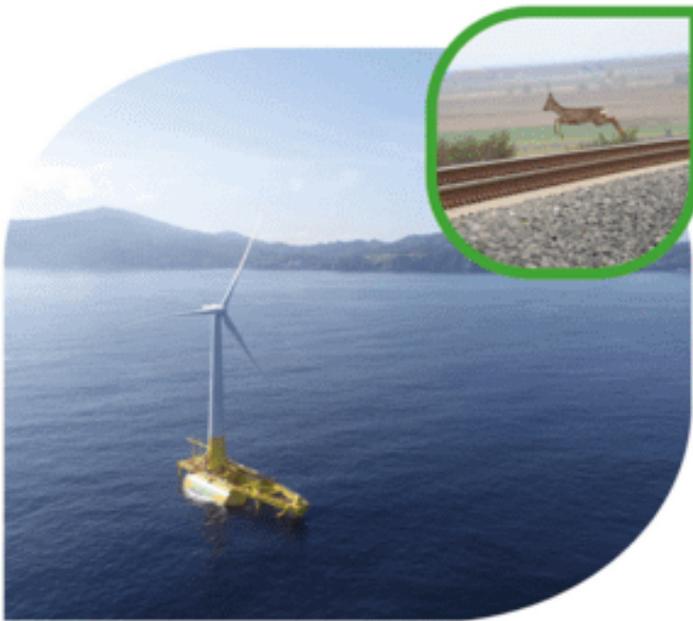


# LIBRO DE ACTAS



## **XII** CONGRESO NACIONAL DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

**Evaluación ambiental como  
garantía de la sostenibilidad  
social, ambiental y económica.**

Palacio de Congresos Europa  
**VITORIA-GASTEIZ**  
**10-12 abril 2024**



## PATROCINADORES ESPECIALES



## PATROCINADORES ORO



EKONOMIAREN GARAPEN,  
JASANGARRITASUN  
ETA INGURUMEN SAILA  
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO  
ECONÓMICO, SOSTENIBILIDAD  
Y MEDIO AMBIENTE



## PATROCINADORES PLATA



## PATROCINADORES BRONCE



## PATROCINADORES ESTAÑO

**BODEGAS ROSARIO VERA   CEDEX   IBERSUN   TRAGSA**

## COLABORADORES



CONEIA 2024

XII CONGRESO NACIONAL DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La Evaluación Ambiental como garantía de la Sostenibilidad Social,  
Ambiental y Económica

Vitoria-Gasteiz, 10, 11 y 12 de abril de 2024

# LIBRO DE ACTAS

*Dedicado a D. Santiago González Alonso*

## XII CONGRESO NACIONAL DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Edición 2024

Este trabajo es una recopilación de las comunicaciones presentadas en el XII Congreso Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (CONEIA 2024), organizado por la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental, y celebrado en Vitoria Gasteiz los días 12, 13 y 14 de abril de 2024.

Congreso certificado ambientalmente



Se han compensado 443 toneladas de CO2 en el término municipal de Segura de la Sierra, Jaén, certificado por Carbon X Engineering Solutions

Edita

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

[www.eia.es](http://www.eia.es)

ISBN 978-84-09-68045-0

Maquetación: Elías Zamora Vázquez



---

# COMITÉS

## COMITÉ ORGANIZADOR

- **Abad García, Jorge.**  
Delegado territorial de Aragón de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Casermeyro Martínez, Miguel Ángel.**  
Secretario de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Castellanos Díez, Mario.**  
SAITEC.
- **Díaz Martín, Manuel.**  
Vicepresidente de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Oyanguren Ureta, Izaskun.**  
Delegada territorial del País Vasco de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Santos Holgueras, Rakel.**  
Delegada territorial del País Vasco de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Sobrini Sagaseta de Ilurdoz, Íñigo.**  
Presidente de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Vázquez Valverde, Ana.**  
Gerente de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.

## COMITÉ CIENTÍFICO

- **Abad García, Jorge.**  
Delegado territorial de Aragón de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Alijarde, Jesús.**  
IBERSYD.
- **Andrés Abellán, Manuela.**  
Delegada territorial de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Arce Ruiz, Rosa.**  
Universidad Politécnica de Madrid.
- **Casermeyro Martínez, Miguel Ángel.**  
Secretario de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Castellanos Díez, Mario.**  
SAITEC.
- **Díaz Martín, Manuel.**  
Vicepresidente de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.

- **González del Campo, Ainhoa.**  
Vocal de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **González López, Juan José.**  
Delegado territorial de Andalucía de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Granero Castro, Javier.**  
Delegado territorial de Asturias de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Iglesias Merchán, Carlos.**  
Universidad Politécnica de Madrid.
- **Martínez Orozco, Juan M.**  
Delegado territorial de Madrid de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Oyanguren Ureta, Izaskun.**  
Delegada territorial del País Vasco de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Peña Rodríguez, Cristina.**  
Universidad del País Vasco.
- **Santos Holgueras, Rakel.**  
Delegada territorial del País Vasco de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Sobrini Sagaseta de Ilurdoz, Íñigo.**  
Presidente de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.

---

# ÍNDICE

# ÍNDICE

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>13</b>
<b>DISCURSO DE APERTURA</b>	<b>16</b>
<b>ACTO DE CLAUSURA</b>	<b>20</b>
<b>BLOQUE 1: ACTUALIZACIÓN MARCO NORMATIVO</b>	<b>24</b>
<i>ESTADÍSTICAS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE LA REGIÓN DE MURCIA</i>	<i>25</i>
<i>ESTANDARIZACIÓN DE INDICADORES SOBRE CUMPLIMIENTO DE CONDICIONADOS DE LA DIA EN VIGILANCIAS AMBIENTALES</i>	<i>32</i>
<i>DESCOMPONENDO DIAS. ANÁLISIS DE DECLARACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL PARA INSTALACIONES SOLARES</i>	<i>43</i>
<b>BLOQUE 2: AVANCES METODOLÓGICOS EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL</b>	<b>51</b>
<i>ANÁLISIS DE LA LEY 21/2013 DE EVALUACIÓN AMBIENTAL Y SU RELACIÓN CON LA ECONOMÍA CIRCULAR</i>	<i>52</i>
<i>IDENTIFLIGHT: INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y 3D PARA EVITAR LA MORTALIDAD DE AVES EN PARQUES EÓLICOS</i>	<i>59</i>
<i>RESTAURACIÓN Y CARBONO AZUL EN ANDALUCÍA: ESTUDIOS DE VIABILIDAD, ANÁLISIS DE PROBLEMAS Y EVALUACIÓN AMBIENTAL</i>	<i>66</i>
<i>DESARROLLO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA LA DOCENCIA EN VIGILANCIA Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL DE OBRAS EN EIA: LAVCAO (LABORATORIO VIRTUAL DE CONTROL AMBIENTAL DE OBRAS)</i>	<i>77</i>
<i>CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA</i>	<i>84</i>
<i>APLICACIÓN DE SISTEMAS DE MODELIZACIÓN HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE PROYECTOS FOTOVOLTAICOS; AFECCIÓN A CAUCES E INCIDENCIA EN EL RÉGIMEN DE CORRIENTES.</i>	<i>89</i>
<i>DIFICULTADES Y FORTALEZAS EN LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIAL DE PROYECTOS DE ENERGÍAS RENOVABLES</i>	<i>97</i>
<i>IMPACTO AMBIENTAL DE INSTALACIONES SOLARES: REPERCUSIONES SOBRE ESPECIES DE AVIFAUNA ESTEPARIA EN CASTILLA-LA MANCHA.</i>	<i>102</i>
<i>INTEGRACIÓN DEL TOPILLO DE CABRERA EN VIGILANCIA AMBIENTAL</i>	<i>115</i>
<i>APLICACIÓN DE MODELOS DE ESTIMACIÓN DE COLISIÓN PARA AVES Y QUIRÓPTEROS EN ESTUDIOS SINÉRGICOS DE INSTALACIONES EÓLICAS</i>	<i>120</i>
<i>PLANES DE VIGILANCIA ADAPTATIVOS COMO HERRAMIENTA PARA MINIMIZAR LA MORTALIDAD DE QUIRÓPTEROS Y MAXIMIZAR LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA</i>	<i>129</i>
<b>BLOQUE 3: VIGILANCIA AMBIENTAL: LAS CLAVES DEL ÉXITO</b>	<b>138</b>
<i>SEGUIMIENTO DE LA EFICACIA DE MEDIDAS CORRECTORAS PARA FAUNA EN INFRAESTRUCTURAS LINEALES DE TRANSPORTE</i>	<i>139</i>
<i>LA ENTOMOFAUNA PARA EL SEGUIMIENTO DE ACTUACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL RÍO MANZANARES</i>	<i>147</i>

<i>METABARCODING: NUEVA HERRAMIENTA BASADA EN ADN PARA EL ESTUDIO DE LA BIODIVERSIDAD. UN CASO PRÁCTICO.</i>	156
<i>SEGUIMIENTO AMBIENTAL DEL PROYECTO DE INSTALACIÓN DE UN HIDROTORNILLO PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO NARCEA (PRESA DE LA FLORIDA, ASTURIAS)</i>	165
<i>LA ECOACÚSTICA APLICADA AL SEGUIMIENTO AMBIENTAL EN LA RESTAURACIÓN DE CANTERAS</i>	177
<i>MEDIDAS PREVENTIVAS Y PRINCIPALES CONDICIONANTES AMBIENTALES DURANTE EL PROCESO DE VACIADO DE EMBALSES. CASO PRÁCTICO</i>	186
<i>NUEVAS METODOLOGÍAS PARA EL SEGUIMIENTO DEL EFECTO BARRERA SOBRE LA FAUNA PROVOCADO POR INFRAESTRUCTURAS LINEALES.</i>	200
<i>MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y REPRODUCCIÓN EX SITU DE FLORA AMENAZADA. TAXÓN ASTRÁGALUS DEVESAE</i>	209
<b>BLOQUE 4: TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO</b>	<b>218</b>
<i>ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA DE LA PLAYA DE NAVIA PARA EL PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO DE DRAGADO DE MANTENIMIENTO DE CALADOS DE LA RÍA (ASTURIAS)</i>	219
<i>CONSIDERACIONES DEL SEGUIMIENTO AMBIENTAL DEL MEDIO MARINO RECEPTOR DEL EFLUENTE DE LA EDAR DE GIJÓN ESTE</i>	227
<b>BLOQUE 5: PLANIFICACIÓN Y TERRITORIO</b>	<b>236</b>
<i>CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE BAJAS EMISIONES EN CIUDADES EUROPEAS: ANÁLISIS DE SU EFICACIA Y ASPECTOS A CONSIDERAR EN SU DISEÑO E IMPLANTACIÓN</i>	237
<i>ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE SISTEMAS PORTUARIOS: CÓMO HA SIDO AFRONTADO EL RETO EN ASTURIAS</i>	247
<i>REFLEXIONES SOBRE EL PROCEDIMIENTO, PRÁCTICA Y PERTINENCIA DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL URBANÍSTICA: TÓPICOS Y REALIDADES</i>	256
<i>EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN POR LLUVIAS TORRENCIALES EN LA CIUDAD DE CALATAYUD (ZARAGOZA)</i>	262
<i>ZONAS DE ACELERACIÓN PARA PROYECTOS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA A PARTIR DE MAPAS DE CAPACIDAD DE ACOGIDA EN EXTREMADURA</i>	270
<i>ZONAS DE ACELERACIÓN PARA PROYECTOS DE ENERGIA EÓLICA: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA A PARTIR DE MAPAS DE CAPACIDAD DE ACOGIDA EN EXTREMADURA</i>	283
<b>BLOQUE 6: OTROS</b>	<b>299</b>
<i>SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE GESTIÓN LUMÍNICA EN PARQUES EÓLICOS: EL CASO DE PARASOL</i>	300
<i>UN CASO DE ESTUDIO DE IMPACTO SOBRE EL PATRIMONIO, LA PSF VILLANUEVA UNO Y EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE MENGACARA (TORREJONCILLO DEL REY, CUENCA)</i>	306
<i>ASPECTOS MÁS RELEVANTES A CONSIDERAR POR LOS PLANES DE VIGILANCIA AMBIENTAL EN FASE DE CONSTRUCCIÓN DE PARQUES EÓLICOS Y PLANTAS SOLARES FOTOVOLTAICAS</i>	313
<i>EL UMBRAL DE NITIDEZ COMO FACTOR DETERMINANTE EN LOS ESTUDIOS DE PAISAJE DE UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA</i>	322
<i>EL ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO Y LA PARTICIPACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN PROACTIVA DEL IMPACTO SOCIAL</i>	331

<i>METODOLOGÍAS PARA LA REALIZACIÓN DE MEDIDAS DE AFOROS PARA LA ADECUACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS Y CÁLCULO DE CURVA DE GASTO</i>	<i>339</i>
<i>SEGUIMIENTO DEL AGUILUCHO CENIZO (CYRCUS PYGARGUS) EN EL COMPLEJO MEDIOAMBIENTAL DE ALMONACID DEL MARQUESADO (CUENCA)</i>	<i>349</i>
<i>PROGRESIÓN DE CONTAMINACIÓN DESDE EL SUBSUELO A LA SUPERFICIE (RESIDUOS INDUSTRIALES DE LA ALMOZARA; ZARAGOZA)</i>	<i>356</i>
<i>EVALUACIÓN AMBIENTAL COMO HERRAMIENTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE ACTIVIDADES DEPORTIVAS EN EL MEDIO NATURAL</i>	<i>364</i>
<i>EL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS ESCUELAS RURALES ANTE EL RETO DEMOGRÁFICO</i>	<i>370</i>
<i>LA EVALUACIÓN AMBIENTAL COMO GARANTÍA DE PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL</i>	<i>375</i>
<i>LA EVALUACIÓN AMBIENTAL COMO HERRAMIENTA DE CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD</i>	<i>382</i>

---

# PRESENTACIÓN

## Presentación

---

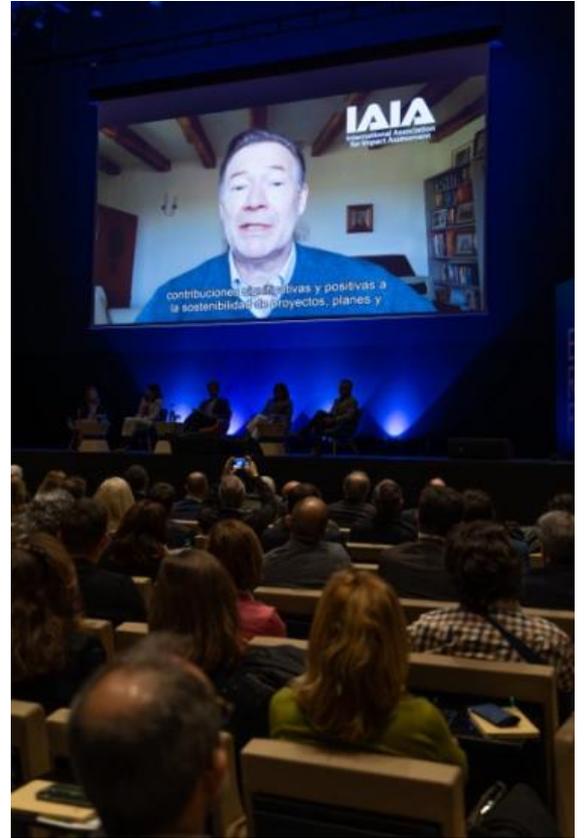
Los días 10, 11 y 12 de abril la **Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental (AEEIA)** organizó el **XII Congreso Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental- CONEIA 2024**, que se ha consolidado como el principal espacio de debates y presentación de cuestiones técnicas del sector en España. La sede seleccionada para la celebración del evento ha sido el Palacio de Congresos Europa de Vitoria-Gasteiz.

En esta edición hemos contado con la asistencia al congreso de casi 550 profesionales. y ha contado con el patrocinio de 27 instituciones, tanto públicas como privadas, de gran relevancia en el sector la evaluación ambiental.

En esta ocasión el lema del congreso ha sido ***La evaluación ambiental como garantía de la sostenibilidad social, ambiental y económica***, y su programa se ha ido elaborando a partir de un proceso participativo abierto a todas las personas interesadas en acudir al congreso. De este modo, durante todo el proceso abierto a la participación se acogieron y validaron 31 sesiones (5 debates, 12 paneles de expertos, 9 sesiones de comunicaciones, 2 mesas redondas y 3 talleres) y se expusieron en el congreso 90 comunicaciones, 45 en formato oral y 45 en formato póster.

La enorme cantidad de asistentes que ha habido en este congreso ha supuesto un gran impulso para que este evento pueda seguir siendo un referente nacional para todos los profesionales implicados en este sector profesional, y queremos agradecer la colaboración, interés y ayuda que hemos recibido de muchas personas que, a título personal, han querido aunar esfuerzos para conseguir el éxito de participación que ha supuesto este CONEIA 2024.

**EVALUACIÓN AMBIENTAL** COMO GARANTÍA DE LA SOSTENIBILIDAD SOCIAL, AMBIENTAL Y ECONÓMICA.



---

# DISCURSO DE APERTURA

## Discurso de apertura

*D. Íñigo Sobrini Sagaseta de Ilurdoz,*

*Presidente de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental*

Directora General de Calidad y Evaluación Ambiental del Gobierno de España; Diputada foral de Sostenibilidad, Agricultura y Medio Natural de la Diputación Foral de Álava; Alcaldesa de Vitoria-Gasteiz; Otras autoridades presentes; estimados asociados de la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental, Señoras y señores,

Ya estamos aquí reunidos para dar comienzo al duodécimo CONEIA - Congreso Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. Me van a permitir que empiece mis palabras dando las gracias al Comité Organizador, que lo ha hecho posible, con Ana Vázquez, Manuel Díaz y Jorge Abad a la cabeza. Ha sido una organización que tengo que confesarles ha supuesto un trabajo enorme, por una serie de motivos sobrevenidos ajenos a nuestra asociación, y porque hemos duplicado el número de asistentes y de contenidos. Manuel, Ana y Jorge son los que se han echado el trabajo a la espalda, asumiendo mucha más tarea de la que les debería haber correspondido. Por eso a los tres, muchísimas gracias. Gracias que hago extensivas al Comité Organizador en su conjunto, y especialmente al Comité local: Raket Santos, Izaskun Oyanguren y Mario Castellanos, muchas gracias a los tres.

Para nuestra Asociación es una satisfacción enorme seguir organizando estos congresos, porque en ellos alcanzamos en plenitud nuestra finalidad, establecida en los estatutos, que no es otra que mejorar la evaluación ambiental como instrumento de protección al servicio de la sociedad. Y lo es de manera especial, si el CONEIA resulta como ha resultado en esta edición, que salta a la vista. La vista de este auditorio con un éxito total de público, que como les decía antes, ha supuesto duplicar el número de asistentes respecto a ediciones anteriores. Por eso, mi siguiente agradecimiento va dedicado a todos ustedes, a todos vosotros, gentes de la evaluación ambiental, que en este evento nos reunimos cada dos años para hablar de nuestras cosas. Para hablar, para debatir, para discutir, a veces incluso polemizar, para compartir nuestras experiencias, para, en suma, aprender unos de otros en los 12 paneles de expertos, 4 mesas redondas y sesiones dinámicas, 5 debates, 3 conferencias magistrales, además de las 90 comunicaciones en formato oral o póster. Como veis, en lo técnico, un programa de lo más completo, gracias a las aportaciones de los asistentes, por cuanto el programa lo habéis configurado vosotros, con vuestras propuestas al Comité Científico. Por supuesto nuestro

agradecimiento también al Comité Científico por su trabajo, en la conformación de este programa, y que sigue más allá de estos días de congreso para continuar con la preparación del Libro de Actas.

Como os decía, se nos ofrece una oportunidad perfecta de aprender unos de otros, y de conocernos mejor. Para ello os animo a aprovechar cada sesión, participando de una manera activa en aquellas a las que asistáis; pero también de las actividades sociales que se han organizado, y que ofrecen una ocasión inmejorable de hacer nuevos contactos, nuevas amistades, y consolidar las que ya tenemos.

Conociendo a las personas los expedientes se tramitan más fáciles, y pasillar en este foro es una ocasión perfecta para ello.

El lema que hemos elegido para esta edición ha sido “La Evaluación Ambiental como garantía de sostenibilidad social, ambiental y económica”. Creíamos que ya nadie dudaba de que efectivamente la evaluación ambiental es la mejor herramienta posible para conseguir que los planes, programas y proyectos que se autorizan, se ejecutan, se explotan y finalmente se desmantelan terminada su vida útil, sean los mejores posibles. Eso no significa, creo que todos lo tenemos claro, que sean de impacto nulo. Pero sí deberíamos ser capaces de lograr que sean los mejores planes, programas, proyectos posibles. Recalco lo de posibles, porque si no son ambientalmente viables, nunca deberían ser posibles. Pero si no son socialmente aceptables, tampoco deberían ser nunca posibles. En el campo de la evaluación de los impactos sociales tenemos aun un trabajo enorme por hacer. Y por supuesto, si no son económicamente rentables, no van a ser tampoco posibles.

Sin embargo, en los dos años que han pasado desde el último CONEIA hemos asistido a intentos de sustituir la evaluación ambiental por otros procedimientos diferentes, supuestamente con igual exigencia medioambiental, y teóricamente más rápidos, pero que han encontrado gran contestación social, también de nuestra Asociación, entre otras cosas porque han dejado fuera la participación pública, que es una de las partes que hacen de la evaluación ambiental la mejor de las herramientas posibles, como la calificaba antes. Pero no nos llamemos a engaño, tenemos que hacer autocrítica; nadie buscaría procedimientos alternativos a la evaluación ambiental si la evaluación ambiental funcionase como debiera. Es decir, si realmente sirviera para mejorar los planes, programas y proyectos y, sobre todo, si este objetivo lo consiguiéramos en plazos razonables, tanto para los promotores, como para los órganos sustantivos y ambientales, y para la sociedad en su conjunto.

No voy a extenderme más, que de todos estos temas vamos a hablar profusamente en los próximos tres días y les invito a que trabajemos todos juntos para buscar soluciones.

No quiero terminar sin antes agradecer a todos los patrocinadores su ayuda, ya sabéis que sin ellos nada de todo esto sería posible: A Iberdrola, Red Eléctrica de España, Endesa, Diputación Foral de Álava, Diputación Foral de Vizcaya, Diputación Foral de Guipúzcoa, al Gobierno Vasco, a la Comunidad de Madrid, la Generalitat de Cataluña, la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha, Acciona, EDP

Renovables, REPSOL, Capital Energy, Naturgy, CEPSA, Statkraft, X-Elio, IBER Sostenibilidad y Desarrollo, Identiflight, Bodegas Rosario Vega, CEDEX, Ibersun y Grupo Tragsa.

También quiero expresar un agradecimiento especial al Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz por este maravilloso Palacio de Congresos Europa que ha puesto a nuestra disposición. Quiero destacar que este Palacio de Congresos Europa es un edificio sostenible, reconocido con varios premios y certificados; por ello hemos conseguido en esta edición del CONEIA el certificado con el sello "*Erronka Garbia*" (Reto Verde) de IHOBE, que tiene como objetivo reducir los impactos medioambientales negativos del evento. Quien mejor que nosotros que nos dedicamos a los impactos medioambientales para aplicar a este sello. Los asistentes sois también parte de esta certificación, por lo que os invitamos a que toméis este compromiso de forma activa. En el programa interactivo tenéis algunas recomendaciones para ello.

