1. Migración invernal o presahariana (Petirrojo europeo, *Erithacus rubecula*)

El petirrojo europeo (Figura 9) es un pequeño paseriforme de hábitos forestales y de sotobosque. Destaca por ser un ave marcadamente territorial incluso fuera de la época reproductiva, lo que explica su altísima y constante actividad acústica durante el invierno, ya que ambos sexos cantan para defender su área de alimentación. En el sureste ibérico, las poblaciones residentes se ven enormemente reforzadas en otoño por la llegada masiva de migrantes presaharianos procedentes del centro y norte de Europa (SEO/BirdLife, 2012). Estos ejemplares invernantes buscan refugios térmicos con vegetación densa y alta disponibilidad trófica en el suelo (Tellería et al., 2001), encontrando en las orlas arbustivas perimetrales de la EDAR un hábitat óptimo.



Figura 9. Fotografía de un ejemplar de petirrojo europeo (*Erithacus rubecula*).
Fuente: Macaulay Library / Cornell Lab of Ornithology

Buscan refugios térmicos con vegetación densa y alta disponibilidad trófica en el suelo, encontrando en las orlas arbustivas perimetrales de la EDAR un hábitat óptimo. La figura 10 refleja un pico de actividad acústica muy alta los meses de octubre y noviembre, coincidente con la llegada de migrantes presaharianos y concentrando la actividad vocal desde octubre a finales de marzo.

Durante el ciclo analizado de 2025, esta especie superó ampliamente los 26.000 cantos validados en este nodo (convirtiéndose en la cuarta especie más dominante) y con un score promedio de 0.67, lo que indica que el nivel de confianza general en la probalidad de identificación es alto. Este hecho demuestra que la vegetación perimetral a los reactores biológicos ofrece un refugio invernal óptimo y atemperado para esta pequeña ave y otros paseriformes invernantes.

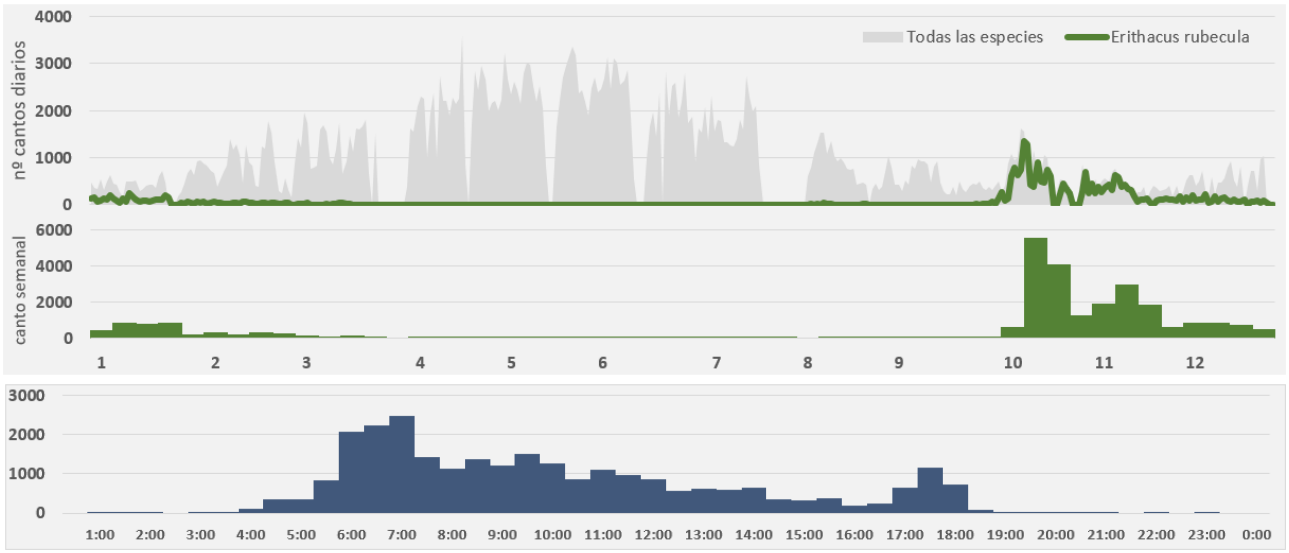


Figura 10. Registros de cantos anuales frente al total de cantos registrados durante el 2025 de petirrojo europeo (*Erithacus rubeula*) y su actividad horaria.
Fuente: LABAQUA.