Por último, para terminar mi intervención, quería dedicar un emotivo recuerdo con el homenaje de la Asociación a uno de los padres de la Evaluación Ambiental en España, que lamentablemente nos ha dejado este pasado mes de febrero. Me refiero a Santiago González Alonso, Santi, cuyo empuje fue determinante para la aprobación de la primera ley de evaluación de impacto ambiental de 1986. Desde su cátedra en el departamento de Planificación y Proyectos de la Universidad Politécnica de Madrid nos enseñó a muchos de los que hoy estamos aquí, para los que fue un maestro no solo de evaluación ambiental, si no de vida. Les anunció que a él irá dedicado el Libro de Actas de esta edición.

Y sin más que añadir, damos por inaugurada esta edición del CONEIA y concluido este Acto de Apertura.

Muchas gracias a todos.

---

# ACTO DE CLAUSURA

## Acto de clausura - Conclusiones

---

### GENERALES

- Es urgente una mayor coordinación interadministrativa para reducir los plazos y mejorar la calidad de la EA, reduciendo el tiempo medio mediante esfuerzos concentrados de todas las partes interesadas, y reflexionando sobre las posibles modificaciones legales.
- Emplear la evitación, mitigación y restauración a fondo es el camino más rápido para el éxito del plan o proyecto, porque tendrá menos impactos residuales y por tanto menos dificultades en su tramitación ambiental. No en todos los casos se realiza el esfuerzo adecuado en este sentido. Es necesario medir y compartir la eficacia real de todas las medidas.
- Considerar los servicios ecosistémicos en la evaluación ambiental identifica los beneficios que producen los planes y proyectos, mejorando los procesos de participación ciudadana.

### SEGUIMIENTO Y VIGILANCIA AMBIENTAL

- Valorar la eficacia de las medidas planteadas y su posible revisión en el caso de que los resultados del seguimiento no sean los esperados.
- Reducir la incertidumbre en la toma de decisiones del órgano ambiental.
- Retroalimentar una fuente de información que puede ser útil para posteriores evaluaciones, tanto de cara al inventario ambiental como a los seguimientos. Dicha retroalimentación puede ser de utilidad para el promotor ya que reducirá los estudios de impacto ambiental al análisis de los factores que se den realmente afectados en cada tipo de proyecto.
- Esto será de utilidad para el órgano sustantivo, ya que le permitirá monitorizar el cumplimiento de las medidas y condiciones de seguimiento del plan o proyecto.
- Las herramientas tecnológicas y digitalización de los procesos de vigilancia ambiental generan nuevas oportunidades de aprendizaje y control de las instalaciones de forma más eficaz y eficiente económica y ambientalmente.
- La vigilancia ambiental realizada con rigor y ampliando la perspectiva del mero cumplimiento genera oportunidades de mejora de la biodiversidad en los entornos donde se realizan los proyectos.
- Los pasos de fauna en infraestructuras lineales deben adaptarse a la biodiversidad del entorno, verificando si es más efectivo realizar muchas pequeñas actuaciones combinadas con pocas muy grandes.

### **MEDIDAS COMPENSATORIAS**

- Se considera lo más eficiente y más eficaz en términos de biodiversidad la concentración de las medidas de compensación de varios proyectos.
- La estandarización y normalización de medidas compensatorias es necesaria, así como la necesidad de enfocarlas a todos los factores de impacto significativos.
- El liderazgo y coordinación de la implementación de las medidas de compensación debería ser impulsado por las Administraciones.
- Se considera deseable que, para la compensación de impactos residuales sobre avifauna, se priorice la eliminación de riesgos sobre la fauna de infraestructuras preexistentes en ese territorio.
- La aplicación de las medidas compensatorias debe seguir hasta que se consiga el objetivo de conservación deseado.

### **TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y TERRITORIO**

- La transición energética ha venido para quedarse, pero no puede hacerse de arriba abajo, sino con la participación de todos los agentes.
- Es imprescindible tener un diálogo con el territorio, y no solo en las informaciones públicas de la evaluación de impacto ambiental.
- La implantación de renovables que se ha hecho hasta ahora nos ha permitido acumular buenas y malas prácticas, que deben servirnos para una mejora de los procesos.
- El éxito de las energías renovables dependerá de que proporcione oportunidades para el desarrollo rural de la España vaciada.

### **DOCENCIA**

- La dedicación (ECTS) a la EA en los planes de estudio universitarios de titulaciones estrechamente relacionadas con esta disciplina es, en general, muy deficitaria.
- Se presenta una gran dificultad para trasladar problemas reales y complejos a las aulas universitarias.
- Se considera conveniente dinamizar la Comisión de Docencia de la AEEIA y fomentar la interacción entre los ámbitos académico, profesional y de la Administración a través de la propia AEEIA.

## URBANISMO SOSTENIBLE

- La evaluación ambiental de los proyectos de urbanización garantiza que se crea ciudad cuidando una ejecución de las obras sostenible en cuanto al cambio climático, drenaje urbano, calidad acústica etc.
- La EAE es una herramienta fundamental para avanzar hacia un urbanismo sostenible, garantizando la salud de las personas.

## I+D+i

- El procedimiento de EA es precursor de la I+D+i en las diferentes fases del desarrollo de proyectos. Las fases de obra y explotación plantean retos de investigación e innovación tecnológica que implican mejoras sustanciales y nuevas metodologías en seguimientos ambientales y gestión de la información.
- Las nuevas técnicas de biología molecular como el ADN ambiental o el metabarcoding, abren nuevos caminos innovadores en cuanto al seguimiento de la biodiversidad.
- Es prioritario automatizar y digitalizar el proceso de evaluación para tomar decisiones más efectivas y optimizar la sostenibilidad del plan o proyecto en cualquier fase de su ciclo de vida, todo ello a través de la investigación y el desarrollo de nuevos productos físicos y digitales innovadores.

## ASPECTOS ECONÓMICOS

- La ejecución administrativa de las leyes, la toma de datos y seguimiento de indicadores para el aprendizaje y evaluación de la política pública es un elemento fundamental en los procesos de EA y desarrollo de condicionados ambientales.
- La incertidumbre se traduce en riesgo y en ocasiones en cancelación de operaciones. Desde la perspectiva de inversión, la incertidumbre en los condicionados ambientales puede llegar a condicionar en mayor medida un proyecto que una DIA negativa.
- Proporcionaría mayor seguridad disponer de herramientas de análisis ex ante y de diálogo abierto con los promotores para una gestión económicamente más eficiente en los procesos de evaluación y certidumbre en la emisión y seguimiento de los condicionados ambientales.

# BLOQUE 1

---

## ACTUALIZACIÓN MARCO NORMATIVO

## ESTADÍSTICAS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE LA REGIÓN DE MURCIA

Diez de Revenga Martínez, E.; Costa Pes, F.; Martínez Pedrero, M.; Ruiz Sánchez, M.

Ambiental, S.L., [emilio.diezderevenga@ambiental-sl.es](mailto:emilio.diezderevenga@ambiental-sl.es), Murcia, España

**Palabras clave:** Evaluación ambiental; Estadísticas; Región de Murcia.

### Resumen

Participación y transparencia son principios esenciales de la evaluación ambiental. Asimismo, su duración (con frecuencia sustancialmente mayor que el plazo legal) es uno de sus aspectos más controvertidos según los sectores económicos. Sin embargo, aunque este complejo procedimiento lleva aplicándose en España más de 25 años, es casi imposible encontrar estadísticas oficiales sobre el número de proyectos sometidos a una evaluación ambiental y su desglose por categorías de proyectos, así como la duración media del proceso de evaluación ambiental. En el presente trabajo se han elaborado estadísticas en el ámbito de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, diferenciando entre las distintas fases del proceso. Los resultados ponen de manifiesto la necesidad de incrementar muy sustancialmente los esfuerzos por todos los actores involucrados para reducir el plazo medio de resolución.

### Introducción

Entre los principios a que se sujetarán los procedimientos de evaluación ambiental según el art. 2 de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental (1), se encuentran la *participación pública* (que incluye el concepto de transparencia) y la *racionalización, simplificación y concertación* de los procedimientos de evaluación ambiental. Es evidente que tanto uno como otro principio exigen para su implementación efectiva la elaboración de estadísticas oficiales sobre este procedimiento administrativo.

Sin embargo, no ha sido hasta recientemente cuando, a través de la trasposición de la Directiva 2014/52/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE (2), se incluyen por primera vez en las normas estatales españolas obligaciones estadísticas, en la Disposición adicional tercera sobre Obligaciones de información, de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre:

“el Ministerio (...) remitirá a la Comisión Europea, cada seis años contados a partir del 16 de mayo de 2017, información sobre:

- a) El número de proyectos y desglose por categorías de proyectos previstas en los anexos I y II.
- b) El número de proyectos sometidos a evaluación de impacto ambiental simplificada.
- c) La duración media del proceso de evaluación de impacto ambiental.

A la fecha de elaboración de la presente comunicación y a pesar de las indagaciones realizadas, no se tienen noticias de la elaboración y/o publicación de esta información por las Administraciones estatal y autonómicas responsables, siendo que el plazo otorgado (16 de mayo de 2023) ya ha sido ampliamente rebasado. Tampoco la página web de la Comisión Europea incluye información al respecto.

### **Material y Métodos**

En primer lugar, se descargaron en junio de 2023 los datos de la web oficial (3), que recogía sistemáticamente los expedientes desde 2020 y algunos de años anteriores hasta 2016, procediéndose a su clasificación en las 4 categorías principales de la Ley 21/2013: Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) simplificada, EIA ordinaria, Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) simplificada, y EAE ordinaria. En segundo lugar, se procedió a la depuración de datos (fechas erróneas, etc.). En tercer lugar, se realizó el cálculo de tiempo entre hitos: Inicio solicitud-entrada órgano ambiental; -inicio consultas; -registro de informes recibidos; -resolución ambiental. Finalmente, se procedió a la elaboración de las estadísticas: nº de registros para cada ítem, promedio y desviación standard.

Hay que hacer constar expresamente las limitaciones del presente trabajo debido a las siguientes circunstancias:

- a) Datos limitados en número y recientes (bastantes expedientes aún en tramitación, no cerrados), así como existencia de expedientes antiguos que sesgan la distribución de los tiempos medios.
- b) No se incluyen de los periodos de suspensión del procedimiento imputables al promotor. Este aspecto es muy importante, ya que una parte significativa de los retrasos no es pues imputable a las Administraciones concernidas, sino al propio promotor, por ejemplo, por una deficiente presentación inicial de la documentación técnica, ausencia de solicitud de inicio o de la adecuada información cartográfica digital, ausencia de pago de tasas, etc.
- c) No se han chequeado los datos y la metodología con el órgano ambiental que los ha publicado.
- d) Existencia de ambigüedad en algunos registros (por ejemplo, la misma identificación para distintos informes).
- e) La página web de donde se extrajeron los datos se inició justo en periodo COVID (situación anormal) y coincidiendo con una reorganización del órgano ambiental autonómico.

## Resultados

Las tablas siguientes muestran los resultados obtenidos:

<b>EIA<sub>Ord</sub></b>	Inicio solicitud y entrada Organo Ambiental	Entrada Organo Ambiental e inicio consultas	DIR. GRAL. MEDIO NATURAL	SUB GRAL PATRIMONIO NATURAL Y C. CLIMÁTICO	SUB GRAL POLÍTICA FORESTAL	C. HIDROG. SEGURA	DIR. GRAL. PATRIM. CULTURAL	DIR. GRAL. TERRITORIO	Entrada Organo Ambiental y Resolución Ambiental
Nºobservaciones	9	2	1	1	5	7	5	7	11
Promedio (días)	74	191	21	188	18	140	51	160	541
Desviación estándar	66	57	0	0	15	70	34	81	178
<b>EIA<sub>Sim</sub></b>	Inicio solicitud y entrada Organo Ambiental	Entrada Organo Ambiental y inicio consultas	DIR. GRAL. MEDIO NATURAL	SUB GRAL PATRIMONIO NATURAL Y C. CLIMÁTICO	SUB GRAL POLÍTICA FORESTAL	C. HIDROG. SEGURA	DIR. GRAL. PATRIM. CULTURAL	DIR. GRAL. TERRITORIO	Entrada Organo Ambiental y Resolución Ambiental
Nºobservaciones	73	44	34	25	27	55	65	69	39
Promedio (días)	109	183	123	118	17	124	59	126	698
Desviación estándar	90	107	74	77	29	80	47	71	233

Tabla 1. Estadísticas para la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), ordinaria y simplificada

<b>EAE<sub>Ord</sub></b>	Inicio solicitud y entrada Organo Ambiental	Entrada Organo Ambiental e inicio consultas	DIR. GRAL. MEDIO NATURAL	SUB GRAL PATRIMONIO NATURAL Y C. CLIMÁTICO	SUB GRAL POLÍTICA FORESTAL	C. HIDROG. SEGURA	DIR. GRAL. PATRIM. CULTURAL	DIR. GRAL. TERRITORIO	Entrada Organo Ambiental y Resolución Ambiental
Nºobservaciones	20	19	7	13	11	19	19	23	9
Promedio (días)	102	141	111	60	25	93	66	85	531
Desviación estándar	104	92	55	48	27	67	40	78	235
<b>EAE<sub>Sim</sub></b>	Inicio solicitud y entrada Organo Ambiental	Entrada Organo Ambiental y inicio consultas	DIR. GRAL. MEDIO NATURAL	SUB GRAL PATRIMONIO NATURAL Y C. CLIMÁTICO	SUB GRAL POLÍTICA FORESTAL	C. HIDROG. SEGURA	DIR. GRAL. PATRIM. CULTURAL	DIR. GRAL. TERRITORIO	Entrada Organo Ambiental y Resolución Ambiental
Nºobservaciones	40	30	12	15	16	20	24	35	18
Promedio (días)	61	252	104	63	20	221	72	127	758
Desviación estándar	71	73	50	33	32	106	48	100	322

Tabla 2. Estadísticas para la Evaluación Ambiental Estratégica(EAE), ordinaria y simplificada

## Diferencia de tiempo entre EIA ordinarios y simplificados

- Inicio solicitud y entrada Organo Ambiental
- Entrada Organo Ambiental e inicio consultas
- DIRECCIÓN GRAL DE MEDIO NATURAL
- SUB GRAL PATRIMONIO NATURAL Y CAMBIO CLIMÁTICO
- SUB GRAL DE POLÍTICA FORESTAL
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA
- DIRECCIÓN GENERAL DE PATRIMONIO CULTURAL
- DIRECCIÓN GENERAL DEL TERRITORIO Y ARQUITECTURA
- Entrada Organo Ambiental e Informe Ambiental

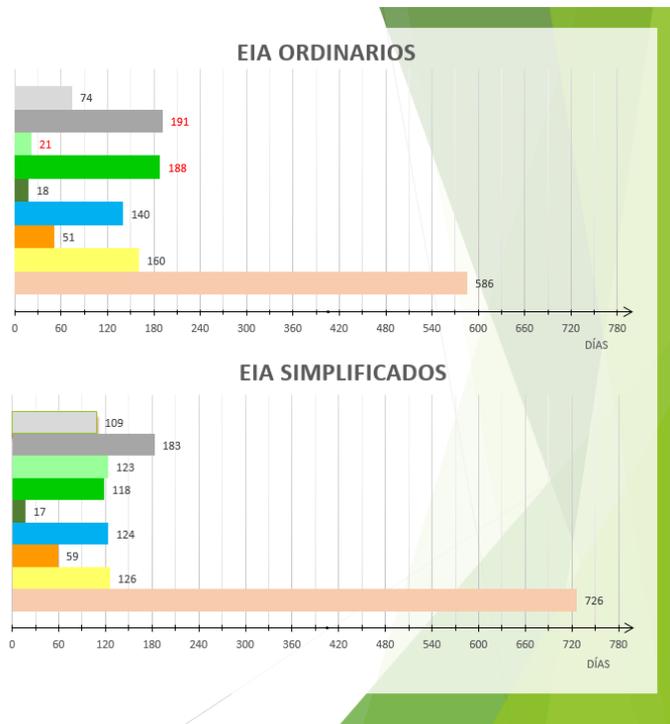


Figura 1. Comparación entre EIA ordinaria y simplificada.

## Diferencia de tiempo entre EAE ordinarias y simplificadas

- Inicio solicitud y entrada Organo Ambiental
- Entrada Organo Ambiental e inicio consultas
- DIRECCIÓN GRAL DE MEDIO NATURAL
- SUB GRAL PATRIMONIO NATURAL Y CAMBIO CLIMÁTICO
- SUB GRAL DE POLÍTICA FORESTAL
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA
- DIRECCIÓN GENERAL DE PATRIMONIO CULTURAL
- DIRECCIÓN GENERAL DEL TERRITORIO Y ARQUITECTURA
- Entrada Organo Ambiental y Declaracion Ambiental Estrategica

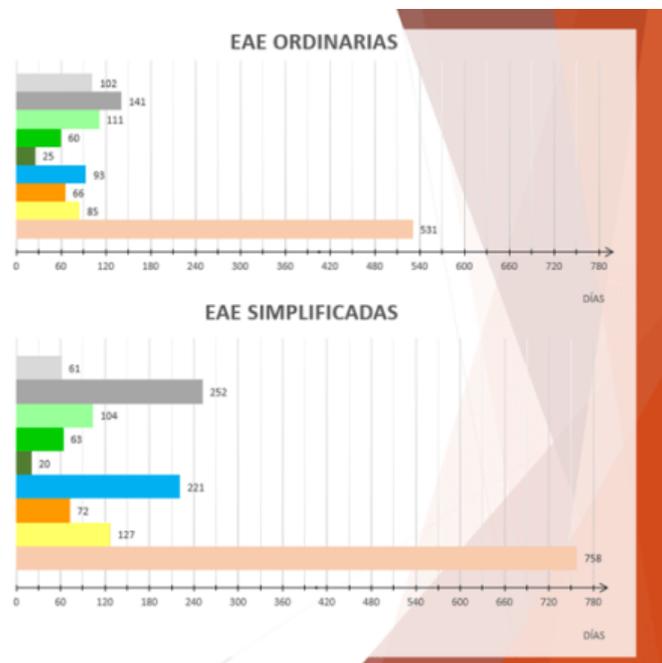


Figura 2. Comparación entre EAE ordinaria y simplificada.

Los tiempos medios obtenidos en esta investigación son muy superiores a los publicados para 9 Comunidades Autónomas en el Libro Blanco de la evaluación ambiental en España publicada en 2013 (4), llamando en particular la atención la enorme diferencia en las evaluaciones simplificadas, tanto de proyectos como de planes:

Días	Libro Blanco (2013)	Comunidad de Murcia
EIA ordinaria	379	541
EIA simplificada	139	698
EAE ordinaria	336	531
EAE simplificada	128	758

Tabla 3. Comparación de tiempos medios entre el Libro Blanco (2013) y esta investigación.

Otro resultado muy llamativo es que la duración de la evaluación ambiental simplificada en esta investigación sea incluso superior a la evaluación ambiental ordinaria.

El procedimiento más importante y estadísticamente significativo es la *evaluación simplificada*, tanto de impacto como estratégica, considerando especialmente relevante esta segunda, ya que incluye la mayor parte de los planes urbanísticos y sus modificaciones:

El tiempo medio entre que el órgano ambiental recibe el Plan y se piden los informes (consultas) asciende a 252 días en promedio (o sea, 8,4 meses).

El informe que en promedio más se retrasa es el correspondiente al órgano de Cuenca, que tarda de media otros 221 días (7,4 meses).

Si se añade el tiempo entre el informe sectorial más tardío y la resolución final (Informe Ambiental Estratégico), en total todo el procedimiento de EAE simplificada tarda, en promedio, 758 días (= más de 25 meses o más de 2 años).

Grosso modo, el proceso se reparte en tres fases con una duración más o menos similar:

- 1º) Validación de la documentación (subsanción deficiencias, tasas) e inicio de las consultas.
- 2º) Respuesta a las consultas (departamentos “retrasadores”).
- 3º) Elaboración del Informe Ambiental Estratégico.

Es decir, 8 meses aproximadamente cada una de las fases, por tres fases, en total pues dos años. La Ley 21/2013 establece en tres meses contados desde la recepción de la solicitud de inicio y de los documentos que la deben acompañar.

## Discusión y Conclusiones

Aunque este complejo procedimiento lleva aplicándose en España más de 25 años, la ausencia de estadísticas oficiales sobre el número de proyectos sometidos a una evaluación ambiental y su desglose por categorías de proyectos, así como la duración media del proceso de evaluación ambiental, compromete seriamente el cumplimiento de los principios de participación pública, transparencia y racionalización. Los esfuerzos conocidos hasta la fecha por disponer de información estadística a este respecto han sido principalmente realizados por la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental (4), mediante el tratamiento estadístico de cuestionarios remitidos a las Comunidades Autónomas.

Las principales consecuencias de la elevada duración media de las evaluaciones ambientales en España según perciben tanto promotores como medios de comunicación y la sociedad en general, es la “fuga” de la evaluación, entendida como el esfuerzo por evitarla bajo el argumento de las repercusiones económicas de los retrasos, así como una errónea percepción social como un procedimiento meramente “burocrático”.

Es necesario pues incrementar muy sustancialmente los esfuerzos por todos los actores involucrados (autoridades y empleados públicos de órganos ambientales, sustantivos y administraciones consultadas, promotores y consultores) para reducir el plazo medio de resolución de las evaluaciones ambientales. Aunque es evidente la especial responsabilidad en este reto de los órganos ambientales, sería injusto e incierto obviar que el resto de actores, en especial los órganos sustantivos, son también responsables en una medida significativa de esta situación.

Entre las propuestas que podrían reducir los plazos señalaremos: conceder prioridad política al cumplimiento de los plazos legales, mediante planes específicos de organización de las administraciones involucradas; estabilidad de las plantillas de los técnicos evaluadores; facilitar la comunicación directa y transparente de éstos con consultores y promotores; ajustar la amplitud de las consultas e identificar previamente la relevancia de los informes requeridos a efectos ambientales, entre otras.

**Referencias / Bibliografía:**

- (1) <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-12913>
- (2) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:02011L0092-20140515>
- (3) <https://calidadambiental.carm.es/evaluacion/>
- (4) Casermeiro, M.A. et al 2013. Libro blanco de la evaluación ambiental en España. Asociación Española de Evaluación Ambiental. Madrid, 85 pp. Capítulo 5.5. ANÁLISIS TEMPORAL DE LOS PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL. <https://www.eia.es/libro-blanco-evaluacion-ambiental-en-espana/>

Francesco Costa Pes participó en el presente trabajo como parte de su estancia en AMBIENTAL S.L. dentro del Programa europeo *Erasmus+ Traineeship*, financiado por la Comisión Europea.

## **ESTANDARIZACIÓN DE INDICADORES SOBRE CUMPLIMIENTO DE CONDICIONADOS DE LA DIA EN VIGILANCIAS AMBIENTALES**

*Santiago Rodríguez, A.; Muñoz-García, V.; Jurado Bello, C.; Martín Conde, A.*  
Iber Sostenibilidad y Desarrollo, [proyectos@ibersyd.com](mailto:proyectos@ibersyd.com), Zaragoza, España.

**Palabras clave:** Vigilancia ambiental; Estandarización; Indicadores ambientales y sociales; Grado de cumplimiento; Calidad ambiental.

### **Resumen**

Ante la falta de estandarización de controles en vigilancia ambiental entre comunidades autónomas y consultoras, y con el objeto de encontrar indicadores que puedan fácilmente comparar el grado de cumplimiento de los proyectos, se propone una metodología estandarizada para el seguimiento de vigilancia ambiental, que permite cuantificar el grado de cumplimiento de los condicionados ambientales.

La propuesta se recoge en una tabla donde se desglosan grupos de actuaciones de control, considerando los agentes del medio afectados. A su vez se han establecido indicadores en cada grupo ambiental y social. Se comparará el número condicionados y los que se están cumpliendo. Las incidencias leves, graves y no conformidades sin resolver serán una reducción de puntuación de cada indicador.

Con esta metodología se obtiene un porcentaje que permite valorar la calidad del cumplimiento de los condicionados revisados en la vigilancia ambiental en los proyectos.

### **Introducción**

Los seguimientos de vigilancia ambiental llevados a cabo en los proyectos de energía renovable, tienen la finalidad de realizar un control del correcto cumplimiento de los condicionados exigidos en las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA), así como de otras resoluciones sectoriales y medidas contenidas en los estudios de impacto ambiental.

Para establecer una relación entre los órganos ambientales y sustantivos con el seguimiento ambiental de los parques de las empresas promotoras, la DIA suele exigir la redacción de informes de seguimiento. Además, cabe señalar que este condicionado presenta mucha variabilidad en cuanto a la periodicidad de redacción exigida e incluso en cuanto a su contenido mínimo.

La finalidad de estos informes debe ser la fácil comprensión del estado de un proyecto mediante la comprobación del grado de cumplimiento de los condicionados y la calidad de cumplimiento de estos condicionados en la vigilancia ambiental llevada a cabo. Sin embargo, dado que suelen ser documentos extensos y densos, se dificulta la fácil determinación del grado de cumplimiento la DIA, así como de la calidad y eficacia de las medidas que se llevan a cabo. Esta variabilidad se debe a la falta de estandarización en los controles de vigilancia ambiental que, a su vez, deriva en una imposibilidad de comparación del grado de cumplimiento de los condicionados de la DIA entre proyectos por parte de los órganos ambiental y sustantivo.

Así como para la toma de datos de, por ejemplo, la mortalidad de fauna en los parques eólicos, sí suele haber metodologías de seguimiento estandarizadas destaca que, para la toma de datos y el seguimiento ambiental de estos mismos proyectos, no se hayan determinado unas pautas de seguimiento unificadas.

Por todo ello, el presente estudio propone una metodología de estandarización de la vigilancia ambiental, con el objetivo de poder determinar tanto el grado de cumplimiento de los condicionados de la DIA como la calidad de cumplimiento de estos condicionados en las tareas de vigilancia ambiental.

## **Material y Métodos**

Se ha analizado el contenido de diversas declaraciones de impacto ambiental de varias Comunidades Autónomas, diversos estudios de impacto ambiental e incluso resoluciones sectoriales de varios proyectos con la intención de extraer los condicionados y medidas más generales. Posteriormente, estas medidas se han asociado a un indicador ambiental dentro de un grupo de control ambiental.

Se define como grupo de control a cada uno de los agentes del medio que se consideran y controlan durante la vigilancia ambiental. Dentro de cada grupo de control se definen a su vez una serie de indicadores ambientales. Estos indicadores ambientales son herramientas de medición que proporcionan información cualitativa y cuantitativa sobre el estado y la calidad del medio ambiente en un momento y proyecto determinados. Los indicadores ambientales cuantifican el grado de cumplimiento de los condicionados ambientales definidos en la DIA.

Así bien, se han determinado 13 grupos de control, dentro de los cuales se han clasificado 24 indicadores ambientales distintitos que se asociarán a los condicionados de una DIA según su tipología (*Tabla 1*).

Grupo de control	Indicadores ambientales	Grupo de control	Indicadores ambientales
GEOLOGÍA, SUELOS Y EROSIÓN	Cumplimiento medidas erosión, compactación y contaminación	ATMÓSFERA	Cumplimiento medidas polvo
	Cumplimiento medidas de restauración de las áreas degradadas		Cumplimiento medidas ruido y vibraciones
AGUAS	Cumplimiento medidas calidad de las aguas	INCENDIOS	Cumplimiento medidas preventivas contra incendios
	Cumplimiento de las medidas para la correcta escorrentía superficial y subterránea de las aguas	FAUNA	Cumplimiento medidas preventivas y correctoras para evitar molestias y/o mortalidad de la fauna
	Cumplimiento medidas de restauración de las áreas degradadas		Cumplimiento de la correcta gestión de los cadáveres faunísticos detectados
Cumplimiento medidas preventivas para evitar vertidos y residuos	Cumplimiento medidas minimización de mortalidad de fauna en PE		
RESIDUOS	Cumplimiento medidas preventivas y correctoras para evitar residuos de construcción y demolición y/o peligrosos y no peligrosos (almacenaje, separación, etiquetado, punto limpio...)	COLISIÓN Y ELECTROCUCIÓN	Cumplimiento medidas preventivas y/o de mantenimiento para evitar la colisión y electrocución
	Cumplimiento correcta gestión de residuos (comunicaciones administración, gestor de residuos, etc.)	COMPENSATORIAS	Cumplimiento medidas compensatorias
	Cumplimiento medidas de restauración de las áreas degradadas	INFRAESTRUCTURAS	Cumplimiento de las especificaciones de las infraestructuras del proyecto
VEGETACIÓN Y PAISAJE	Cumplimiento medidas preventivas para evitar la afectación a la vegetación natural y paisaje	POBLACIÓN	Cumplimiento medidas protección población
	Cumplimiento especificaciones pantalla vegetal	PATRIMONIO	Cumplimiento medidas patrimonio
		DOCUMENTACIÓN	Cumplimiento en la recopilación y/o redacción de informes exigidos por la administración o la normativa vigente

*Tabla 1. Relación entre grupos de control e indicadores ambientales.*

Una vez definidos los condicionados ambientales dentro de cada indicador ambiental, se procede a la realización del seguimiento de la vigilancia ambiental. Para valorar el **grado de cumplimiento de los condicionados**, primero se debe determinar en cada visita de vigilancia si se cumplen o no los condicionados determinados por la DIA del proyecto.

El cumplimiento de una medida dará como resultado una puntuación comprendida entre el 0% y el 100%, que servirá para calificar el grado de cumplimiento del indicador ambiental al que está asociado el condicionado. De la misma forma, la puntuación media de los indicadores ambientales proporcionará el grado de cumplimiento del grupo control al que pertenecen estos indicadores. Con la media de todos los porcentajes de cumplimiento de los grupos de control, se obtendrá un porcentaje de puntuación total del grado de cumplimiento general de los condicionados ambientales de un proyecto.

Una vez obtenido el grado de cumplimiento de los condicionados, se evalúa la **calidad del cumplimiento de los condicionados revisados durante la vigilancia ambiental** que se está llevando a cabo en un proyecto. Para ello, en el caso del incumplimiento de un condicionado y su indicador

ambiental asociado, se deberá valorar la apertura de una incidencia leve, grave o no conformidad, que restará una nota del 5%, 10% o 25% respectivamente, al grado de cumplimiento de la medida.

Finalmente, dentro de esta propuesta metodológica se ha querido diferenciar la importancia de cumplimiento según los criterios de importancia que dictamine la DIA. Es por ello por lo que algunos condicionados se marcarán como “Medida crítica” y se le aplicará una ponderación mayor que al resto de medidas. El incumplimiento de las medidas críticas se verá reflejado en una mayor disminución de la calidad del cumplimiento de los condicionados ambientales.

Para poder aplicar esta metodología en los trabajos de vigilancia ambiental se ha desarrollado un panel web interactivo a través de la plataforma Smartsheet, donde poder volcar los datos obtenidos de las visitas de vigilancia ambiental. En él se ha creado un formulario en el cual, en cada visita, el técnico encargado de la vigilancia introducirá, en tiempo real, parámetros tales como el número de la visita, la fecha en la que se realiza la visita, los técnicos responsables de la vigilancia, la persona supervisora del proyecto, el condicionado supervisado (previamente asociado a su indicador ambiental y su grupo de control) y apertura o no de incidencia leve, grave o no conformidad. Además, también se podrán adjuntar los comentarios y archivos (tanto documentos como imágenes) necesario para complementar el volcado de datos de la visita pertinente (*Figura 2*).

The form is divided into two main columns. The left column contains input fields for: 'Nº VISITA \*' (text box), 'TÍTULO \*' (dropdown menu with 'Seleccionar'), 'PROYECTO \*' (dropdown menu), 'PERSONA QUE REALIZA \*' (dropdown menu with 'Seleccionar o ingresar valor'), 'PERSONA QUE SUPERVISA' (text box), and 'FECHA REALIZACIÓN \*' (calendar icon). The right column contains six checkboxes for incident types: 'INCIDENCIA LEVE ABIERTA', 'INCIDENCIA GRAVE ABIERTA', 'NO CONFORMIDAD ABIERTA', 'INCIDENCIA LEVE CERRADA', 'INCIDENCIA GRAVE CERRADA', and 'NO CONFORMIDAD CERRADA'. Below these is a large text area for 'OBSERVACIONES'. At the bottom right, there is a section for 'Carga de archivos' with the instruction 'SIEMPRE que se detecte NO CONFORMIDAD O INCIDENCIA adjuntar imagen' and a dashed box for file upload with the text 'Arrastre y suelte archivos aquí o Cargar'. A blue 'Remitir' button is located at the bottom center.

*Figura 2. Formulario de Smartsheet para el volcado de datos de la vigilancia ambiental.*

Todo ello dará lugar a una serie de gráficas con la evolución en el tiempo de la vigilancia ambiental del proyecto.

## Resultados

### ❖ Grado de cumplimiento de los condicionados

El volcado de datos según esta propuesta metodológica descrita, resulta en la obtención de porcentajes de cumplimiento, gráficas de seguimiento y evolución en el tiempo.

Se propone un ejemplo explicativo, referente a la DIA de un parque solar, donde se exige el cumplimiento de tres condicionados dentro del grupo de control Fauna: Medida 1 “Balizamiento de las áreas de mayor interés para su conservación y protección”; Medida 2 “Se reducirán las acciones ruidosas y molestas durante los principales periodos de nidificación y presencia de las especies de avifauna amenazada”; y Medida 3 “Censo de alondra ricotí en época reproductora para verificar la presencia de la especie”.

Las medidas 1 y 2 están asociadas al indicador ambiental de fauna 1 “*Cumplimiento medidas preventivas y correctoras para evitar molestias y/o mortalidad de la fauna*”, mientras que la medida 3 está asociada al indicador ambiental de fauna 2 “*Cumplimiento de la realización de seguimientos de fauna y/o flora*”.

En este supuesto, el indicador ambiental de fauna 1 tiene un porcentaje de cumplimiento del 50% ya que se cumple la medida 1 (100% grado de cumplimiento) pero no la medida 2 (0% grado de cumplimiento). Por otro lado, el indicador ambiental 2 tiene un porcentaje de cumplimiento del 100% ya que se cumple la medida 3. El cómputo total del grado de cumplimiento del grupo de control Fauna será por tanto del 75%. En caso de que se cumplieran las tres medidas, ambos indicadores tendría un 100% como se muestra en la gráfica de la esquina izquierda inferior de la *Figura 3*.

La suma de todos los porcentajes de cumplimiento de los grupos de control dará lugar a una nota media global del proyecto que permite evaluar el grado y la evolución de cumplimiento de sus condicionados (*Figura 4*).

# EVALUACIÓN AMBIENTAL COMO GARANTÍA DE LA SOSTENIBILIDAD SOCIAL, AMBIENTAL Y ECONÓMICA.

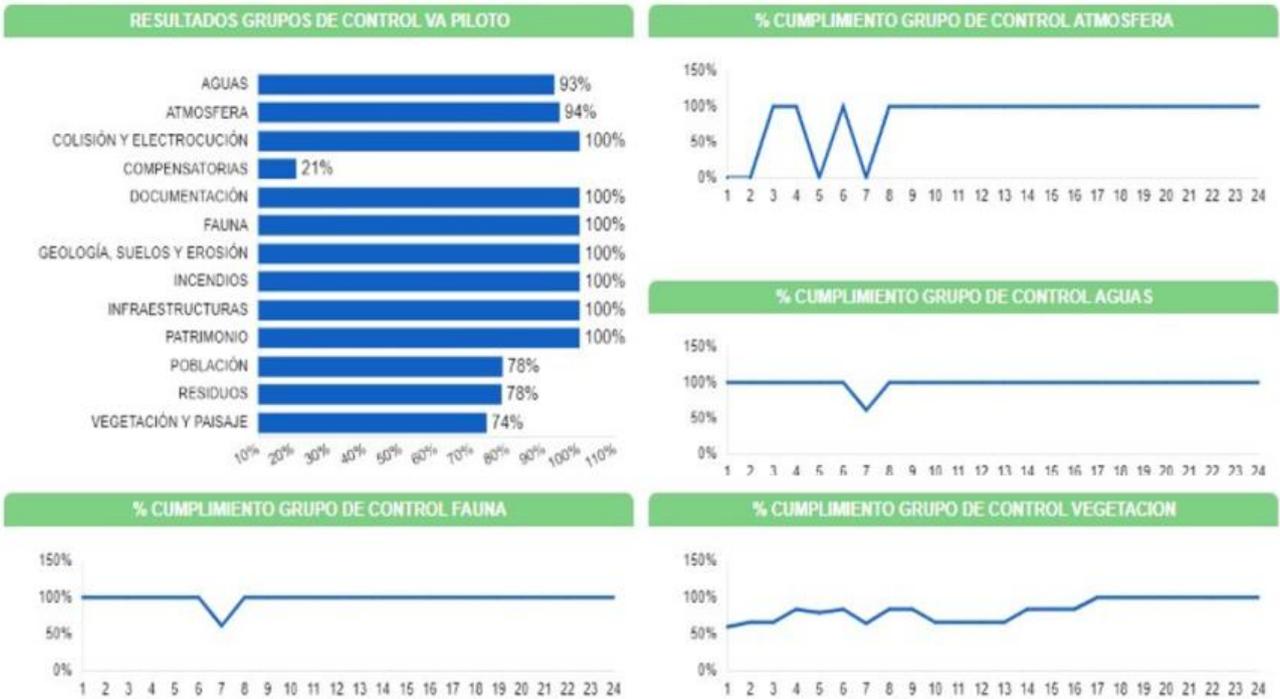


Figura 3. Gráficas de cumplimiento según indicadores y grupos de control



Figura 4. Gráfica ejemplo resultante del cumplimiento de los condicionados en el tiempo de la vigilancia ambiental de un proyecto.

### ❖ **Calidad de la vigilancia ambiental**

Los resultados obtenidos para la calidad de cumplimiento de los condicionados de la vigilancia ambiental se complementan con los porcentajes de cumplimiento de los condicionados.

A la hora del volcado de datos en el formulario, para aquellas medidas detectadas en la vigilancia ambiental que no se estén cumpliendo, se debe señalar si se ha procedido a la apertura de una incidencia y, en tal caso, se debe indicar su grado: leve, grave o no conformidad. A cada grado de incidencia se le ha asignado un porcentaje negativo que restará nota al grado de cumplimiento de la medida.

Los valores de porcentaje de cumplimiento de la medida negativos pasarán por tanto a ser negativos: Se restará un 5% a aquellas medidas que no se estén cumpliendo y que presenten una **incidencia leve abierta**; Se restará un 10% a aquellas medidas que no se estén cumpliendo y que presenten una **incidencia grave abierta**; Se restará un 25% a aquellas medidas que no se estén cumpliendo y que presenten una **no conformidad abierta**.

A continuación, se muestra en la *Figura 5* y en la *Figura 6*, un ejemplo real sobre el seguimiento del condicionado “*Comprobación del correcto almacenaje y separación de los distintos residuos generados en la planta*”, asociado con el indicador ambiental “*Cumplimiento medidas preventivas y correctoras para evitar residuos de construcción y demolición y/o peligrosos y no peligrosos*” del grupo de control de *Residuos*. Este condicionado presenta una evolución de seguimiento en el tiempo, en el cual, su grado de cumplimiento escala de 0% por incumplimiento a -5% por la apertura de una incidencia leve y de -5% a -15% y -25% por la apertura de una incidencia grave y una no conformidad respectivamente al corroborar que la medida sigue sin subsanarse. En la última visita, el grado de cumplimiento vuelve a ser del 100% una vez cerrada la no conformidad y corroborando que el condicionado vuelve a cumplirse según las indicaciones establecidas en la DIA.

ACTUACIÓN	FECHA REALIZA...	N° VISITA	CUMPLE	NO CONF. ABERTA	NO CONF. CERR.	INCID. LEVE ABER.	INCID. LEVE CERR.	INCID. GRAVE ABER.	INCID. GRAVE CERR.	% CUMPLIMIENTO MEDIA	OBSERVACIONES
<b>Total</b>										<b>94%</b>	
<b>* TRUCCO Almacenaje y separación de residuos</b>										<b>77%</b>	
Corroborar que se da un correcto y adecuado almacenaje y separación de los distintos residuos generados en planta.	14/04/23	1	No							0%	No se segregan adecuadamente los residuos, se avisa en planta y por mail
Corroborar que se da un correcto y adecuado almacenaje y separación de los distintos residuos generados en planta.	28/04/23	2	No							-5%	No se segregan adecuadamente los residuos, se avisa en planta y se abre incidencia leve
Corroborar que se da un correcto y adecuado almacenaje y separación de los distintos residuos generados en planta.	12/05/23	3	No							-15%	No se segregan adecuadamente los residuos, se avisa en planta y se abre incidencia grave
Corroborar que se da un correcto y adecuado almacenaje y separación de los distintos residuos generados en planta.	25/05/23	4	No							-25%	No se segregan adecuadamente los residuos, se avisa en planta y se abre no conformidad
Corroborar que se da un correcto y adecuado almacenaje y separación de los distintos residuos generados en planta.	12/06/23	5	Si							100%	Se da un correcto y adecuado almacenaje y separación de los distintos residuos generados en planta, procediendo al cierre de la NC y por consiguiente de todo lo anterior
Corroborar que se da un correcto y adecuado almacenaje y separación de los distintos residuos generados en planta.	23/06/23	6	Si							100%	Se da un correcto y adecuado almacenaje y separación de los distintos residuos generados en planta.

Figura 5. Seguimiento de una medida incumplida con la apertura de incidencias y no conformidades, reducción de puntuación y observaciones asociadas.



Figura 6. Seguimiento de una medida incumplida con incidencias abiertas en el tiempo.

### ❖ Otros resultados obtenidos

Otros resultados obtenidos del volcado de datos en los formularios con esta metodología son:

- **Calendario de visitas:** se muestra un desglose de las visitas que se han agendado en el calendario, tanto las previstas como las ya realizadas. Se muestra también las medidas que se deben realizar en ese día de vigilancia ambiental
- **Gráficas con ODS:** cada condicionado se ha ligado con uno o varios ODS. Así bien, con cada condicionado revisado en la vigilancia, se pueden obtener gráficos en los cuales se relacionan los ODS con, por ejemplo, el número de condicionados implicados en este ODS o incluso el número de horas invertido en la vigilancia para uno o varios ODS.

### Discusión y Conclusiones

El volcado de datos según esta nueva propuesta metodológica de estandarización de control del cumplimiento de los condicionados ambientales, permite visualizar mediante gráficas sencillas, el

grado de cumplimiento de los condicionados y su seguimiento y evolución en el tiempo. También se puede valorar de forma sencilla la calidad de cumplimiento de los condicionados revisados en la vigilancia ambiental y mediante el seguimiento a través de las gráficas de aquellas medidas que no se están cumpliendo y presentan incidencias o no conformidades abiertas.

Para poder valorar esta misma información de un informe de seguimiento ambiental, se debe de proceder con la lectura y comprensión del documento, cuyo contenido y extensión puede llegar a distar mucho en función de la empresa redactora. A ello, se le debe sumar que los informes de seguimiento tampoco suelen coincidir en cuanto a su periodicidad de redacción por lo que, la información extraída de un informe de seguimiento mensual puede distar mucho de la información extraída de un informe cuatrimestral.

Con la aplicación de esta metodología estandarizada los resultados obtenidos son a tiempo real y de fácil consulta. La interpretación de estas gráficas de cumplimiento en tiempo real no solo puede

agilizar este proceso de evaluación de un proyecto, sino que se puede ir al detalle de un posible problema en el cumplimiento de ciertas medidas y observar su evolución. Se puede detectar de forma concisa si están poniendo los medios necesarios en la vigilancia ambiental para el cumplimiento de los condicionados y, además para que, en caso de incumplimiento, se tomen medidas pertinentes que solventen la situación de irregularidad.

Toda esta estandarización de controles de la vigilancia ambiental y resultados podría facilitar en gran medida el trabajo de seguimiento de los órganos ambientales y sustantivos. Además, permitiría la comparación en cuanto al grado de cumplimiento de la DIA entre proyectos de distintas empresas promotoras y también entre proyectos de distintas Comunidades Autónomas.

Por tanto, las conclusiones extraídas son:

1. La falta de estandarización en los procesos de vigilancia ambiental obliga a que el control del cumplimiento de los condicionados ambientales deba realizarse mediante la revisión documental de informes de seguimiento variables en cuanto a su periodicidad y contenido.
2. Con esta propuesta metodológica se han establecido 13 grupos de control según los agentes del medio afectados dentro de los cuales se han determinado 24 indicadores ambientales que irán asociados a los condicionados de cualquier DIA. Aplicando esta metodología se podrá obtener de forma segregada, por grupos de control, indicadores ambientales y condicionados, el grado de cumplimiento de las medidas de una DIA.

3. Esta estandarización de la vigilancia ambiental, además, permitirá determinar la calidad y el grado de cumplimiento de los condicionados de la vigilancia ambiental, detectando de forma precisa, qué medidas no se están cumpliendo, las incidencias abiertas y su posterior resolución.
  
4. La aplicación de esta nueva propuesta metodológica permitirá la comparación de la calidad y el grado de cumplimiento de la DIA entre proyectos a cualquier nivel.

## Referencias / Bibliografía

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico:  
<https://sede.miteco.gob.es/portal/site/seMITECO/navServicioContenido>

## DESCOMPONRIENDO DIAS. ANÁLISIS DE DECLARACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL PARA INSTALACIONES SOLARES

*Arenas Martínez, G.; Martínez Iniesta, C.; Roldán Arroyo, J.M.*

Ideas Medioambientales, S.L.; [gaspar@ideasmedioambientales.com](mailto:gaspar@ideasmedioambientales.com); Albacete, España.

**Palabras clave:** Agroambientales; Compensación superficie; Inteligencia artificial; Mortalidad; Resolución; Seguimiento ambiental; Solar fotovoltaica.

### Resumen

El análisis de información de las Declaraciones de Impacto Ambiental es un proceso complejo, debido a la heterogeneidad de estructura, contenido y casuística de proyectos. En todo caso, se considera un paso crucial para el correcto establecimiento, mantenimiento y seguimiento de las medidas preventivas, correctoras y compensatorias según las indicaciones de la administración.