3.2.2.2. Migración estival transahariana (Papamoscas gris, *Muscicapa striata*)

El papamoscas gris (Figura 11), es un paseriforme estival y migrante transahariano que llega a la Península Ibérica en primavera para reproducirse tras pasar el invierno en África subsahariana (SEO/BirdLife, 2012). Es un insectívoro estricto con una técnica de caza muy especializada: captura insectos voladores realizando vuelos cortos y rápidos desde posaderos prominentes y despejados (ramas secas, vallas o muros), volviendo a menudo al mismo punto (Davies, 1977). Esta exigencia ecológica trófica explica su concentración en la EDAR durante los meses cálidos, donde aprovecha la emergencia continua de dípteros y otros insectos acuáticos sobre las láminas de agua de los reactores biológicos.

La gráfica fenológica (Figura 12) muestra una explosión de cantos durante la primavera y el verano liderada por este insectívoro estricto. Durante el ciclo de 2025, el papamoscas gris alcanzó la extraordinaria cifra de 14.015 cantos validados en este nodo, con un *score* promedio de 0,62 (nivel de confianza medio en la probabilidad de detección) situándose como la quinta especie más abundante de la instalación. Al ser un ave que caza insectos al vuelo desde posaderos, su masiva presencia estival evidencia que el arbolado perimetral y las balsas abiertas de la biofactoría actúan de manera combinada como un área de alimentación crítica durante los meses más cálidos.



Figura 11. Fotografía de un ejemplar de papamoscas gris (*Muscicapa striata*).
Fuente: Macaulay Library / Cornell Lab of Ornithology

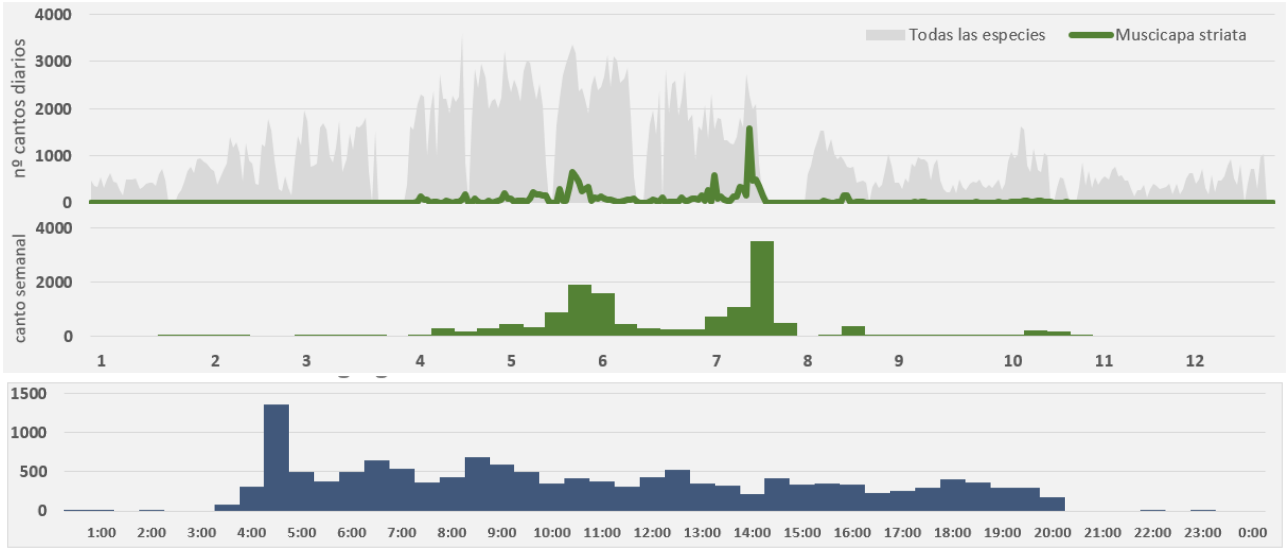


Figura 12. Registros de cantos anuales frente al total de cantos registrados durante el 2025 de papamoscas gris (*Muscicapa striata*) y su actividad horaria.
Fuente: LABAQUA.

4. Conclusiones

El despliegue de la red de Monitorización Acústica Pasiva (PAM) en las instalaciones de Aguas de Murcia durante el periodo 2024-2026 demuestra que la integración de sensores IoT e Inteligencia Artificial constituye una herramienta robusta, eficiente y no invasiva para la gestión del capital natural.

A nivel tecnológico, el sistema ha alcanzado una madurez operativa óptima, lográndose coberturas efectivas superiores al 96% en 2026. La capacidad de procesamiento ininterrumpido ha generado un volumen masivo de datos (más de 2,5 millones de registros acústicos). El establecimiento de un filtrado dinámico basado en el percentil 25 (P25) de cada sensor ha resultado ser una estrategia metodológica clave para equilibrar falsos positivos y negativos, aumentando la calidad estadística del dato frente al ruido industrial de fondo.