El presente estudio analiza estadísticamente los datos extraídos con Inteligencia Artificial Generativa (IAG) recogidos en las Resoluciones emitidas por el MITERD y las administraciones regionales, para los territorios con mayor desarrollo de proyectos de energía solar en el periodo comprendido entre 2020 y 2023.

Durante este estudio se presenta una especial atención a medidas compensatorias, seguimientos específicos y especies objetivo, obteniendo conclusiones que permiten evaluar regionalmente la tendencia de estos parámetros en el tiempo.

### Introducción

Una Declaración de Impacto Ambiental es un informe preceptivo y determinante emitido por el órgano ambiental competente con el que concluye la evaluación de impacto ambiental ordinaria, que evalúa la integración de los aspectos ambientales en el proyecto y determina las condiciones que deben establecerse para la adecuada protección del medio ambiente y de los recursos naturales durante la ejecución y la explotación y, en su caso, el desmantelamiento o demolición del proyecto (MITERD, 2024).

Por tanto, este documento se convierte en la hoja de ruta principal para el establecimiento de las medidas preventivas, correctoras, compensatorias y complementarias que se establecerán durante las distintas fases del proyecto, como son:

- Fase previa al comienzo de las obras
- Fase de obra o construcción
- Fase de funcionamiento o explotación
- Fase de desmantelamiento

El principal objetivo de este estudio es la localización, análisis e interpretación de la información recogida. Por este motivo, para este estudio se seleccionaron aproximadamente 1.500 Declaraciones de Impacto Ambiental publicadas por las administraciones de las comunidades autónomas con mayor desarrollo de proyectos fotovoltaicos (Gobierno de Castilla-La Mancha, Junta de Castilla y León, Junta de Andalucía, Comunidad de Madrid, Gobierno de Aragón y Junta de Extremadura) y los emitidos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en el periodo comprendido entre 2020 y 2023.

### **Material y Métodos**

Este estudio es novedoso, pues no se tienen datos publicados sobre el análisis de esta documentación mediante el uso de Inteligencia Artificial, asistida por personal técnico con experiencia en el sector. Al mismo tiempo, difiere de los procesos de análisis convencionales de Declaraciones de Impacto Ambiental por dos factores fundamentales: por una parte, la intensa labor de etiquetado manual realizada por personal técnico experto para transferir conocimiento especializado a los modelos IA, y por otra, el perfeccionamiento de modelos IA (*prompting*) de trabajo, interacción y ajuste avanzados para obtener resultados. Esta sinergia entre procesos es esencial para adaptar los modelos a la heterogeneidad, complejidad y detalle específico de este tipo de documentos.

Los parámetros analizados han sido extraídos mediante Inteligencia Artificial Generativa (IAG) guiada y supervisada por personal técnico experimentado. La metodología y las herramientas utilizadas para realizar este estudio pertenece a un producto interno de Ideas Medioambientales, el cual tiene una evaluación y control de calidad exhaustivo. A grandes rasgos la metodología empleada se basa en los siguientes pasos:

#### **1. Acceso y recolección programático de documentos**

- La primera fase implica el acceso programático a los portales web oficiales de las principales Comunidades Autónomas con desarrollo de este tipo de proyectos, y el Boletín Oficial del

Estado (BOE). De este modo, se procede a recolectar los documentos pertinentes a Declaraciones de Impacto Ambiental

## 2. Filtrado de datos

- Una vez recolectados los documentos, se procede a un filtrado inicial. Dada la heterogeneidad en la presentación de la información en los diferentes portales, se implementa un proceso de selección, garantizando la precisión en la identificación de documentos relevantes, especialmente aquellos que corresponden a resoluciones de proyectos de plantas fotovoltaicas y otros criterios específicos seleccionados.

## 3. Extracción y análisis, aplicando procesos de IA avanzados, incluyendo el uso de *Large Language Models* (LLMs).

- El tercer paso se orienta a extraer los datos necesarios para el presente estudio, así como otros en los que actualmente se está trabajando. Los valores se han obtenido tanto para las Declaraciones de Impacto Ambiental favorables, desfavorables o condicionadas.

## 4. Validación y medición cualitativa

- Considerando el carácter probabilístico de los modelos de IA y los potenciales riesgos de rendimiento, se efectúa una evaluación exhaustiva de los resultados obtenidos. Esta etapa incluye la revisión de métricas de rendimiento y precisión, contrastados con datos previamente procesados, etiquetados y analizados manualmente por personal técnico experimentado en la revisión de este tipo de documentación. Este paso es esencial para confirmar la efectividad y confiabilidad de los modelos de inteligencia artificial empleados.

## 5. Análisis estadístico para los parámetros obtenidos

- El sistema desarrollado tras este proceso analítico ha demostrado ser de alto rendimiento, confiable y efectivo en la evaluación automática de las Declaraciones de Impacto Ambiental. Los resultados alcanzados y validados mediante comparaciones rigurosas con datos de referencia enfatizan la capacidad de esta tecnología impulsada por IA para generar análisis precisos y de gran valor, ofreciendo nuevas perspectivas para la investigación ambiental, optimización de esfuerzos y servir de apoyo en la toma de decisiones para personal experto en Evaluación de Impacto Ambiental.

## Resultados

Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas entre documentos emitidos por distintas administraciones. Este estudio se centra en el análisis de los siguientes puntos, sin embargo, se

encuentra en desarrollo un trabajo de mayor dimensión donde se detallarán las variaciones para todos los parámetros obtenidos.

- Porcentaje de proyectos autorizados y desfavorables.
- Solicitud de plan de vigilancia y seguimiento ambiental.
- Solicitud de seguimientos de la mortalidad para las infraestructuras de los proyectos.
- Principales especies objetivo de conservación.
- Medidas compensatorias de hábitat estepario.

Los resultados se han obtenido tras el análisis de aproximadamente 1.500 Declaraciones de Impacto Ambiental emitidas entre los años 2020 y 2023 para los boletines seleccionados. Los valores promedio muestran un porcentaje de resoluciones favorables que alcanzan el 92,2%, lo que podría poner de manifiesto los procesos de mejora de Evaluación de Impacto Ambiental realizados previamente y las modificaciones producidas en los diseños de las implantaciones antes de llegar al proceso de autorización administrativa tras la detección de parámetros ambientales críticos o limitantes.

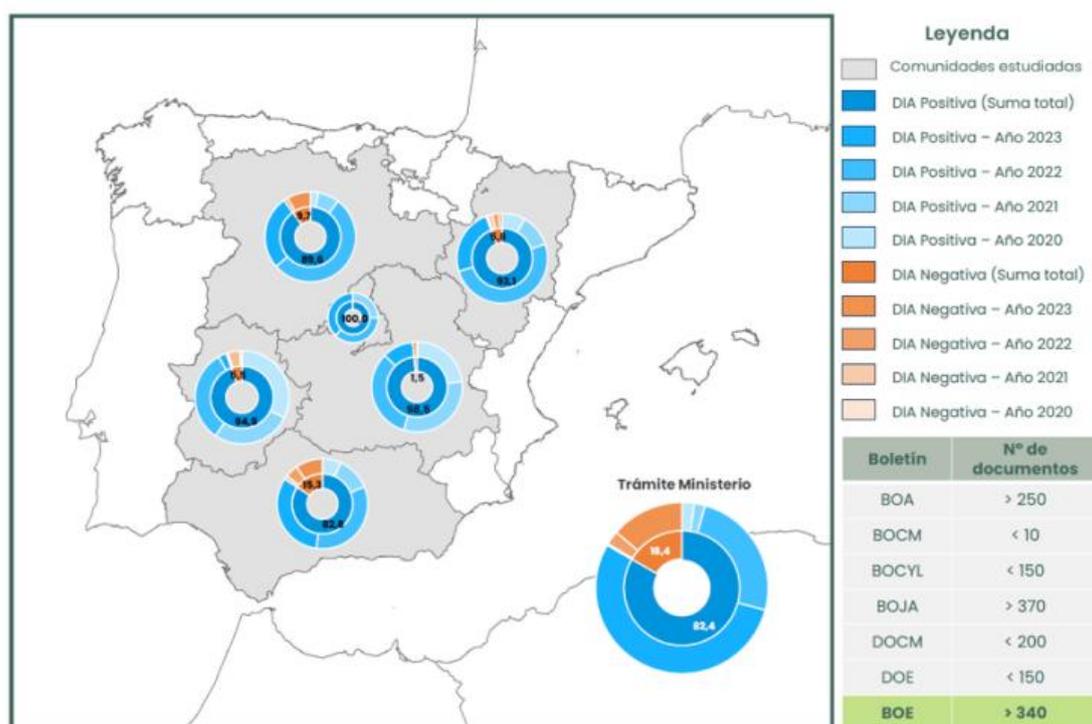


Figura 1. Porcentaje de proyectos de planta solar fotovoltaica con declaración de impacto ambiental positiva o negativa emitidas por las distintas administraciones evaluadas entre los años 2020 y 2023.

De entre todos los boletines analizados, destacan los valores obtenidos para el Boletín Oficial del Estado (BOE) para trámites realizados vía Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

(MITERD) donde los porcentajes promedio entre los años 2020 y 2023 se corresponden con un 82,4% de resoluciones positivas frente al 16,4% de resoluciones negativas. Además, analizando los datos por año de publicación se observa como el número de resoluciones emitidas presenta una tendencia creciente, pasando de valores cercanos a 10 durante los años 2020-2021 a 100 documentos emitidos en 2022 y más de 220 en el año 2023.

Los resultados son similares para la presencia de seguimiento ambiental, con valores generalmente superiores el 80% del total de proyectos autorizados. Sin embargo, se obtienen grandes diferencias para el seguimiento de la mortalidad, donde varias comunidades presentan tendencias negativas y porcentajes inferiores al 20-40% de presencia en las autorizaciones. Estos datos se contraponen con la tendencia creciente observada en los resultados para el Boletín Oficial del Estado, con solicitudes superiores al 82% para el año 2023.

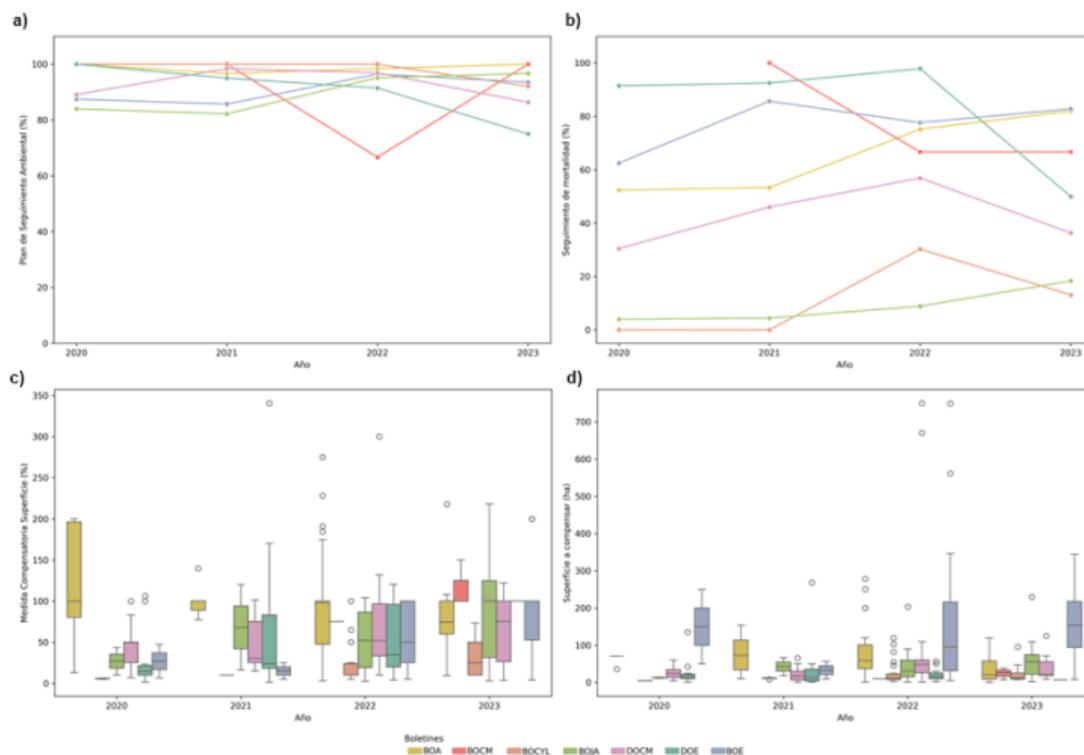


Figura 2. Todas las figuras han sido generadas para los distintos boletines evaluados entre los años 2020 y 2023. a) Porcentaje de declaraciones de impacto ambiental con solicitud de Plan de Seguimiento y Vigilancia Ambiental. b) Porcentaje de declaraciones de impacto ambiental con solicitud de seguimiento de la mortalidad. c) Porcentaje de compensación de hábitat para aves esteparias respecto de la superficie total de implantación del proyecto. d) Superficie de compensación solicitada en hectáreas.

Las especies mayormente citadas presentan categoría de protección, destacando grandes rapaces y esteparias. Las 20 especies más citadas suponen anualmente el 85% de las citas totales. Además, el 37% se obtiene de 7 aves esteparias, siendo el cernícalo primilla (*Falco naumanni*), el aguilucho cenizo

(*Circus pygargus*), el milano real (*Milvus milvus*) y el sisón común (*Tetrax tetrax*) las especies con mayor número de menciones. Este resultado está directamente relacionado con la necesidad de establecer compensación de hábitat estepario. Sin embargo, esta compensación es una medida con elevada disparidad de criterios entre proyectos y administraciones, tanto en porcentaje de compensación por ocupación de la implantación como en hectáreas totales.

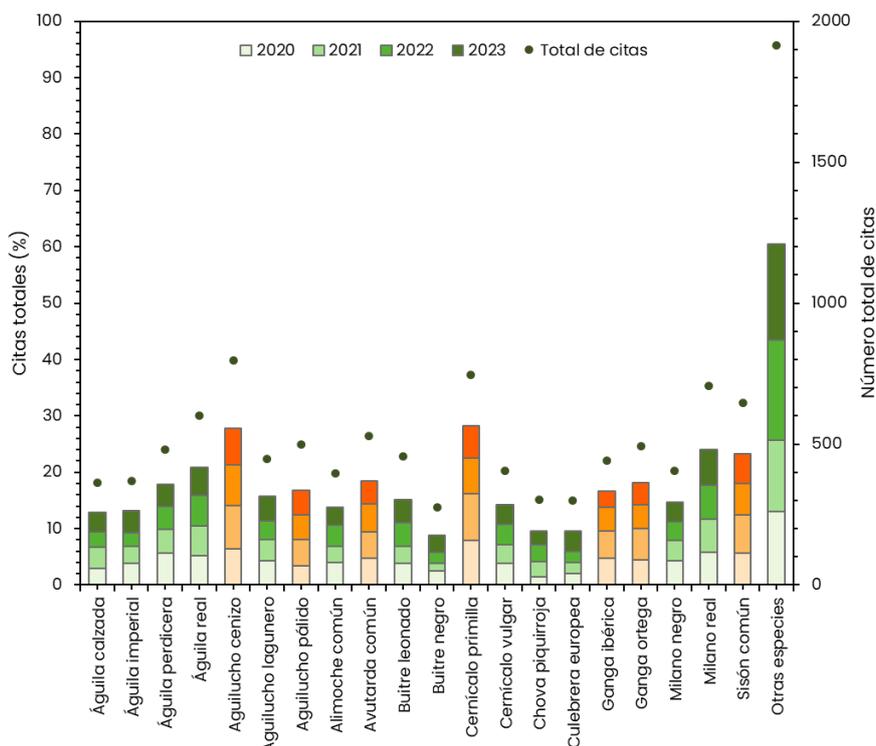


Figura 3. Porcentaje y número de citas totales por especie. Valores representados para las 20 especies más mencionadas en las declaraciones de impacto ambiental evaluadas entre los años 2020 y 2023.

### Discusión y Conclusiones

El análisis detallado de las Declaraciones de Impacto Ambiental permite una visión global de la evolución para las medidas preventivas, correctoras, compensatorias y complementarias establecidas, permitiendo analizar la variabilidad de criterios y puntos críticos para cada Administración. El conocimiento de estos parámetros mejora al establecimiento, mantenimiento y seguimiento de estas medidas, así como permite el avance y equiparación de criterios entre las distintas regiones de nuestro territorio.

El uso de Inteligencia Artificial (IA) para realizar el estudio ha sido completamente efectivo, aprovechando el potencial de poder extraer información, procesar e interpretar un gran volumen de documentación, siendo este estudio una pequeña muestra del potencial que tiene el empleo de IA en la innovación de los estudios medioambientales, y en concreto, dentro del campo del análisis de las declaraciones de impacto ambiental. Este estudio, en mejora y desarrollo, ha analizado diferentes

boletines oficiales para la mayor parte de Comunidades Autónomas y MITERD emitidas durante los últimos años, permitiendo el establecimiento de comparaciones y tendencias de estructuras y contenido documental entre CCAA, así como su evolución temporal dentro de una misma Administración.

**Referencias / Bibliografía:**

- Diario Oficial de Castilla-La Mancha (DOCM), emitido por el Gobierno de Castilla-La Mancha.
- Boletín Oficial de Castilla y León (BOCYL), emitido por la Junta de Castilla y León.
- Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA), emitido por la Junta de Andalucía.
- Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid (BOCM), emitido por la Comunidad de Madrid.
- Boletín Oficial de Aragón (BOA), emitido por el Gobierno de Aragón.
- Documento Oficial de Extremadura (DOE), emitido por la Junta de Extremadura.
- Boletín Oficial del Estado (BOE), emitido por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD).

# BLOQUE 2

---

## AVANCES METODOLÓGICOS EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL

## **ANÁLISIS DE LA LEY 21/2013 DE EVALUACIÓN AMBIENTAL Y SU RELACIÓN CON LA ECONOMÍA CIRCULAR**

*Peña-Rodríguez, C.; Fernández-Marzo, F.*

Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)-Aula Universidad-Empresa-  
Sociedad de Economía Circular, [cristina.pr@ehu.eus](mailto:cristina.pr@ehu.eus), Donostia-San Sebastián, España.

**Palabras clave:** Economía circular; Eficiencia; Sostenibilidad; Evaluación ambiental.

### **Resumen**

La economía circular es un modelo económico que se fundamenta en la eficiencia del uso de recursos y materias primas. El Plan de acción para la economía circular, identifica al sector de la construcción como uno de los sectores clave en los que hay que actuar ya que supone importantes limitaciones a la sostenibilidad debido a su elevado consumo de materias primas, residuos generados y emisiones de gases de efecto invernadero. La Unión Europea, en este contexto, ha creado herramientas para tener un marco general en el que cuantificar la sostenibilidad de los edificios. Sin embargo, los estudios de impacto ambiental de proyectos, planes y programas carecen de herramientas estandarizadas que permitan introducir conceptos de circularidad para medir y mejorar la sostenibilidad de los mismos. En este estudio se analizan algunas de las implicaciones que la circularidad y la evaluación ambiental circular podría tener en la Ley de evaluación ambiental 21/2013, con el objetivo de identificar futuras modificaciones que se requerirían en la Ley para adaptarse a la normativa europea en materia de economía circular.

### **Introducción**

El Pacto Verde Europeo [1] es un paquete de iniciativas políticas cuyo objetivo es situar a la UE en el camino hacia una **transición ecológica**, con el objetivo último de alcanzar la neutralidad climática de aquí a 2050. En base a este Pacto Verde, el Octavo Programa de Acción en materia de Medio Ambiente (VIII PMA) [2], establece un marco de acción en materia de medio ambiente y política climática hasta 2030 con seis objetivos prioritarios temáticos para 2030 y un objetivo prioritario a largo plazo para 2050 de vivir bien, dentro de los límites del planeta. La aplicación del VIII PMA también es fundamental para alcanzar los objetivos climáticos y de medio ambiente en el marco de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, sus objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y los acuerdos multilaterales sobre medio ambiente y clima.

La economía circular es un modelo económico que se fundamenta en la eficiencia en el uso de recursos y materias primas. Su desarrollo se ha basado de una manera simplista, en el estudio de los

residuos generados y su valorización, aunque incluye también los consumos de recursos (agua, energía, suelos...) a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto. La Comisión Europea definió el Plan de acción para la economía circular en 2020 [3] como uno de los pilares fundamentales del Pacto Verde Europeo para el desarrollo sostenible. Este Plan tiene por objeto disociar el crecimiento económico del uso de recursos, reducir nuestra huella de consumo, duplicar la tasa de uso circular de los materiales, reducir significativamente los volúmenes totales de residuos y reducir a la mitad el volumen de residuos municipales residuales.

El Reglamento (UE) 202/852 de 18 de junio de 2020 [4] establece los criterios para determinar si una actividad económica se considera medioambientalmente sostenible a efectos de fijar el grado de sostenibilidad medioambiental de una inversión. La mitigación y adaptación **al cambio climático, el uso sostenible y protección de los recursos hídricos y marinos, la transición hacia una economía circular, la prevención y control de la contaminación y la protección y recuperación de la biodiversidad y los ecosistemas son los objetivos medioambientales claves de este reglamento.** La Orden de Presidencia PCI/86/2019 [5] **para promover cláusulas medioambientales en la contratación pública,** establece también un plan que **responde a la necesidad de incorporar criterios ecológicos en la contratación pública, lo que permitirá a las administraciones, en el desarrollo de su actividad, fomentar y contribuir a los objetivos de sostenibilidad económica y medioambiental. Recoge una serie de criterios medioambientales generales de contratación, de carácter voluntario, que podrán ser incorporados a los pliegos de contratación como criterios de selección, de adjudicación, especificaciones técnicas y condiciones especiales de ejecución.**

Uno de los sectores clave en los que hay que actuar es en el de la construcción. Exige ingentes cantidades de recursos y absorbe alrededor del 50 % de todos los materiales extraídos, además de ser un motor de ocupación y sellado del suelo. El informe sobre el estado de la Unión de la Energía de 2023 [4] concluyó que el sector de la construcción debe acelerar significativamente la transición hacia prácticas sostenibles. Para aumentar la eficiencia de los materiales y reducir las repercusiones climáticas se promueve la inclusión de los principios de la circularidad en todo el ciclo de vida del proceso constructivo. Se definen diversas estrategias como incrementar el uso de materiales reciclados, promover medidas para mejorar la durabilidad y adaptabilidad de las construcciones, incluir la evaluación del ciclo de vida en la contratación pública, promover iniciativas para reducir el sellado del suelo, rehabilitar terrenos abandonados o contaminados y aumentar el uso seguro, sostenible y circular de los suelos excavados.

## **Materiales y métodos**

En este estudio se realiza un análisis bibliográfico sobre economía circular y evaluación de ciclo de vida. Para ello, se han analizado distinta normativa y artículos relacionados en los que presentan experiencias y datos relacionados. A partir de la bibliografía analizada se ha realizado el análisis de las posibilidades de incorporar a la Ley 21/2013 de Evaluación ambiental modificaciones que permitan incluir la perspectiva de economía circular al proceso de evaluación de obras, proyectos y programas.

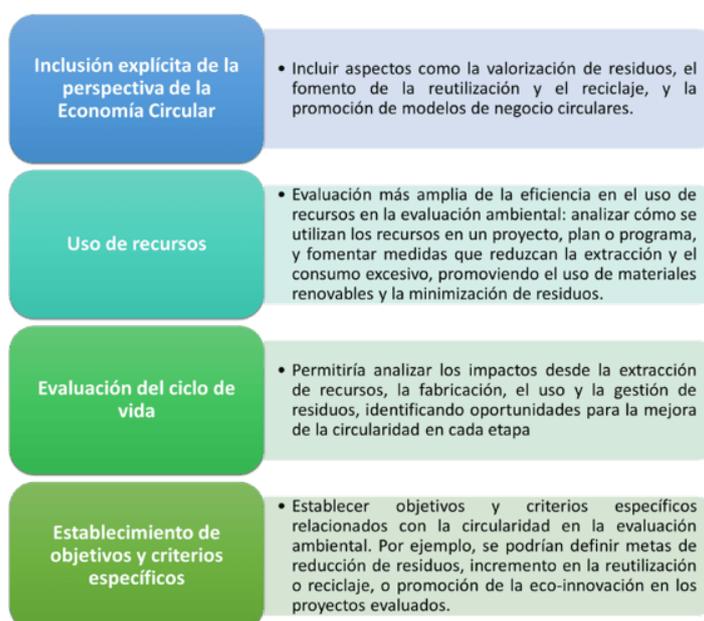
## **Resultados**

### ***Una Evaluación Ambiental Circular***

A la vista de los objetivos europeos, la Evaluación ambiental del planes, programas y proyectos, debería incluir también aspectos relacionados con estas estrategias de circularidad para realmente poder ser definida como una herramienta para avanzar hacia la sostenibilidad, tal y como se define en la Ley 21/2013. Pero realmente, ¿cómo recoge esta Ley los principios de circularidad?:

1. **Objetivo: sostenibilidad.** Tanto la Ley 21/2013 como la Economía Circular buscan promover la sostenibilidad en el uso de los recursos naturales y la protección del medio ambiente.
2. **Gestión de residuos.** La Ley 21/2013 incluye disposiciones relacionadas con la gestión de residuos y la evaluación de los impactos ambientales asociados. La Economía Circular también busca minimizar los residuos y promover su reutilización, reciclaje y valorización.
3. **Protección del medio ambiente y prevención de la contaminación.** La Ley 21/2013 se centra en la protección del medio ambiente a través de la evaluación de los impactos ambientales: identificar y mitigar los impactos ambientales potenciales antes de que ocurran. La Economía Circular busca reducir los impactos negativos en el medio ambiente mediante el uso eficiente de los recursos y la minimización de los residuos.
4. **Eficiencia en el uso de recursos.** Tanto la Evaluación Ambiental como la Economía Circular consideran la importancia de utilizar los recursos naturales de manera eficiente y reducir la extracción y el consumo excesivo de materias prima

En este contexto actual, ¿qué reformas se podrían proponer en el texto de la Ley 21/2013 para que se pudieran realizar, en la práctica, evaluaciones ambientales más circulares? En la Figura 1 se proponen algunas iniciativas para su posible incorporación en la Ley.



**Figura 1.** Posibles actualizaciones en el texto de la ley de Evaluación Ambiental 21/2013 para dotarla de un carácter más circular.

## Discusión

### **La Evaluación Ambiental Circular en la práctica**

La Ley 21/2013, en su artículo 35, especifica que en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) el promotor tendrá que incluir la Identificación, descripción, análisis y, si procede, la cuantificación de los posibles efectos significativos sobre el medio ambiente, en las fases de ejecución, explotación y en su caso durante la demolición o abandono del proyecto. Sin embargo, no se especifica la adopción de ninguna metodología para llevar a cabo este estudio. Generalmente este proceso se realiza con una matriz de causa-efecto en la que se identifican los impactos ambientales, cruzando acciones de proyecto y factores ambientales. Posteriormente se pondera el peso de los diferentes factores ambientales. El análisis cualitativo se suele realizar basándose en la importancia relativa de los diferentes subfactores, aplicando los correspondientes atributos a cada uno de ellos. El análisis cuantitativo, en la mayoría de las evaluaciones ambientales, no se llega a realizar, ya sea por la falta de una función de transformación adecuada, o por la ausencia de datos cuantitativos de los indicadores asociados a los distintos factores ambientales.

En la actualidad, desde un punto de vista normativo existen herramientas tanto para promover las inversiones en materia medioambiental [4], como para poder incorporar ciertos criterios voluntarios de circularidad en la contratación pública verde [6]. Sin embargo, resulta complicado evaluar el

alcance de la circularidad de un Proyecto, ya que los indicadores necesarios para poder llevar a cabo este proceso no están estandarizados, ni existen herramientas estandarizadas.

En una aproximación a una posible solución de este problema, nos vamos a centrar en el sector de la construcción. La descarbonización de los edificios es un hito crucial si las ciudades europeas quieren alcanzar sus objetivos de mitigación. Para ello, la EU ha creado Level(s) [6], una herramienta para evaluar el grado de sostenibilidad de edificios (en inglés “building rating systems”, BRS) y diseñada como marco común de la UE de indicadores básicos para evaluar la sostenibilidad de edificios. Es un punto de partida para aplicar los principios de la economía circular en el sector de la construcción. Se centra en seis puntos críticos a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio: emisiones de gases de efecto invernadero, eficiencia de recursos, uso del agua, salud y confort, resiliencia y adaptación al cambio climático y sus costes asociados. Sus 16 indicadores se pueden utilizar en las etapas de diseño, construcción y operación. Actualmente existen diferentes BRS, que, para adaptarse a este nuevo contexto común europeo, necesitarán de una armonización de criterios de evaluación y acceso a bases de datos de calidad contrastada de materiales [7].

Al incorporar la metodología Level(s) a un proyecto de Ingeniería Civil, ¿qué retos habría que abordar si planteamos el diseño de una herramienta similar para la evaluación circular de proyectos en el contexto de la Ley de evaluación Ambiental? En primer lugar, para la evaluación de los tres primeros macroobjetivos (1. Emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida, 2. Ciclos de vida de los materiales y 3. Empleo eficiente de los recursos hídricos), se podría utilizar una herramienta de evaluación general de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) seleccionando la más adecuada entre las diversas herramientas disponibles [8]. En segundo lugar, la adaptación y resiliencia al cambio climático o la evaluación de costes (macroindicadores 5 y 6 de Level(s)), podrían ser incluidos en el estudio de alternativas del proyecto, lo que facilitaría una toma temprana de decisiones, necesaria y habitualmente la más importante del proceso.

Una mayor eficiencia en el uso de los materiales y recursos repercutirá positivamente en el ACV y supondrá un aspecto positivo, o menos negativo en la EIA. Para ello, la legislación y el promotor deberían fomentar la reducción del consumo de materiales y recursos, así como la utilización de materiales alternativos a las materias primas primarias, como lo son materiales reciclados, y los resultantes de procesos de revalorización. Entre los materiales alternativos para la construcción de infraestructuras disponibles en el mercado se incluyen áridos reciclados de residuos de construcción y demolición (AR) y áridos siderúrgicos revalorizados, ASR [9,10]. Para su uso es necesario que dispongan de marcado CE según la Norma UNE EN 998-1 [11].

El fomento del uso de estos materiales con certificación y condiciones técnicas de uso disponibles recae también en la legislación. Por ejemplo, la Ley 10/2021 de administración Ambiental de Euskadi [12] que regula la compra pública verde, en su artículo 84.3 se indica que “En la redacción de los pliegos de cláusulas administrativas y prescripciones técnicas particulares para la ejecución de contratos de obras se indicarán los porcentajes de subproductos, materias primas secundarias, materiales reciclados o provenientes de procesos de preparación para la reutilización que se tengan que utilizar para cada uno de ellos. El porcentaje mínimo de utilización de dichos materiales será del 40 %, salvo que por motivos técnicos justificados este porcentaje deba ser reducido.”

### **Conclusiones**

Los artículos 31, 35, 45 ,47 y los anexos III, V y VI de la Ley 21/2013 de evaluación ambiental incluyen aspectos relacionados con la economía circular: previsiones en el tiempo sobre la utilización del suelo y de otros recursos naturales, y la estimación de los tipos y cantidades de residuos generados y emisiones. Pero de momento no se incluyen medidas que fomenten la reducción de la extracción y el consumo excesivo mediante el uso de materiales reciclados/renovables y la minimización de residuos.

Por ello, la Ley debería establecer, a corto plazo, objetivos y criterios específicos, como metas de reducción/reutilización/reciclaje de materiales, así como la incorporación del análisis del ciclo de vida del plan, programa o proyecto a evaluar. Este análisis permitiría la identificación de oportunidades para la mejora de la circularidad en cada etapa del proyecto, incrementando así la sostenibilidad global de las infraestructuras.

## Bibliografía

- [1] Pacto Verde Europeo. <https://www.consilium.europa.eu/es/policias/green-deal/>
- [2] Octavo Programa de Acción en materia de Medio Ambiente. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2022-80590>
- [3] Circular economy action plan - European Commission. [https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan\\_en](https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en)
- [4] Reglamento (UE) 2020/852 del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de junio de 2020 relativo al establecimiento de un marco para facilitar las inversiones sostenibles y por el que se modifica el Reglamento (UE) 2019/2088.
- [5] Orden PCI/86/2019, de 31 de enero, relativo al Plan de Contratación Pública Ecológica de la Administración General del Estado, sus organismos autónomos y las entidades gestoras de la Seguridad Social (2018-2025).
- [6] Level(s) - European Commission [https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/levels\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/levels_en)
- [7] Izaola B., Akizu-Gardoki O., Oregi X. 2022 Life Cycle Analysis Challenges through Building Rating Schemes within the European Framework. *Sustainability* 14, 9. doi: 10.3390/su14095009.
- [8] PG Section Documents | Product Bureau. <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/product-groups/412/documents>
- [9] Reglamento (UE) 2024/1252 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de abril de 2024, marco para garantizar un suministro seguro y sostenible de materias primas fundamentales. <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj/spa>
- [10] Campezo <https://campezo.com/>
- [11] UNE-EN 998-1:2018. Especificaciones de los morteros para albañilería.
- [12] Ley 10/2021, de 9 de diciembre, de Administración Ambiental de Euskadi.

## **IDENTIFLIGHT: INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y 3D PARA EVITAR LA MORTALIDAD DE AVES EN PARQUES EÓLICOS**

*Domínguez del Valle, Jon; García Sanz, Ricardo*  
Zefiro Partners, S.L., [info@zefiro.com](mailto:info@zefiro.com), Madrid, España.

**Palabras clave:** Aves; Mortalidad; Aerogenerador; Inteligencia artificial; Energía eólica; IdentiFlight.

### **Resumen**

Presentamos IdentiFlight, un sistema automático de detección de aves y parada de aerogeneradores que minimiza eficazmente la mortalidad de fauna en parques eólicos. Basado en tecnología óptica de última generación y gestionado mediante inteligencia artificial de red neuronal convolucional, sus altas prestaciones le permiten identificar a las aves a nivel de especie y cartografiar su vuelo en tres dimensiones con precisión, lo que reduce las pérdidas de energía del aerogenerador al mínimo. Actualmente IdentiFlight cuenta con más de 415 unidades desplegadas o proyectadas en 14 países de 6 continentes, y dispone de certificados de efectividad respaldados por las administraciones ambientales de EEUU, Alemania, Francia, Australia y Suecia. Todas estas características hacen de IdentiFlight un sistema único en su categoría.

### **Gestión de impactos y nuevas tecnologías**

Aunque la energía eólica es una fuente energética renovable con una menor huella ambiental que las energías convencionales, no está exenta de influencias sobre el medio ambiente [1, 2, 3]. Uno de sus principales impactos es la mortalidad de aves por colisión contra los aerogeneradores, que es especialmente grave cuando actúa sobre especies longevas, con bajas tasas de renovación, raras, con problemas de conservación o de poblaciones aisladas [4, 5, 6, 7].

Para reducir la mortalidad por colisión se han diseñado estrategias de gestión centradas en las diferentes fases de desarrollo de los proyectos, desde la planificación y diseño, hasta la de operación o desmantelamiento [8]. Una de las que mejor ha funcionado es la parada selectiva de aerogeneradores operativos en situaciones en las que un observador humano sobre el terreno considera que el vuelo del ave presenta un riesgo inminente de colisión con el rotor [9, 10].

En base a los fundamentos de esta técnica de gestión y aprovechando el avance en los algoritmos de reconocimiento de imágenes, la inteligencia artificial y las unidades de procesamiento gráfico, en los

Últimos años se han desarrollado sistemas automatizados de detección de vuelos y parada/activación de aerogeneradores [ver 11]. Su función es localizar de forma autónoma los movimientos de las aves en el entorno de los parques eólicos, determinar el riesgo de colisión que representa su vuelo y proceder a la parada de la turbina si es necesario. IdentiFlight es uno de estos sistemas.

### Óptica e inteligencia artificial de vanguardia

IdentiFlight es un sistema estereoscópico de alta resolución con capacidad de cartografiado tridimensional de vuelos e identificación de aves a nivel de especie, que procesa la información mediante inteligencia artificial. Cada unidad cuenta con ocho sensores ópticos hemisféricos de amplio campo de visión (WFOV) situados en la parte inferior, que son las responsables de detectar y discriminar los objetos en movimiento; y que se coordinan con otros dos sensores estereoscópicos de alta resolución en 360° (HRSC) localizados en la mitad superior, que participan en los cálculos de posicionamiento tridimensional, velocidad del movimiento e identificación de imágenes. La versatilidad de este diseño, independiente de los aerogeneradores, permite instalar las unidades de IdentiFlight sobre soportes ajustados a las necesidades de cada proyecto y entorno (Figura 1).



Figura 1. De izquierda a derecha. Detalle de las subunidades ópticas de IdentiFlight v5. Unidad sobre torre telescópica con base portable arriostrada. Unidad sobre torre telescópica en base móvil de grupo electrógeno autónomo. Unidad sobre torres atornilladas de acero galvanizado.

Los datos obtenidos por los sensores se envían a través de fibra óptica o wifi a las estaciones base donde el software del sistema los analiza, determina si se trata de una especie objetivo y decide si debe pararse o activarse un aerogenerador. Este programa, basado en redes neuronales convolucionales, permite el reconocimiento de patrones de coloración y dimensión, y analiza las imágenes de las aves en función de un conjunto de reglas predefinidas para determinar si se trata de una especie de interés. Además, el sistema tiene capacidad de aprendizaje al poder incorporar nuevas

bibliotecas de imágenes, de manera que puede actualizarse periódicamente en función de los datos aportados, mejorando su rendimiento y reduciendo los errores de identificación a que acumula información y tiempo de funcionamiento.

Las distintas unidades IdentiFlight trabajan de manera coordinada e intercambiando información sobre los vuelos, si bien su número en un parque eólico dado dependerá del número de aerogeneradores que se desee controlar, de la orografía y tipos de hábitats, y del grado de precisión que se requiera. Por tanto, la configuración final debe considerarse propia de cada proyecto y responderá a los objetivos concretos de gestión.

### **Evaluación independiente y respaldo científico**

IdentiFlight ha pasado procesos independientes de evaluación de efectividad desarrollados por las administraciones públicas del ámbito ambiental y energético de Estados Unidos, Alemania, Suecia, Australia y Francia. El objetivo de los exámenes ha sido valorar sus capacidades y definir si cumple los mínimos de eficacia establecidos para autorizar su uso en los parques eólicos de estos países. IdentiFlight inició su primer testeo en 2016 y hasta la fecha ha conseguido superar con claridad todas las pruebas, siendo actualmente el sistema comercial que cuenta con más autorizaciones oficiales [12, 13, 14, 15, 16, 17].

Otro de los argumentos que avalan la fiabilidad de IdentiFlight es su participación en varias investigaciones científicas formales. En estos estudios, publicados en revistas especializadas con revisores por pares, analizan la capacidad del sistema para obtener datos útiles en la gestión del impacto de los parques eólicos sobre las aves. Así, la información recogida por el sistema ha sido utilizada para caracterizar la reducción en la mortalidad de rapaces, comparar su efectividad con humanos, analizar las trayectorias de los vuelos de las aves, definir zonas de riesgo, optimizar las paradas o evaluar futuras posiciones [ver 12, 18, 19, 20, 21, 22, 23].

### **Los números**

IdentiFlight ha pasado por un proceso de desarrollo y validación riguroso que lo ha posicionado como uno de los sistemas ópticos más sólidos, como reflejan los datos de efectividad extraídos de las distintas experiencias de análisis y estudio en las que ha participado (ver más arriba). En la tabla 1 se muestran los parámetros de las variables evaluadas que se han publicado en informes técnicos o revistas especializadas de acceso público. Siempre que ha sido posible, los índices de eficiencia se han expresado como la media de los valores recogidos en las publicaciones citadas. Cuando no se disponía de suficiente información externa o el desarrollo tecnológico de las versiones posteriores de

IdentiFlight había superado los parámetros indicados, se ha optado por citar los datos suministrados por el fabricante.

<b>EFICACIA DE IDENTIFLIGHT</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Índice</b>	<b>Referencias</b>
Detección de vuelos	>95 %	[12, 13, 14, 15, 16, 17]
Identificación de especies	>94 %	[12, 13, 14, 15, 16, 17]
Rango máximo de control	1.300 m	[12, 16, 18, 19, 21, 23, <i>IdentiFlight</i> ®]
Falsos negativos	3,2 %	[12, 14, 15, 16]
Reducción media de mortalidad	85 %	[18, 22]
Pérdida media de producción	0,84 %	[15, 16]
Especies identificables	51 especies Envergadura: ≈ 63-270 cm Longitud: ≈ 27-125 cm	[12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 23, <i>IdentiFlight</i> ®]

*Tabla 1. Datos de eficacia obtenidos por IdentiFlight para los parámetros analizados en los procesos de evaluación e investigaciones en los que ha participado. IdentiFlight®: información del fabricante.*

## Bibliografía

- [1] Saidur, R., Rahim, N.A., Islam, M.R. & Solangi, K.H. (2011). Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(5): 2423-2430. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.024>
- [2] Leung, D.Y. & Yang, Y. (2012). Wind energy development and its environmental impact: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(1): 1031-1039. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.024>
- [3] Dai, K., Bergot, A., Liang, C., Xiang, W. N., & Huang, Z. (2015). Environmental issues associated with wind energy—A review. *Renewable Energy* 75: 911-921. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.074>
- [4] Drewitt, A.L. & Langston, R.H. (2006). Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* 148(s1): 29-42. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00516.x>
- [5] Drewitt, A.L. & Langston, R.H. (2008). Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134(1): 233-266. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.015>
- [6] Marques, A.T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M.J.R., Fonseca, C., Mascarenhas, M. & Bernardino, J. (2014). Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation* 179: 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.08.017>
- [7] Smith J.A. & Dwyer J.F. (2016). Avian interactions with renewable energy infrastructure: An update. *The Condor* 118(2): 411-423. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-15-61.1>
- [8] May, R. (2017). Mitigation for Birds. En Perrow, M.R. (Ed.). *Wildlife and Wind Farms, Conflicts and Solutions. Volume 2. Onshore: Monitoring and Mitigation*. Pelagic Publishing. 124-144 pp.
- [9] De Lucas, M., Ferrer, M., Bechard, M.J., & Muñoz, A.R. (2012). Griffon vulture mortality at wind farms in southern Spain: Distribution of fatalities and active mitigation measures. *Biological Conservation* 147(1): 184-189. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.029>
- [10] Ferrer, M., Alloing, A., Baumbush, R., & Morandini, V. (2022). Significant decline of Griffon Vulture collision mortality in wind farms during 13-year of a selective turbine stopping protocol. *Global Ecology and Conservation* 38: e02203. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02203>

- [11] Gradolewski, D., Dziak, D., Martynow, M., Kaniecki, D., Szurlej-Kielanska, A., Jaworski, A. & Kulesza, W.J. (2021). Comprehensive bird preservation at wind farms. *Sensors* 21(1): 267. <https://doi.org/10.3390/s21010267>
- [12] McClure, C.J., Martinson, L. & Allison, T.D. (2018). Automated monitoring for birds in flight: Proof of concept with eagles at a wind power facility. *Biological Conservation* 224: 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.04.041>
- [13] Aschwanden, J. & Liechti, F. (2020). Testing of the automatic bird detection system Identiflight on the WindForS test field as part of nature conservation research (NatForWINSSENT). Swiss Ornithological Institute, Sempach. 38 pp.
- [14] Reichenbach, M., Reersd, H. & Greule, S. (Eds.) (2021). How well does IdentiFlight protect the red kite (*Milvus milvus*)? Studies on the effectiveness of a camera system to protect against collisions wind turbines. ARSU GmbH-Renewable Energies Europe e3 GmbH. 161 pp.
- [15] Ottvall, R. (2021). Test Av Automatiskt Övervaknings-System För Fågelskydd På Näsudden, Gotland. Energimyndigheten Region Gotland, Gotlands Vindelproducenter och Vattenfall Vindkraft Sverige AB. 38 pp. <https://static1.squarespace.com/static/5c80de55fd67930b728935b7/t/625885f6d6b9941f6641da55/1649968638499/Slutrapport+O%25CC%2588RNKOLL.pdf>
- [16] Rogers, D. (2022). Assessment of effectiveness of the Identiflight® avian detection system. Document Number: CH-PM-REP-0125. Goldwind Australia Pty Ltd. 98 pp. [https://cattlehillwindfarm.com/wp-content/uploads/2022/03/Assessment-of-IDF-Avian-Detection-System-FINAL\\_updated.pdf](https://cattlehillwindfarm.com/wp-content/uploads/2022/03/Assessment-of-IDF-Avian-Detection-System-FINAL_updated.pdf)
- [17] Reichenbach, M., Reersd, H., Greule, S. & Grimm, J. (2023). IdentiFlight als Schutzmaßnahme für den Seeadler (*Haliaeetus albicilla*). Untersuchungen zur Wirksamkeit sowie artenschutzrechtliche Einordnung. ARSU GmbH-Renewable Energies Europe e3 GmbH. 125 pp. <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Reichenbach2023.pdf>
- [18] McClure, C.J.W, Rolek, B.W., Dunn, L, McCabe, J.D., Martinson, L. & Katzner, T. (2021). Eagle fatalities are reduced by automated curtailment of wind turbines. *Journal of Applied Ecology* 58: 446-452. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13831>
- [19] McClure, C.J.W., Rolek, B.W., Braham, M.A., Miller, T.A., Duerr, A.E., McCabe, J.D., Dunn, L. & Katzner, T.E. (2021). Eagles enter rotor-swept zones of wind turbines at rates that vary per turbine. *Ecology and Evolution* 11: 11267-11274. <https://doi.org/10.1002/ece3.7911>

- [20] Linder, A.C., Lyhne, H., Laubek, B., Bruhn, D. & Pertoldi, C. (2022). Modeling Species-Specific Collision Risk of Birds with Wind Turbines: A Behavioral Approach. *Symmetry* 14(12): 2493. <https://doi.org/10.3390/sym14122493>
- [21] Rolek, B.W., Braham, M.A., Miller, T.A., Duerr, A.E., Katzner, T.E., McCabe, J.D., Dunn, L. & McClure, C.J.W. (2022). Flight characteristics forecast entry by eagles into rotor-swept zones of wind turbines. *Ibis* 164(4): 968-980. <https://doi.org/10.1111/ibi.13076>
- [22] McClure, C.J.W., Rolek, B.W., Dunn, L., McCabe, J.D., Martinson, L. & Katzner, T.E. (2022). Confirmation that eagle fatalities can be reduced by automated curtailment of wind turbines. *Ecological Solutions and Evidence* 3: e12173. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12173>
- [23] Rolek, B.W., Braham, M.A., Miller, T.A., Duerr, A.E., Katzner, T.E. & McClure, C.J.W. (2024). Variation in flight characteristics associated with entry by eagles into rotor-swept zones of wind turbines. *Ibis* 166(1): 308-314. <https://doi.org/10.1111/ibi.13264>

## RESTAURACIÓN Y CARBONO AZUL EN ANDALUCÍA: ESTUDIOS DE VIABILIDAD, ANÁLISIS DE PROBLEMAS Y EVALUACIÓN AMBIENTAL

*Hernández, I.<sup>1</sup>; García-Madero, M.<sup>2</sup>; Canosa, O.<sup>3</sup>, Brun, F.G.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Laboratorio de Carbono Azul, Departamento de Biología, Universidad de Cádiz,  
[ignacio.hernandez@uca.es](mailto:ignacio.hernandez@uca.es), Puerto Real (Cádiz).