Desde una perspectiva ecológica, la monitorización continua ha permitido objetivar el rol de las infraestructuras del ciclo del agua como verdaderos refugios de biodiversidad dentro de ecosistemas altamente antropizados. El análisis de los indicadores de diversidad alfa (riqueza efectiva, Shannon, Gini-Simpson y Pielou) y la identificación de las especies dominantes revelan que cada recinto cumple funciones ecológicas diferentes:

- **ETAP Contraparada:** La presencia constante del martín pescador y de aves ligadas al soto maduro corrobora el éxito de las intervenciones de restauración del bosque de ribera y certifica la calidad del ecosistema acuático asociado.

- **EDAR Murcia Este:** La transición hacia el modelo de "biofactoría" ha consolidado a esta instalación como un refugio para pequeñas aves migratorias. La vegetación perimetral y las láminas de agua actúan sinérgicamente como áreas de alimentación y refugio térmico durante los pasos fenológicos.

El PAM permite caracterizar, documentar y valorizar el capital natural y los servicios ecosistémicos. La cuantificación objetiva y continua de la biodiversidad consigue que trascienda la visión de estas plantas como meras instalaciones industriales, redefiniéndolas como activos estratégicos de capital natural. La abundante presencia de insectívoros o el asentamiento de especies bioindicadores exigentes documentan empíricamente la provisión de servicios ecosistémicos (como el control biológico de plagas o la creación de conectores ecológicos). Esto proporciona al sector del agua métricas tangibles y auditables para integrar la biodiversidad en sus criterios ASG (Ambientales, Sociales y de Gobernanza), reportar su impacto positivo y justificar inversiones en infraestructura verde.

En definitiva, la aplicación de ecoacústica computacional no solo visibiliza de forma transparente el impacto positivo de la gestión sostenible impulsada por Aguas de Murcia, sino que proporciona una línea base científica de gran interés para orientar la toma de decisiones futuras en materia de renaturalización e infraestructura verde urbana.

5. Bibliografía

[1] Asociación de Naturalistas del Sureste (ANSE). (s.f.). *Recuperación del bosque de ribera en Contraparada*. Proyecto Biodiversidad y Aguas de Murcia. Recuperado de https://www.asociacionanse.org/biodiversidad-aguas-de-murcia/acciones-de-conservacion/recuperacion-del-bosque-de-ribera-en-contraparada/

[2] Budka, M., Jobda, M., Szałański, P., & Piórkowski, H. (2022). Acoustic approach as an alternative to human-based survey in bird biodiversity monitoring. *PLOS ONE*, *17*(5), e0266557. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266557

[3] Chester, E. T., & Robson, B. J. (2013). Anthropogenic refuges for freshwater biodiversity: Their ecological characteristics and management. *Biological Conservation*, *166*, 64-75. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.06.016

[4] Confederación Hidrográfica del Segura (CHS). (2023). *La CHS iniciará la recuperación del bosque de ribera del río Segura entre la Contraparada y Ceutí*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.chsegura.es/es/confederacion/prensa-publicaciones-y-difusion/noticias/La-CHS-iniciara-la-recuperacion-del-bosque-de-ribera-del-rio-Segura-entre-la-Contraparada-y-Ceuti/

[5] Davies, N. B. (1977). Prey selection and the search strategy of the Spotted Flycatcher (*Muscicapa striata*): A field study on optimal foraging. *Animal Behaviour*, *25*, 1016-1033. https://doi.org/10.1016/0003-3472(77)90053-7

[6] Gibb, R., Browning, E., Glover-Kapfer, P., & Jones, K. E. (2019). Emerging opportunities and challenges for passive acoustic monitoring in ecology. *Methods in Ecology and Evolution*, *10*(2), 169-181. https://doi.org/10.1111/2041-210X.13101

[7] Green, A. J., & Elmberg, J. (2014). Ecosystem services provided by waterbirds. *Biological Reviews*, *89*(1), 105-122. https://doi.org/10.1111/brv.12045

[8] López-Jiménez, N. (Ed.). (2021). *Libro Rojo de las Aves de España*. SEO/BirdLife. https://seo.org/libro-rojo-2021/

[9] SEO/BirdLife. (2012). *Atlas de las aves en invierno en España 2007-2010*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente-SEO/BirdLife. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/publicaciones/atlas_aves_invierno_tcm30-198034.pdf

[10] Stefanakis, A. I. (2019). The role of constructed wetlands as green infrastructure for sustainable urban water management. *Sustainability*, *11*(24), 6981. https://doi.org/10.3390/su11246981

[11] Stowell, D. (2022). Computational bioacoustics with deep learning: A review and roadmap. *PeerJ*, *10*, e13152. https://doi.org/10.7717/peerj.13152

[12] Tellería, J. L., Pérez-Tris, J., & Ramírez, Á. (2001). Distribución de los petirrojos (*Erithacus rubecula*) invernantes en la Península Ibérica. *Ardeola*, *48*(2), 159-171.

CONAMA 2026