<sup>2</sup>Allcot Mediterranea, [mgm@allcot.com](mailto:mgm@allcot.com), Madrid.

<sup>3</sup>Tecnoambiente, Parc Tecnològic del Vallés, [oliver.canosa@ext.tecnoambiente.com](mailto:oliver.canosa@ext.tecnoambiente.com), Cerdanyola  
(Barcelona), España.

**Palabras clave:** Angiospermas marinas; Carbono azul; Compensación de emisiones; Evaluación ambiental; Marismas mareales; Restauración ecológica.

### Resumen

A partir de la publicación del Estándar Andaluz para la certificación de proyectos de carbono azul, ha habido numerosas iniciativas sobre restauración ecológica para la implementación de proyectos de esta índole en ecosistemas de marismas mareales y angiospermas marinas. La colaboración interdisciplinar entre consultoras ambientales y científicos ha permitido abordar diferentes problemas que pueden condicionar el desarrollo de estos proyectos, incluyendo la escasez de datos preoperacionales o el posible uso de los créditos de carbono. Una de las cuestiones que se debe analizar es cómo abordar la evaluación ambiental, si fuera necesario, de cada caso concreto. En virtud de nuestra experiencia en proyectos de esta naturaleza se revisan los principales retos y problemas a los que se enfrentan los proyectos y sus implicaciones en cuanto a la evaluación ambiental de las actuaciones.

### Introducción

Tras la Conferencia de las Partes de Glasgow (COP26) tomó especial relevancia la conservación y restauración de los ecosistemas costeros para contribuir al cumplimiento de los compromisos adquiridos por los firmantes del Acuerdo de París (2015) de cara a alcanzar los objetivos de compensación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Estos ecosistemas albergan más de la mitad de todo el carbono (C) almacenado en los sedimentos marinos (el llamado C azul), a pesar de que ocupan menos del 1% de la superficie oceánica [1]. En Andalucía, como en toda España, hasta el último cuarto del siglo XX, los ecosistemas de C azul (marismas mareales y praderas de angiospermas marinas; Fig. 1) y sus servicios ecológicos fueron muy mal valorados por la ciudadanía y las administraciones. En el caso de las marismas mareales, su apropiación para el desarrollo urbanístico, la desecación para uso agrícola o ganadero y la alteración de su hidrología llevaron a que más del 70% de la superficie total existente en los inicios del siglo XX desapareciera [2]. Igualmente, las infraestructuras costeras, el desarrollo urbanístico, el marisqueo incontrolado o la contaminación

redujeron sensiblemente la superficie ocupada por praderas de angiospermas marinas con tasas muy superiores a las pérdidas por perturbaciones naturales [3]. Esta percepción del valor de los ecosistemas costeros cambió con la llegada del siglo XXI, y actualmente son numerosas las iniciativas para la recuperación y restauración de estos ecosistemas, destacando el Plan Estratégico para la Conservación y Uso Sostenible de los Humedales a 2030 que lleva a cabo el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD).



*Fig. 1. Ecosistemas costeros como sumideros de carbono que permiten la implantación de proyectos de carbono azul. A). Marisma mareal en el estuario del río Guadalete (Cádiz). B) Pradera de angiosperma marina (Cymodocea nodosa) en la bahía de Cádiz.*

Dada la política de lucha contra el cambio climático a nivel global, el valor e interés de los ecosistemas costeros como sumideros de C azul no ha hecho sino aumentar. Un ejemplo ha sido el proyecto europeo [Life BlueNatura](#) liderado por la Consejería de Sostenibilidad, Medioambiente y Economía Azul (CSMAEA) de la Junta de Andalucía. Este proyecto permitió por primera vez evaluar los reservorios de C en ecosistemas costeros de la región, así como estimar las tasas de secuestro en los sedimentos. Como entregable del proyecto, se publicó el Estándar andaluz para la certificación de créditos de C azul [4]. Este documento, el primero de esta índole en España, tiene por objeto proporcionar a los agentes involucrados en el desarrollo de proyectos de C azul en Andalucía, una guía clara sobre los requisitos mínimos, orientaciones administrativas y alternativas metodológicas para el diseño, implementación y seguimiento de proyectos de conservación/restauración en ecosistemas de C azul de la región.

Los proyectos de C azul tienen como objetivo mitigar las emisiones de GEI a través de la restauración, forestación y/o conservación de ecosistemas costeros: marismas mareales, praderas de angiospermas marinas o salinas [4], junto con manglares en países tropicales. El componente de mitigación puede comercializarse como créditos de C, lo cual contribuye a la financiación de los proyectos. El objetivo de este trabajo es contribuir a clarificar algunas cuestiones ambientales que surgen sobre estos proyectos para que la compensación de emisiones mediante estas iniciativas puedan ser una realidad a corto plazo.

## Material y métodos

Las iniciativas que han surgido desde el ámbito privado para el desarrollo de proyectos de C azul en distintos puntos de Andalucía se han incrementado tras la publicación del estándar andaluz. La participación directa como actores en numerosos proyectos de restauración ecológica con la finalidad de evaluar su potencial como proyectos de carbono azul nos ha permitido analizar su viabilidad, los problemas asociados sobre su tramitación ambiental y administrativa para que la compensación de emisiones pueda ser una realidad a medio plazo y la necesidad o no de una evaluación ambiental previa asociada. Este análisis se llevó a cabo mediante la colaboración entre científicos, gestores de la Administración ambiental, consultoras ambientales y el sector empresarial. A través de esta colaboración se incluyeron respuestas lo más precisas posibles a las cuestiones que se plantean sobre estos proyectos.

Los proyectos analizados se han propuesto para los siguientes entornos: Trebujena (Cádiz), ámbito del Parque Natural de Doñana (Sevilla), ámbito de los estuarios de los ríos Guadalete y Barbate (Cádiz), ámbito de las salinas del Parque Natural Bahía de Cádiz (Cádiz) y ecosistemas de praderas de angiospermas marinas en el mar Mediterráneo o el océano Atlántico andaluz.

Las implicaciones sobre la evaluación ambiental de los proyectos se estudiaron con el apoyo de la Ley estatal de Evaluación ambiental 21/2013 y la normativa sobre evaluación ambiental de la Comunidad Autónoma de Andalucía (Ley 7/2007 de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental).

## Resultados y Discusión

En la tabla 1 se incluyen ejemplos de proyectos de C azul que se están valorando en Andalucía y que podrían ser extensibles a otras regiones de España. En todos los proyectos ha de haber acciones proactivas para potenciar la absorción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el ecosistema, de forma que se garantice la adicionalidad, es decir, que las absorciones de CO<sub>2</sub> sean mayores en valor neto que en el escenario de no proyecto (o escenario de línea base). Las actuaciones son voluntarias, no como resultado de una regulación, y deben contribuir al desarrollo sostenible de una región.

Los problemas encontrados en algunos proyectos se refieren a que, en ocasiones, los promotores quieren desarrollar proyectos de C azul sin tener muy claro si lo que proponen se ajusta a estas características. Saben lo que quieren hacer (ej. inundar una marisma degradada o una planicie intermareal, desarrollar proyectos de agroecología mediante cultivos de *Salicornia*, recrear una pradera de *Posidonia oceanica* en un lugar muy poco propicio, etc.) pero las actividades encajan mal como proyectos de C azul, puesto que en ocasiones ni siquiera éste era el objetivo principal del proyecto. Hemos encontrado proyectos mal planteados, en los que no se asegura que los ecosistemas regenerados vayan a poder mantenerse en el tiempo (hay presiones ambientales no resueltas, no se han analizado las causas de la degradación del ecosistema, hay riesgo de subida del nivel del mar o daños por temporales, baja calidad del sustrato, insuficiente aporte de sedimento, mala elección del lugar, etc.). Estos casos difícilmente pueden ser considerados proyectos de C azul, están probablemente abocados al fracaso, y en caso de éxito van a generar muy pocos créditos de C (un

crédito de C equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que se conoce como UDA o Unidad de Adsorción).

Tabla 1. Ejemplo de proyectos de carbono azul y posibles actuaciones ligadas a los proyectos analizados.

Proyecto	Ejemplo de actuaciones
Restauración de marismas mareales	Recuperación de caños mareales, eliminación de barreras que impidan el flujo mareal o la entrada de sedimentos, recuperación de marismas ocupadas, mejora de la conectividad hidrológica o el flujo mareal, revegetación con plantas de marisma.
Restauración de praderas de angiospermas marinas	Eliminación de fondeos rudimentarios, eliminación de estructuras submarinas que ocupan o afectan a praderas, revegetación con esquejes o plántulas procedentes de semillas germinadas, ordenación de zonas de atraque de embarcaciones.
Conservación de marismas mareales	Mejora de la calidad del agua, eliminación de estructuras que ocupan o degradan las marismas, ordenación de actividades, mejora del estado ecológico preoperacional.
Conservación de praderas de angiospermas marinas	Mejora de la calidad del agua, eliminación de emisarios submarinos, control efectivo de actividades que generan degradación (marisqueo, pesca de arrastre).
Forestación en marismas mareales o praderas de angiospermas marinas	Incremento de la biomasa a través de plantaciones de haces de arribazón o de praderas donadoras ( <i>Posidonia oceanica</i> , <i>Cymodocea nodosa</i> ) o procedentes de viveros de semillas: angiospermas marinas o plantas de marisma ( <i>Salicornia</i> , <i>Sarcocornia</i> , <i>Mesembryanthemum</i> ...).
Conservación de salinas	Incremento de la superficie vegetada, gestión del sedimento extraído de los tajos o cristalizadores para su enterramiento, diseño de modelos mixtos marisma-salina.

Hay otra cuestión importante: los proyectos se implementan con un compromiso de vigencia a largo plazo: 50 años (ampliables a 100 años) en el caso del Estándar andaluz y hasta 100 años en el caso del estándar de la entidad privada Verra. Por ello, un promotor que quiera ver recompensado su proyecto ha de tener en cuenta que la inversión es a muy largo plazo, aunque existan mecanismos de flexibilidad para la obtención de las UDAs, y que se debe asegurar tanto el mantenimiento en el tiempo del ecosistema restaurado como que las comunidades partícipes del proyecto se vean directamente involucradas en el devenir del mismo.

Los proyectos de C azul pueden ser promovidos y desarrollados por administraciones públicas y promotores privados, bien de forma individual o a través de consorcios. En este caso es necesario el desarrollo de un acuerdo para el reparto de la financiación del proyecto y de las UDAs generadas. En el caso de Andalucía, las empresas tienen que estar registradas en el Sistema Andaluz de Compensación de Emisiones (SACE), ya que el objetivo de estos proyectos es únicamente la compensación de emisiones de GEI generadas de manera trazable con las huellas de C de las

organizaciones inscritas en dicho registro, según las metodologías aceptadas actualmente en esta región. El Estándar andaluz no permite en la actualidad que una empresa que no genere emisiones significativas de GEI con su actividad (por ejemplo, una explotación de acuicultura) pueda desarrollar un proyecto de C azul para posteriormente hacer uso de las UDAs o comerciar con ellas. Tampoco es posible por ahora bajo este estándar que particulares con una propiedad o una concesión administrativa en dominio público marítimo-terrestre (DPMT) lleguen a un acuerdo con un tercero para que éste desarrolle un proyecto de C azul, lo cual sí sería deseable.

En los estándares internacionales de C, como en el de Verra, la propiedad de las UDAs es del dueño legal de la tierra, y por tanto es el único que tiene el derecho de vender dichos créditos. Sin embargo, si esos créditos no tienen la aprobación del gobierno nacional con sus ajustes correspondientes en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (las reducciones previstas de las emisiones de GEI), solo podrán ser utilizados para compensación de GEI voluntarias.

Los proyectos se pueden implementar en marismas mareales, praderas de angiospermas marinas y salinas (artesanales o industriales) siempre que se demuestre adicionalidad. La Oficina Andaluza de Cambio Climático (OACC) ya incluye un [catálogo de proyectos](#) puestos a disposición de promotores para su desarrollo en el marco del SACE. Los proyectos en humedales de agua dulce son atractivos como proyectos de restauración ecológica. Sin embargo, en cuanto a la generación de créditos de C presentan limitaciones por un menor secuestro de C en el sedimento, al no existir flujos mareales y por la existencia de emisiones de GEI; metano (CH<sub>4</sub>) u óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que comprometen una efectiva adicionalidad.

Es importante tener en cuenta la existencia de concesiones de uso en zonas de DPMT puesto que las concesiones se otorgan para un fin determinado y el cambio de uso puede conllevar limitaciones para las actuaciones necesarias en un proyecto de C azul, incluyendo el permiso necesario otorgado por una Administración, la existencia de subvenciones para el desarrollo exclusivo de una actividad, el pago de cánones específicos, la limitación en la venta de “productos” como los créditos no mencionados en la concesión, etc.

Otra cuestión muy importante analizada ha sido qué se puede hacer con los créditos de carbono azul generados por un proyecto. Por lo que conocemos actualmente, en España falta aún claridad en cuanto al marco legal referente a los derechos sobre los créditos de C derivados de estos proyectos. En el caso de Andalucía, las UDAs generadas sirven para la autocompensación de emisiones de empresas radicadas en Andalucía o para la cesión de créditos en el marco del SACE entre organizaciones con huellas inscritas en dicho Registro, sin que esté previsto por ahora la posibilidad de vender los créditos generados por un proyecto de estas características. Por lo que se refiere al ámbito competencial del Estado, no existe un escenario decidido por el que el Estado Español vaya a emitir las Cartas de Ajuste Correspondiente por las cuales una persona física o jurídica en un tercer país pueda comprar los créditos generados por un proyecto de C azul en nuestro país sin miedo a caer en doble contabilidad; es decir, que el país comprador y el vendedor se anoten en sus inventarios nacionales las reducciones. La intención por ahora es la utilización de los créditos para cumplir los objetivos climáticos del país según los compromisos adquiridos frente a la Unión Europea. Esto limita

de momento la posibilidad de vender los créditos de C en el mercado internacional. Resulta evidente que este mercado va a evolucionar rápidamente en los próximos años y es muy posible que esto se regule a nivel de toda la Unión Europea con la futura Certificación de Remoción de Carbono.

El análisis de los proyectos ha permitido constatar que existen numerosas herramientas para su implementación. Desde la página web de la [OACC de la Junta de Andalucía](#) y del [proyecto Life Bluenatura](#) se puede acceder al Estándar Andaluz, así como a un documento metodológico para acometer los proyectos y a una herramienta de cálculo y su manual para poder estimar la línea de base preoperacional y los créditos *ex ante* (estimados antes de desarrollar el proyecto) y *ex post* (medidos a diferentes intervalos de tiempo tras la puesta en marcha del proyecto). Esta herramienta dispone de una amplia base de datos para el caso de que no se disponga de información generada en el ámbito de actuación. Además, existen muy buenos manuales para proyectos de C azul, como el publicado por la UICN [5] para proyectos en Europa o el Mediterráneo, o los manuales de *The Blue Carbon Initiative* [6] o el de Verra [7]; éste último de lectura compleja. Recientemente, la Fundación Calouste Gulbenkian ha publicado una completa hoja de ruta para el desarrollo de proyectos de C azul en Portugal [8]. Para praderas de *P. oceanica* existe un manual [9] que estima los créditos de C generados por un proyecto de restauración en este ecosistema singular del Mediterráneo.

La respuesta a una eventual evaluación ambiental de los proyectos de C azul analizados no es sencilla ni inmediata. Los proyectos de restauración ecológica por sí mismos no están incluidos en los anexos I o II de la Ley 21/2013 y ello podría llevar a la conclusión de que no es necesaria una evaluación de impacto ambiental (EIA) ordinaria o simplificada. Sin embargo, en espacios naturales protegidos hay que analizar detenidamente si las actuaciones ligadas a un proyecto de C azul durante la fase de construcción (ej. demolición de estructuras, alteración de flujos, removilización de sedimentos, movimientos de tierra, etc), pudieran afectar directa o indirectamente a Espacios Red Natura 2000, por lo que en ese caso sería necesaria una EIA simplificada. Además, en la última modificación por el RD 445/2023 del anexo III de la Ley 21/2013, se han regulado de manera más estricta los criterios generales para sometimiento de EIA simplificada en proyectos en espacios naturales protegidos. El promotor puede asimismo solicitar que se realice una EIA ordinaria si así lo estima conveniente.

Por otra parte, alguno de los proyectos de C azul que hemos analizado podrían, por su naturaleza, requerir EIA ordinaria o simplificada (Tabla 2), por lo que en estos casos los promotores deberían informarse sobre la pertinencia de su evaluación ambiental, revisando tanto la normativa estatal como la autonómica de la comunidad en la que se fuera a implementar dicho proyecto. En este sentido, sería interesante que las futuras modificaciones de la ley tuvieran en consideración los proyectos de restauración ecológica en los anexos I y II de la Ley 21/2013, especialmente si afectan a espacios naturales protegidos o son de aplicación los criterios del anexo III.

Grupo de proyecto	Ejemplo de caso de estudio	Tipo de evaluación
Proyectos que supongan un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 100 ha. Ley 21/2013. Anexo I 9b).	Cambio de uso acuícola a restauración para generación de créditos de C.	EIA ordinaria
Afectación directa o indirecta a un espacio de la Red Natura 2000. Ley 21/2013. Art. 7.2b	Presencia de especies en peligro en lagunas artificiales (esteros de acuicultura) que se colmatan por un proyecto de C azul.	EIA simplificada
Proyectos que supongan un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 50 ha o superior a 10 ha si cumplen los criterios generales 1 o 2 del anexo II. Ley 21/2013 (modificada por el RD 445/2023). Anexo II 9l.	Cambio de uso acuícola a restauración de marismas para generación de créditos de C	EIA simplificada.
Actuaciones no incluidas en los anexos I y II de la Ley 21/2013 que puedan afectar de forma apreciable, directa o indirectamente a Espacios Protegidos Red Natura 2000 (Decreto-ley 3/2024 de la Junta de Andalucía)	Presencia de especies en peligro en lagunas artificiales (esteros de acuicultura) que se colmatan por un proyecto de C azul.	Autorización Ambiental Unificada Simplificada (Andalucía). Incluye EIA simplificada.

*Tabla 2. Casos de estudio sobre la base de proyectos de carbono azul analizados que podrían requerir evaluación ambiental.*

### Perspectivas futuras

Con la reciente creación del [grupo español de expertos en C azul](#), se pretenden clarificar las cuestiones aquí planteadas y 1) abordar los retos futuros de los proyectos fomentando la sinergia entre los especialistas de los distintos ámbitos profesionales, 2) servir de referencia para los sectores interesados y 3) promover la coordinación en el ámbito nacional y europeo, ámbito para el que ya hay un [grupo de trabajo](#). Algunas limitaciones al desarrollo de los proyectos se han apuntado por la comunidad científica internacional [10] y tienen que ver con la escasez de datos sobre los reservorios de C en gran parte de los ecosistemas costeros existentes en España, lo que incrementa la incertidumbre para las estimaciones de la línea de base o estado preoperacional. Existe además una evidente falta de datos sobre flujos de CH<sub>4</sub> y de N<sub>2</sub>O en los ecosistemas [11], GEI con un potencial de calentamiento atmosférico muy superior al del CO<sub>2</sub> (25 y 296 mayor, respectivamente), incluyendo variaciones estacionales de los flujos o la influencia de variables ambientales que los afectan. Además, no existen prácticamente datos sobre cómo cambian los flujos de estos GEI una vez restaurada una zona. Ecosistemas costeros como las salinas deben ser estudiados con más detalle en cuanto a su contribución como proyectos de C azul a partir de actuaciones que generen adicionalidad, ya que actualmente, gran parte del C almacenado en los sedimentos es devuelto de nuevo a la atmósfera

con la consiguiente oxidación, debido a la retirada del sedimento de los esteros cada cierto tiempo. Es decir, estos ecosistemas tienen un riesgo alto de no permanencia del C, pasando de ser sumideros a emisores si no se gestionan adecuadamente.

Otra cuestión a abordar serán los costes de seguimiento de los proyectos y verificación de las UDAs. Para el seguimiento no existe actualmente una metodología única, ya que es un campo que está evolucionando muy rápido [12], [13], [14]. La metodología utilizada debe llegar a un equilibrio entre la certeza y fiabilidad en las estimaciones y su coste económico. Es previsible que los seguimientos se apoyen en vuelos con drones, observación remota de alta resolución, recorridos a pie y toma de referencias con GPS diferencial. Los balances de C se podrán apoyar en relaciones indirectas entre materia orgánica y C orgánico en el sedimento [15] junto con la colocación de sistemas basados en tablas de erosión-sedimentación y/o varillas largas de erosión/sedimentación dispuestas al comienzo del proyecto y revisadas en distintos tiempos de verificación. En todo caso, será necesario el concurso de personal experto en verificación de créditos de C, un ámbito de actuación novedoso del que hay falta de profesionales en España. Para ello, la Comisión Europea está trabajando en una propuesta regulatoria [16] que establezca un marco para la certificación de créditos de C en el continente.

El mercado internacional de estos créditos está en una situación actual de alta vulnerabilidad por críticas en cuanto al riesgo de sobrestimación de las reducciones de emisiones (créditos fantasmas), o el riesgo de que un crédito se use más de una vez, es decir, doble contabilidad. Para ello, a partir de la COP28, se está trabajando a nivel internacional, con propuestas como la Iniciativa sobre la Integridad de los Mercados Voluntarios de Carbono (VCMI) o el Consejo de Integridad del Mercado Voluntario del Carbono (ICVCM) con el objetivo común de establecer un marco sólido que mejore la comprensión y la integridad de los mercados de C.

Un estudio de lo que van a suponer los proyectos de C azul en los próximos años se ha acometido en análisis DAFO. En la tabla 3 incluimos como ejemplo cuatro de los numerosos puntos para cada subapartado que han resultado de una mesa de trabajo sobre C azul y cambio climático (proyecto Blue-SDG), junto con aportaciones posteriores de expertos. Este análisis puede servir para el diseño de una estrategia a corto-medio plazo por parte de las administraciones.

En conclusión, la consideración de la restauración y conservación de ecosistemas costeros para la generación de créditos de C azul debe integrarse en una visión más amplia sobre la mejora de servicios y funciones ecológicas que emanen de estos ecosistemas, de forma que los proyectos sean debidamente apreciados y valorados por la sociedad [10]. En particular, los servicios de regulación (mejora de la calidad del agua, control de la erosión costera, etc.) y culturales (servicios recreativos, servicios educativos, etc.) deben ser un valor añadido de los proyectos y deben ser valorados en su justa medida en forma de créditos de servicios ecológicos. No deberíamos confiar en que los proyectos de C azul para la compensación de emisiones sean la solución al problema del cambio climático, sino un método de financiación climática. La mitigación debe estar basada principalmente en la disminución de las emisiones de GEI y en frenar las causas de degradación de los ecosistemas a

nivel global. Sin actuaciones concretas sobre los procesos que inciden en el calentamiento global, estos proyectos van a significar muy poco en nuestra capacidad para mitigar el cambio climático.

<b>Debilidades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complejidad de los procesos ligados al ciclo biogeoquímico del C en los ecosistemas costeros.</li> <li>• Incertidumbre de los ecosistemas salineros como sumideros de C.</li> <li>• Falta de datos sobre carbono orgánico en los distintos reservorios.</li> <li>• Coste económico del seguimiento de los proyectos.</li> </ul>
<b>Amenazas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normativa compleja y falta de procedimientos reglados.</li> <li>• Mercados de C no verificados desde la Administración.</li> <li>• Mala prensa de los mercados de C.</li> <li>• Freno para los inversores por el plazo temporal de los proyectos y precio del crédito de C insuficiente para cubrir el coste de abatimiento (coste de generar una UDA).</li> </ul>
<b>Fortalezas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Publicación del estándar andaluz para la certificación de créditos de C azul y herramientas de cálculo.</li> <li>• Grupos de investigación consolidados en España sobre ecología de sistemas litorales.</li> <li>• Enorme importancia de los servicios ecológicos generados en los ecosistemas de C azul.</li> <li>• Los ecosistemas en los que se implantarán proyectos están en gran parte protegidos (LIC, Ramsar, Red Natura 2000...)</li> </ul>
<b>Oportunidades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Futura Ley de Restauración de la Naturaleza.</li> <li>• Oportunidad inmejorable para la I+D+i y la generación de empleo verde dada la gran cantidad de ecosistemas litorales degradados.</li> <li>• Empresas con fuerte compromiso ambiental.</li> <li>• Desarrollo de sinergias entre científicos, consultores y la Administración (<a href="https://g3eca.com">https://g3eca.com</a>).</li> </ul>

*Tabla 3. Algunos aspectos a considerar para una estrategia futura sobre proyectos de carbono azul en España para los próximos años.*

## Referencias

- [1] Macreadie PI, Costa MDP, Atwood TB, Friess DA, Kalleway JJ, Kennedy H, Lovelock CE, Serrano O, Duarte CM (2021). *Blue carbon as a natural climate solution*. *Nature Reviews Earth & Environment* 2: 826-839.
- [2] MITECO (2023). *Plan Estratégico de Humedales a 2030*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid, 122 pp.
- [3] Sánchez-Lizaso JL, Ruiz JM, Bernardeau-Esteller (2014). Causas del deterioro y pérdida de praderas marinas en España: el impacto del hombre. En: *Atlas de las praderas marinas de España*. Ruiz JM, Guillén JE, Ramos-Segura A, Otero MM (eds). IEO-IEL-UICN, pp. 70-89.
- [4] Estándar andaluz de carbono para la certificación de créditos de carbono azul. Junta de Andalucía. Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul.
- [5] UICN (2021). *Manual para la creación de proyectos de carbono azul en Europa y el Mediterráneo*. Otero MM (ed), 144 pp.
- [6] Howard J, Hoyt S, Isensee K, Pidgeon E, Telszewski M (eds.) (2014). *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, UICN. Arlington, Virginia, USA, 186 pp.
- [7] Emmer I, Needelman B, Emmett Mattox S, Crooks S, Beers L, Megonigal P, Myers D, Oreska M, McGlacery K, Schoch D (2023). *VM0033 methodology for tidal wetland and seagrass restoration*. Silvestrum Climate Associates, Restore Americas's Estuaries, 135 pp.
- [8] De Oliveira RX (2023). *Roteiro para um mercado voluntário em Portugal*. Fundação Calouste Gulbenkian-ANP-CCMA, Portugal, 86 pp.
- [9] Compte A, Barreyre J, Regner H, Bombail S, Bennani-Smires, de Rafael R (2023). *Method de protection des herbier de Posidonie eligible pour l'obtention du label bas-carbone*. EcoAct, 42 pp.
- [10] Macreadie PI, Anton A, Raven JA, Beaumont N et al (2019). *The future of blue carbon science*. *Nature Communications* 10: 3998.
- [11] Sánchez-Rodríguez J, Sierra A, Jiménez-López D, Ortega T, Gómez-Parra A, Forja J (2022). *Dynamic of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O in the Guadalquivir estuary*. *Science of the Total Environment* 805: 150193.
- [12] Akhand A, Chanda A, Dasgupta R (2022). *Advancement in measurement and estimation methods of blue carbon studies. Assessing, mapping and modelling of mangrove ecosystem services in the Asia-Pacific Region*: 127-142.
- [13] Araya-Lopez R, de Paula Costa MD, Wartman M, Macreadie PI (2023). *Trends in the application of remote sensing in blue carbon science*. *Ecology and Evolution* 13: e10559.
- [14] Pham TD, Ha NT, Saintilan N, Skidmore A, Phan DC, Le NN, Friess DA (2023). *Advances in Earth observation and machine learning for quantifying blue carbon*. *Earth-Science Reviews* 243: 104501.
- [15] Maxwell TL, Rovai AS, Adame MF, Adams JB et al (2023). *Global data set of soil organic carbon in tidal marshes*. *Scientific Data* 10: 797.

- [16] European Commission (2022). Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a Union certification framework for carbon removal. COM(2022) 672 final, 2022/0394 (COD).

## **DESARROLLO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA LA DOCENCIA EN VIGILANCIA Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL DE OBRAS EN EIA: LAVCAO (LABORATORIO VIRTUAL DE CONTROL AMBIENTAL DE OBRAS)**

*Iglesias Merchán, C. Pavón García, I.; Asensio Rivera, C.; Gómez Villarino, M.T.; Salazar Calderón,  
J.C.; Navarro García, I.; Fernández-Avilés Pedraza, D.*

Universidad Politécnica de Madrid, [carlos.iglesias@upm.es](mailto:carlos.iglesias@upm.es), Madrid, España.

**Palabras clave:** Fase de obras; Fase de explotación; Gamificación; Innovación educativa; Seguimiento ambiental; Vigilancia ambiental.

### **Resumen**

La vigilancia y seguimiento ambiental de proyectos es una debilidad conocida en la práctica de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), pese a resultar necesaria para garantizar el cumplimiento de las condiciones de las declaraciones de impacto ambiental y conocer el modo en el que evolucionan impactos y medidas mitigadoras. Sin embargo, pocas veces se advierte que la atención a esta fase de la EIA también puede resultar insatisfactoria en el ámbito académico. En esta comunicación se presenta el Laboratorio virtual de Control Ambiental de Obras (LavCAO), de la Universidad Politécnica de Madrid, un recurso tecnológico basado en herramientas de desarrollo de videojuegos para contribuir a la mejora de esta situación desde las enseñanzas relacionadas con la EIA. Este laboratorio permite que los estudiantes realicen prácticas de vigilancia y seguimiento ambiental de obras en escenarios virtuales y realistas.

### **Introducción**

La vigilancia y el seguimiento ambiental de proyectos sometidos a procedimiento de evaluación de impacto ambiental (EIA) se consideran cruciales para lograr una mayor credibilidad y rigor de las evaluaciones, también en la evaluación ambiental estratégica (EAE) y la evaluación de impacto en salud (EIS) [1]. Sin embargo, basta con revisar las conclusiones de distintas ediciones del congreso nacional de evaluación de impacto ambiental (CONEIA) para advertir que la vigilancia y el seguimiento ambiental constituyen una debilidad preocupante del sistema. Esta situación lastra el desarrollo de buenas prácticas tanto en el diseño como ejecución de medidas eficaces de mitigación del impacto ambiental de los proyectos [2]. En este sentido, su inclusión en la normativa no garantiza necesariamente que el seguimiento se aplique realmente en la práctica [3]. De hecho, esta deficiencia resulta común en muchos países de nuestro entorno y en distintos sectores de actividad [3 y 4].

No obstante, la dimensión que va adquiriendo la evaluación ambiental con el tiempo hace que ya existan titulaciones universitarias en las que el seguimiento y control ambiental de obras se consideran como una materia específica en sus planes de estudios. Por ejemplo, es así en el Grado de Ingeniería del Medio Natural de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Donde la vigilancia y el seguimiento ambiental reciben mayor atención que la que se les puede prestar cuando son un capítulo dentro, en el mejor de los casos, de asignaturas de EIA en titulaciones de Ciencias Ambientales, Ingeniería Forestal, Biología, etc. o una pequeña parte del temario incluido en otras asignaturas relacionadas con el medioambiente en otras titulaciones de Arquitectura o Ingeniería, como la Civil, Minas, Industrial, etc.

En esta comunicación se presenta el laboratorio virtual LavCAO (Laboratorio virtual de Control Ambiental de Obras de la Universidad Politécnica de Madrid, UPM) para el desarrollo de ejercicios de vigilancia y seguimiento ambiental sobre la base de un ejemplo de construcción de un proyecto sometido a procedimiento de EIA. Se trata de un laboratorio 3D creado con tecnologías propias de videojuegos que incluye espacios, herramientas o procedimientos que simulan situaciones realistas de una obra de construcción que, difícilmente, se pueden reproducir en un aula o encontrar accesibles en el entorno de una Escuela o Facultad. De este modo, se busca reforzar la importancia de esta fase crucial desde el mismo momento de la formación de los futuros profesionales de la EIA.

### **Material y Métodos**

La UPM desarrolla desde el año 2013, a través del Gabinete de Tele-Educación (GATE), el denominado servicio de laboratorios virtuales UPM[3DLabs] (<https://3dlabs.upm.es/web/index.php>) en colaboración con docentes de diferentes Escuelas de Ingeniería y Arquitectura para la creación de prácticas de laboratorio asociadas a asignaturas de diversas enseñanzas en un escenario simulado [5]. LavCAO es un proyecto de innovación educativa ubicado en UPM[3DLabs] que, a su vez, reúne a varios profesores de diferentes Escuelas de la UPM.

En la versión actualmente disponible de LavCAO, se presentan los escenarios de seguimiento de la contaminación acústica causada por la construcción y la puesta en funcionamiento de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) en un entorno característico de lo que suele denominarse interfaz urbano-forestal. Mediante un escenario virtual, se representa una ubicación real donde los estudiantes pueden realizar un trabajo de inventario ambiental en la situación previa a la obra, de vigilancia ambiental durante las obras de ejecución de la EDAR y de seguimiento ambiental en la fase de funcionamiento. Todo ello evitando los peligros inherentes a cualquier obra de construcción, con la comodidad de poder repetir los ejercicios cuantas veces necesite el estudiante, a cualquier hora del día y desde cualquier PC con conexión a Internet.

Para el diseño y desarrollo de LavCAO se ha empleado: en primer lugar, Unity 3d (Unity Technologies). Unity es un motor de videojuegos que permite exportar todos sus proyectos a un gran número de plataformas destino, en este caso, la exportación ha sido a WebGL. Su lenguaje principal de programación es C#. En segundo lugar, se han empleado Blender (Blender Foundation) y Substance 3D Painter (Adobe) como herramientas de diseño 2D y 3D. Blender está enfocado especialmente al modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos tridimensionales. Substance 3D Painter es un software de pintura 3D que permite texturizar y renderizar mallas 3D.

En el proceso de creación del laboratorio se ha empleado la metodología ágil Scrum (Scrum.org). Se ha diseñado una arquitectura software basada en los principios SOLID y en los patrones de diseño [6] y se han aplicado los principios del código limpio [7].

## Resultados

El principal objetivo de UPM[3DLabs] es la creación de experiencias docentes educativas a través de la realidad virtual, desarrollando *serious games* para ponerlos a disposición de todos los docentes y estudiantes de la UPM.

En la actualidad, la versión de LaVCAO Acústica permite el acceso a estudiantes y público en general a cinco escenarios virtuales, donde un avatar se desenvuelve en las siguientes situaciones posibles:

1. Escenario inicial: El avatar llega en furgoneta a la zona de estudio (Figura 1) y equipado con un sonómetro (Figuras 2A, 2B y 2C) y otras herramientas complementarias (anemómetro, calibrador, Tablet, etc.) puede desplazarse a los emplazamientos que considere para realizar una caracterización sonora en la situación previa a la fase de obras.
2. Escenario intermedio: Se corresponde con la fase de obras (Figura 3A, 3B y 3C) y el estudiante puede desplazar el avatar a los lugares que considere convenientes para evaluar e impacto acústico durante la construcción de la EDAR sobre los potenciales receptores del entorno.
3. Escenario final: Se corresponde con la fase de funcionamiento de la EDAR y el avatar puede realizar las mismas tareas de las fases anteriores para medir, en este caso, el impacto por ruido causado por las instalaciones de la EDAR en fase de funcionamiento.
4. Escenario de medidas mitigadoras: El avatar puede hacer mediciones en la misma situación que en el escenario 3 o escenario final. A continuación, en caso de necesidad, puede diseñar e instalar pantallas acústicas y repetir las mediciones en el mismo lugar que antes de la instalación de esta medida mitigadora para verificar su eficacia (Figura 4). Además de la ubicación, se permite a los estudiantes seleccionar diferente tipología de pantallas antirruído

y sus dimensiones y ubicación. También tienen la posibilidad de elaborar el presupuesto de esta medida mitigadora.

5. Escenario de medición de la potencia emisora: En caso de tener que verificar la potencia emisora de la maquinaria de obra, existe un escenario específico para ofrecer la posibilidad de realizar esta tarea para verificar la potencia emisora de una excavadora en una situación que se corresponde con el escenario intermedio.



*Figura 1. Vista general del avatar dirigiéndose a la zona de estudio con sus herramientas antes de la ejecución de la obra de la EDAR.*

El escenario general posee ciertos elementos de configuración que dota de aleatoriedad, por ejemplo, a los movimientos de la maquinaria y algunos otros parámetros que influyen en las características de las fuentes emisoras para que cada estudiante afronte un ejercicio diferente.

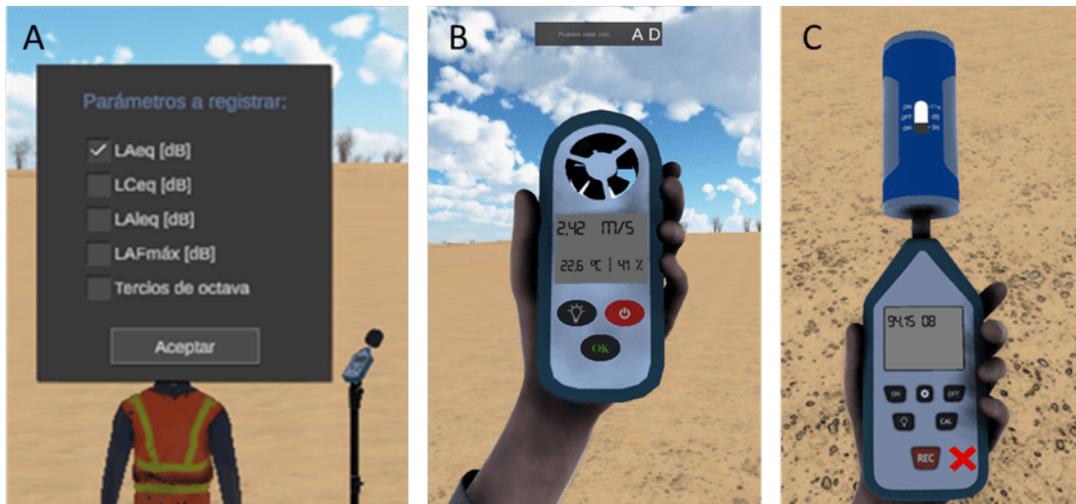


Figura 2. A) Ejemplo de menú con opciones de configuración del sonómetro. B) Primer plano de medición con el anemómetro-termómetro-higrómetro. C) Primer plano del proceso de calibración del sonómetro.

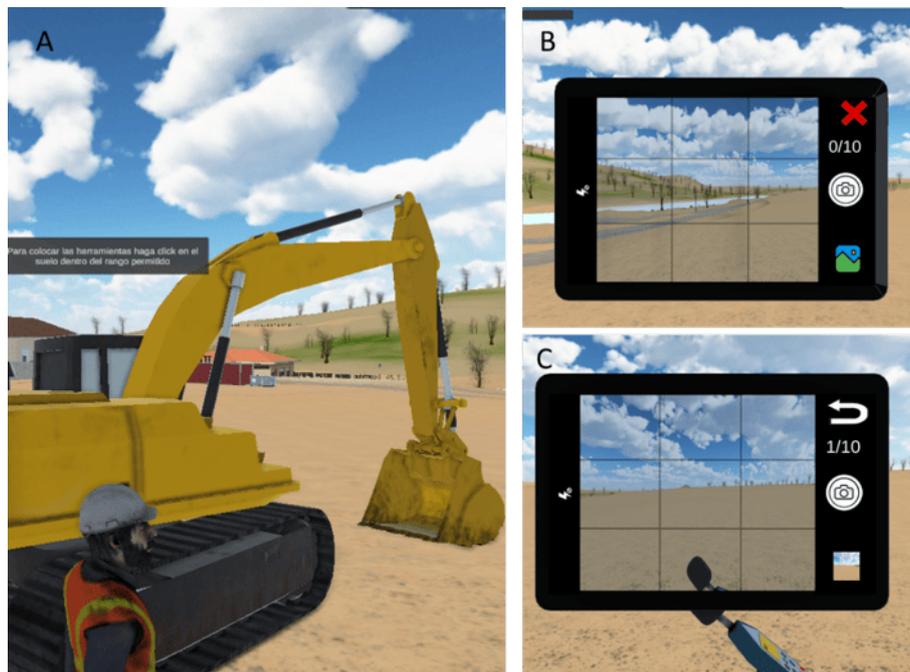


Figura 3. A) Vista del avatar desplazándose por las proximidades de la excavadora durante la fase de obras. B y C) Dos ejemplos de toma de fotografías desde un punto de medición para ilustrar la descripción de la zona en el informe de los estudiantes.



*Figura 4. Vista del avatar dirigiéndose a las mismas localizaciones donde ya realizó mediciones antes de la instalación de las pantallas acústicas para evaluar su eficacia en la fase de seguimiento ambiental.*

## **Discusión y Conclusiones**

LaVCAO ya es accesible y se encuentra en fase de pruebas y detección de errores. La mayoría de las experiencias han sido realizadas por estudiantes de la UPM, pero estará disponible en abierto para el público general.

Las tecnologías actualmente disponibles impulsan una revolución en las enseñanzas universitarias, que también llega a los métodos de enseñanza aplicados a la evaluación ambiental. La posibilidad de crear escenarios virtuales cargados de realismo, donde los futuros egresados entrenen sus capacidades en situaciones propias de la vida real, constituye un recurso impensable e imposible de reproducir en las aulas hasta hace poco. Se espera que permita ilustrar a los estudiantes de distintas titulaciones la realidad de una parte importante de la evaluación ambiental y que contribuya a mejorar las capacidades de nuestros futuros profesionales, ya experimentados en la elaboración de informes basados en datos tomados en situaciones que simulan la realidad.

## Referencias / Bibliografía

- [1] Iglesias-Merchan C, Dominguez-Ares E. 2020. Challenges to integrate Health Impact Assessment into Environmental Assessment procedures: the pending debate. *Impact Assessment and Project Appraisal* 38(4), 299-307.
- [2] Marshall R, Arts J, Morrison-Saunders A. 2005. International Principles for Best Practice EIA Follow-Up. *Impact Assessment and Project Appraisal* 23, 175-181.
- [3] Morrison-Saunders A, Baker J, Arts J. 2003. Lessons from practice: towards successful follow-up. *Impact Assessment and Project Appraisal* 21(1):43–56
- [4] Jones R, Fischer TB. 2016. EIA follow-up in the UK—a 2015 update. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management* 18(01):1650006.
- [5] Contreras D, Fernández-Avilés D, Salazar Calderón J. 2015. Software architecture implementation based on OpenSim. 9th International Technology, Education and Development Conference. INTED2015 Proceedings (págs. 4982-4987), Madrid, 2015.
- [6] Shvets A. Sumérgete en los patrones de diseño. Refactoring.Guru, Pamplona, 2019.
- [7] Martin RC. Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship. Pearson Education Inc., New Jersey, 2008.

## **CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA**

*Vázquez Vázquez, I.; Beazley Rincón, Miriam*

Ideas Medioambientales, S.L., [ideas@ideasmedioambientales.com](mailto:ideas@ideasmedioambientales.com), Albacete, España

**Palabras clave:** Reservas de CO<sub>2</sub>; Stock de CO<sub>2</sub>; Sumideros de CO<sub>2</sub>; ACV; Huella de carbono; Solar fotovoltaica.

### **Resumen**

Se realiza el cálculo de huella de carbono de una planta solar midiendo la totalidad de los gases de efecto invernadero o GEI emitidos por efecto directo o indirecto provenientes del desarrollo del proyecto durante todo su ciclo de vida. Su cálculo proporciona un resultado que puede ser utilizado como un indicador ambiental que servirá de referencia para establecer medidas de reducción efectivas.

Este estudio tendrá en cuenta entre otros aspectos los siguientes:

1. Emisiones evitadas por la generación renovable.
2. Análisis de ciclo de vida de la planta.
3. Cálculo de la variación del sumidero de carbono debido a los cambios de uso de suelo.

### **Introducción**

El cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) han impulsado el uso de energías renovables. Este estudio se centra en calcular la huella de carbono de una planta solar fotovoltaica, un indicador crucial para medir el impacto ambiental de esta tecnología a lo largo de su ciclo de vida. La evaluación se realiza de acuerdo con la Ley 21/2013 de evaluación ambiental [1] y la resolución que convoca la cuarta subasta para el otorgamiento del régimen económico de energías renovables [3], la cual exige la inclusión de un análisis detallado de la huella de carbono.

## Material y Métodos

Para el cálculo de la huella de carbono se emplean las siguientes metodologías:

1. Emisiones evitadas por generación renovable: Se calcula la cantidad de emisiones que se evitan gracias a la producción de energía solar en lugar de energía procedente de una central de ciclo combinado (CCC) sin captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Para ello se multiplica los datos de actividad (MWh generados) por el factor de emisión correspondiente.
2. Análisis del Ciclo de Vida (ACV): Se evalúan las emisiones de GEI mediante el software de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) SimaPro 9.4 desarrollado por PRÉ Consultants en 1990 con usuarios en más de 60 países. Dispone de gran cantidad de datos de inventario (LCI) y una interface de usuario dispuesta siguiendo la metodología ISO 14040 y 14044. En este caso se ha aplicado como fuente de datos Ecoinvent v3. La incertidumbre de los datos se puede calcular en los procesos unitarios de Ecoinvent utilizando análisis de Monte Carlo. Se ha trabajado con unit process para una mayor transparencia en base a la metodología de impacto europea CML-IA baseline V3.08 / EU25. El proceso evaluado, dependiendo de la tecnología, ha sido para una planta con similares características en España.
3. Cambio de uso del suelo: Se analizan las emisiones asociadas al cambio de uso del suelo siguiendo la metodología planteada en la “Decisión de la Comisión Europea de 10 de junio de 2010, sobre directrices para calcular las reservas de carbono en suelo” [2], basada a su vez en la Guías del IPCC de naciones Unidas para inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero. Se ha tenido en cuenta dos elementos: el carbono orgánico en suelo (COS) para una determinada región geográfica y la reserva de carbono en la vegetación por encima y por debajo del suelo (CVeg) en función del uso de suelo.

## Resultados

Los resultados para el caso de estudio de una planta solar fotovoltaica de 50 MWp que ocupa una superficie de 100 ha de cultivos de cereal de secano son:

1. Emisiones evitadas por generación: 1.110 ktCO<sub>2</sub>e evitadas en comparación con una CCC.
2. Análisis del Ciclo de Vida (ACV): 1.190 ktCO<sub>2</sub>e evitadas en comparación con una CCC.
3. Cambio de uso del suelo: 3 ktCO<sub>2</sub>e evitadas gracias al cese de la actividad agrícola.

En definitiva, se estima que la planta solar objeto de estudio evita la emisión de 2.303 kt de CO<sub>2</sub>e durante sus 30 años de vida útil.

### 1. Emisiones por generación



### PSF que ocupa 100 ha de cereal de secano

#### 2. Emisiones por cambio de uso de suelo



#### 3. ACV



Figura 1. Principales resultados del análisis de huella de carbono de la planta solar fotovoltaica.

## **Conclusiones**

Se compara la huella de carbono de la planta solar con la de una central de ciclo combinado, destacando la reducción significativa de emisiones lograda con la energía solar.

## **Discusión**

Se proponen mejoras para futuras instalaciones de plantas solares, como la plantación de vegetación que actúe como sumidero de carbono y las medidas de prevención de la erosión entre otras medidas compensatorias que están exigiendo diferentes comunidades autónomas [4].

Respecto a la metodología de cálculo resulta interesante en futuros análisis incluir variaciones en el carbono orgánico superficial derivadas de los diferentes métodos de producción agrícola que presentan notables diferencias (García et al., 2008) [5].

### **Referencias / Bibliografía:**

- [1] Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.
- [2] Decisión de la Comisión, de 10 de junio de 2010, sobre directrices para calcular las reservas de carbono en suelo a efectos del anexo V de la Directiva 2009/28/CE.
- [3] Resolución de 2 de agosto de 2022, de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se convoca la cuarta subasta para el otorgamiento del régimen económico de energías renovables al amparo de lo dispuesto en la Orden TED/1161/2020, de 4 de diciembre
- [4] <https://ideasmedioambientales.com/sumidero-de-co2-de-una-planta-fotovoltaica/>
- [5] García, A., Laurín, M., Llosá, M. J., González, V., Sanz, M. J., & Porcuna, J. L. (2008). CONTRIBUCIÓN DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COMPARACIÓN CON LA AGRICULTURA CONVENCIONAL. *Agroecología*, 1, 75–88. Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/169>

## **APLICACIÓN DE SISTEMAS DE MODELIZACIÓN HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE PROYECTOS FOTOVOLTAICOS; AFECCIÓN A CAUCES E INCIDENCIA EN EL RÉGIMEN DE CORRIENTES.**

*Ortega Cifuentes, J.; Navarro Sánchez, M.*

Ideas Medioambientales, S.L.; [joaquin@ideasmedioambientales.com](mailto:joaquin@ideasmedioambientales.com);  
[mirian@ideasmedioambientales.com](mailto:mirian@ideasmedioambientales.com); Albacete, España.

**Palabras clave:** Riesgos; Inundabilidad; Solar fotovoltaica; Evaluación ambiental.

### **Resumen**

A la hora de elegir la mejor localización para la instalación de una central fotovoltaica son muchos los limitantes que hacen descartar unas y otras zonas. La afección a la red fluvial es uno de los aspectos ha de considerar.

Es necesario analizar la incidencia de las avenidas extraordinarias que se puedan producir en los cauces próximos a las instalaciones con objeto de determinar si la zona de actuación es o no inundable por las mismas y realizar una correcta planificación de los usos del suelo en las diferentes superficies de la planta solar, debiendo acreditar la no afección a terceros como consecuencia de la alteración del régimen de escurrimientos que comportaría la actuación, indicando en su caso, las medidas correctoras adoptadas para mitigar el riesgo de inundación.

Por tanto, se debe contar con información completa con la que valorar los impactos del proyecto con respecto a los efectos de aquellos sobre el factor agua.

### **Introducción**

La ubicación de los elementos del proyecto debe garantizar las prohibiciones y limitaciones de usos establecidas sobre el dominio público hidráulico y sus zonas de protección, así como sobre zonas inundables y de flujo preferente.

Es esencial por tanto identificar si existen elementos hidrológicos superficiales afectados por el proyecto (ríos, arroyos, ramblas...), en base a la cartografía del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional y la cartografía de la Confederación Hidrográfica correspondiente.

La información disponible sobre cartografía de zonas inundables está recogida en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, aunque gran parte de los cauces de entidad media o pequeña no

disponen de información cartográfica de zonas inundables. No obstante, el hecho de no disponer de información sobre la posible inundabilidad del terreno donde se pretende ubicar el proyecto, no significa que este quede a salvo de inundación, sino que el tramo de cauce en cuestión no ha sido estudiado, por lo que es preciso elaborar un estudio concreto.

Ha de considerarse que en caso de que la alternativa de proyecto seleccionada se sitúe en zona inundable, será necesario justificar adecuadamente por qué, desde el punto de vista ambiental, se elige esta alternativa y no otra. Además, será preciso establecer medidas para compensar, corregir y prevenir los impactos generados por el proyecto, entre ellas las medidas de evitación de las consecuencias de una posible avenida.

### **Material y Métodos**

La metodología que se emplea para realizar el estudio hidrológico y de inundabilidad es la siguiente.

Para la obtención de la red de drenaje y la delimitación de las cuencas vertientes, se ha utilizado un Sistema de Información Geográfica (SIG), cuyas funcionalidades permiten la gestión de datos georreferenciados organizados en bases de datos, y la generación y visualización de cartografía.

Al objeto de obtener una precipitación máxima de cálculo se toma como referencia la publicación Máximas Lluvias diarias en la España Peninsular [1].

Se procede a continuación a obtener los caudales de diseño que se utilizarán posteriormente en la modelación hidráulica. Para llevar a cabo el estudio de caudales máximos, según la norma 5.2-IC Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras [2] el caudal máximo anual correspondiente a un determinado período de retorno se debe determinar a partir de la información sobre caudales máximos que proporcione la Administración Hidráulica competente. En caso de no disponer de dicha información, se debe calcular a través de la metodología que se establece, considerándose a los efectos de esta norma, como métodos de cálculo de caudales, el método racional, métodos estadísticos u otros métodos hidrológicos que deban ser adecuados a las características de cada cuenca. En este sentido, sin considerar el caso particular de cálculo para las cuencas del Levante y Sureste peninsular, para cuencas de menos de 50 km<sup>2</sup> el método empleado será el método racional modificado de Témez.

Una vez elaborado el estudio hidrológico se procede a elaborar el estudio hidráulico utilizando los parámetros que se han obtenido anteriormente. Para realizarlo, se emplea el software IBER, una herramienta de modelización bidimensional del flujo turbulento en lámina libre en régimen variable para el estudio de aguas poco profundas. Su campo de aplicación es muy amplio, siendo su principal finalidad el estudio hidrodinámico en ríos.

Partiendo del análisis del comportamiento hidrológico que caracterizaría el proceso de escorrentía y caudales esperados en situación actual es posible modelar hidráulicamente un nuevo escenario, tras la instalación de la planta. Este análisis se realizará utilizando los mismos parámetros efectivos y el mismo nivel de exactitud empleado para el escenario de la situación inicial, de forma que no aparezcan diferencias de calado derivadas del proceso de cálculo.

La estimación y/o adopción de los parámetros hidrológicos e hidráulicos y el empleo de las metodologías de cálculo se considera responsabilidad única del autor del estudio, pudiéndose fijar según criterio del técnico redactor valores más o menos conservadores dentro de unos rangos aceptables de validez.

## **Resultados**

Tras realizar los estudios hidráulicos necesarios para evaluar el comportamiento del agua en la situación futura se obtiene una cuantificación de los caudales, calados y velocidades en la situación inicial y tras la actuación aguas abajo de la misma.

La información generada debe incluir planos a escala adecuada, en los que se representen, para la situación inicial y tras la actuación, las áreas afectadas por la avenida (para los diferentes periodos de retorno considerados), la distribución de velocidades y de los calados alcanzados, como síntesis de cartografías de peligrosidad de inundación. En cuanto al riesgo de inundación, una vez determinadas las variables hidráulicas que determinan la peligrosidad de inundación, se estudia la compatibilidad de la actuación con dicha peligrosidad.

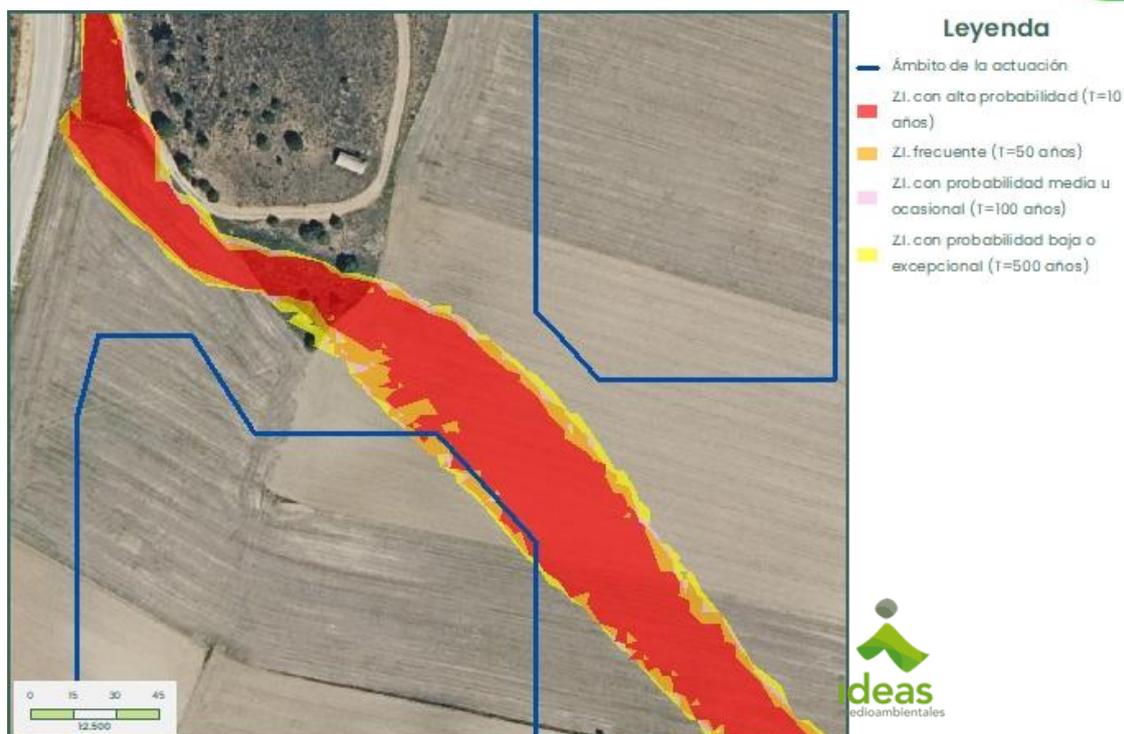


Figura 1. Ejemplo de áreas afectadas por la avenida para los diferentes periodos de retorno considerados.

En la Figura 1 se representa un ejemplo mostrando las áreas afectadas para diferentes periodos de retorno. En todo caso, el estudio hidrológico de las cuencas vertientes ha de determinar los caudales de crecida para los distintos periodos de retorno considerados de 100 y 500 años correspondiente este último a las zonas inundables según el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico [4], en adelante RDPH, así como para la zona de flujo preferente, lo que permite analizar la capacidad hidráulica de los cauces en el entorno de la zona de actuación y las zonas de desbordamiento.

Dentro de la cartografía de evaluación de la incidencia en el régimen de corrientes se representará la planta solar proyectada y todos los cauces afectados con sus zonas de servidumbre y policía (franjas de 5 y 100 metros respectivamente, a cada lado del cauce, medido desde su margen más próxima), siendo recomendable generar secciones transversales acotadas. La Figura 2 muestra los resultados altura de la lámina de agua en una sección transversal definida en el entorno de la actuación.

Una vez se han realizado los estudios hidrológico e hidráulico se está en disposición de mostrar los hidrogramas de entrada y salida, lo que puede ser de gran interés a la hora de diseñar obras hidráulicas aguas abajo de zonas afectadas por plantas solares. La Figura 3 representa el hidrograma de entrada y salida de una determinada zona, en este caso la sección transversal definida en la Figura 2, con lluvia constante, observándose la variación del caudal a lo largo del tiempo.

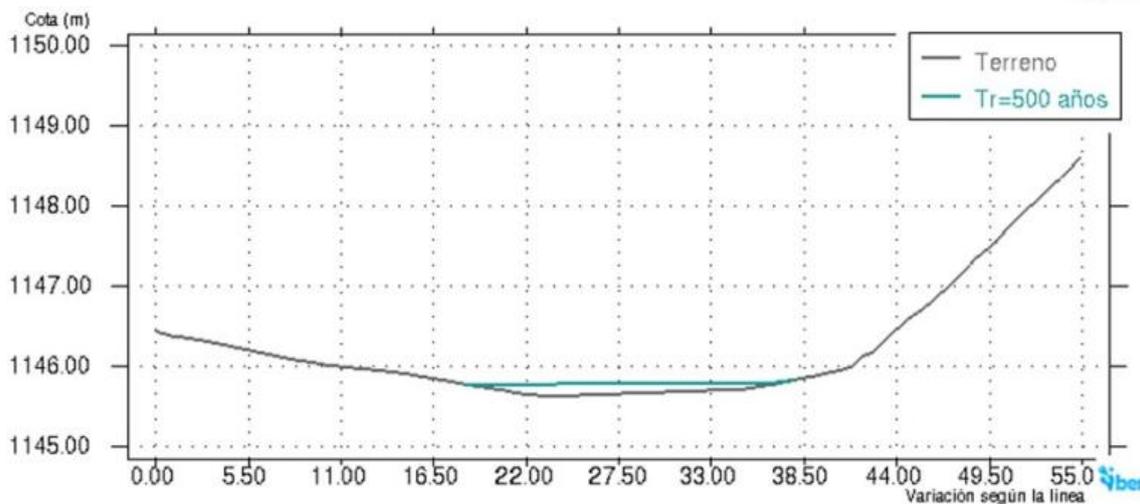


Figura 2. Sección transversal considerada para la avenida de 500 años de periodo de retorno.

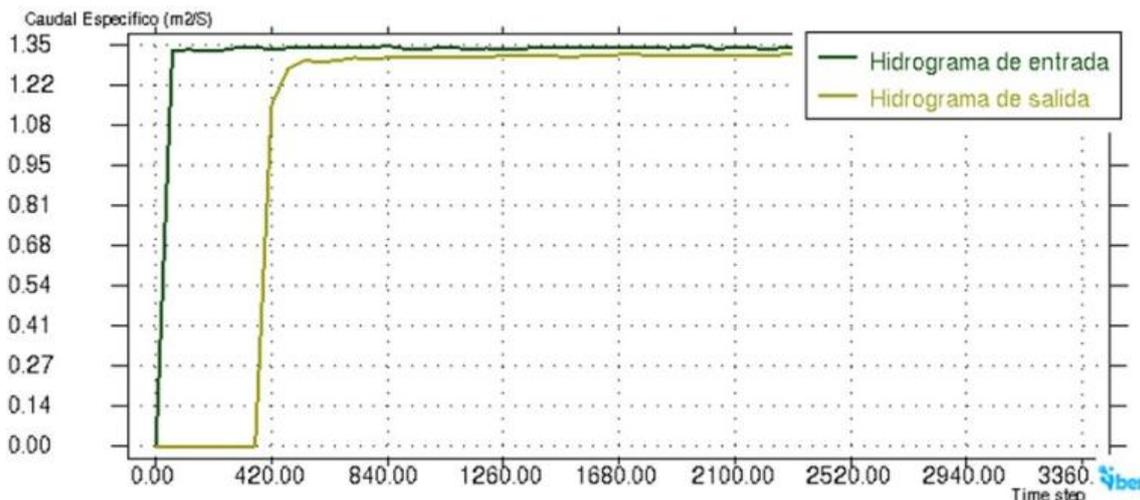


Figura 3. Hidrograma de entrada y de salida en el modelo IBER para la avenida de 500 años de periodo de retorno considerada.

En resumen, a través de diversas técnicas es posible acreditar que la instalación de un proyecto (en el caso del ejemplo una planta fotovoltaica) no supondrá la ocupación del dominio público hidráulico, su zona de servidumbre y la zona de flujo preferente de los cauces presentes y que, asimismo, no se producirá afección a terceros.

## **Discusión y Conclusiones**

Los estudios de inundabilidad en proyectos de plantas fotovoltaicas son esenciales para asegurar la viabilidad del proyecto y el cumplimiento de la normativa en materia de aguas y medio ambiente. Un análisis hidrológico e hidráulico permite identificar las posibles afecciones al dominio público hidráulico y minimizar el impacto sobre el entorno natural, especialmente en lo relativo a la erosión y la estabilidad del suelo.

El agua es el principal factor erosivo, causante de la pérdidas de suelo debido al fenómeno de la escorrentía, el cual depende de la precipitación caída y del estado y características del suelo y del sustrato. Sin embargo, la desaparición de la cubierta vegetal es una de las principales cuestiones a considerar ya que potencia el incremento de riesgos erosivos, aumentando, tanto la velocidad del agua al escurrir por la superficie, como el impacto de las gotas de lluvia llevando a evitar así la compactación del suelo.

La proliferación de este tipo de proyectos puede suponer un cambio drástico en los usos del suelo en determinadas zonas, con los efectos que esto produce sobre la infiltración y la escorrentía superficial por lo que deben tener en cuenta las posibles sinergias y efectos acumulativos con respecto a la variable hidrología.

En ocasiones resulta necesario adoptar una serie de medidas preventivas y correctoras a fin de laminar la escorrentía y minimizar en lo posible la impermeabilización de superficies. Igualmente, un mal manejo de las aguas puede aumentar la velocidad de escorrentía, provocando erosión y sedimentación que comprometen la estabilidad de los suelos y la durabilidad de las estructuras del parque o que afecten a terceros. Por ello es importante realizar una cuantificación de los caudales, calados y velocidades en la situación inicial y tras la actuación aguas abajo de la misma, con el fin de acreditar el cumplimiento del artículo 47 del Texto Refundido de la Ley de Aguas [3], en adelante TRLA.

En lo que atañe a actuaciones que pudieran afectar a la zona de servidumbre de 5 m (art. 6 del TRLA), ésta deberá quedar libre y expedita, respetándose los fines previstos establecidos en el artículo 7 del RDPH. Asimismo, toda actuación que se realice en la zona de policía de cualquier cauce público, definida por 100 m de anchura medidos horizontalmente a partir del cauce, deberá contar con la preceptiva autorización previa del Organismo de cuenca.

Las previsiones del cambio climático sugieren cambios en la cantidad, intensidad, frecuencia y tipo de precipitación. En este sentido, si las cantidades e intensidades de lluvia aumentan, se espera que,

en las zonas afectadas por las plantas solares, el riesgo de erosión también aumentará. Ante este panorama, la implementación de medidas correctoras y preventivas se vuelve fundamental para evitar impactos negativos como la sedimentación y la alteración del régimen de escorrentía que podrían perjudicar a terceros o comprometer la sostenibilidad del proyecto.

En conclusión, la integración de estudios hidrológicos e hidráulicos en el diseño de plantas fotovoltaicas no solo es un requisito normativo, sino también una práctica esencial para mitigar los riesgos asociados al agua y garantizar un desarrollo sostenible y seguro del proyecto en el contexto del cambio climático.

### **Referencias / Bibliografía:**

- [1] Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. Máximas lluvias diarias en la España Peninsular. Madrid. Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento. Madrid, 1999.
- [2] Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. Norma 5.2-IC de la Instrucción de Carreteras. Drenaje superficial. Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento. Madrid, 2019.
- [3] Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. Texto consolidado. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-14276>
- [4] Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. Texto consolidado. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1986-10638>
- [5] Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Modelo Iber 2.0. Manual del Usuario. 1ª edición electrónica. Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento. Madrid, 2016.
- [6] Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Ministerio de Medio Ambiente y Medido Rural y Marino. 2011.
- [7] Guía de aplicación del Plan Acción Territorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunidad Valenciana. Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad. 2017.

## **DIFICULTADES Y FORTALEZAS EN LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIAL DE PROYECTOS DE ENERGÍAS RENOVABLES**

*Zamora Gómez, J.*

Asesoría de Proyectos Ambientales y Sociales, S.L. (ASPA), [julian@aspasl.com](mailto:julian@aspasl.com), Pozuelo de Alarcón.  
Madrid, España

**Palabras clave:** Impacto social; Participación ciudadana; Fotovoltaico; Medidas compensatorias

### **Resumen**

La evaluación del impacto social en España presenta todavía un escaso desarrollo y generalmente se centra en la descripción a través de fuentes secundarias, sin tener en cuenta la participación ciudadana ni su opinión. Durante la realización de estudios sociales participativos en 12 proyectos fotovoltaicos distribuidos por el centro peninsular se realizaron, entre otras acciones, 143 entrevistas en profundidad, que permitieron conocer con detalle la opinión de los habitantes de los territorios afectados, respecto a los impactos positivos, negativos y sobre las medidas compensatorias.

### **Introducción**

La evaluación del impacto social en el marco de la EIA permite identificar y valorar las alteraciones sociales que un proyecto puede generar, asegurando que se consideren tanto los efectos positivos como los negativos sobre las comunidades afectadas.

Durante la realización de trabajos de análisis del impacto social de diversos proyectos de energías fotovoltaicas, se pudieron obtener los discursos que los entrevistados tienen sobre los proyectos, clasificándose en opiniones positivas, negativas y sobre las posibles medidas compensatorias. Esta recopilación permite tener una visión global de cómo se están percibiendo en el territorio la implantación de estos proyectos.

## **Material y Métodos**

Durante el año 2023 se realizaron estudios del impacto social de 12 proyectos de plantas solares fotovoltaicas distribuidas en el centro peninsular, para lo que se realizaron, entre otros trabajos, 143 entrevistas en profundidad con el objetivo de conocer la opinión de los agentes interesados o *stakeholders* de los municipios afectados.

Las entrevistas se realizaron presencialmente en su mayoría, aunque algunas fueron *on-line*, cuando no fue posible. Las entrevistas fueron en abierto y tras analizar los datos, se pudieron agrupar sus opiniones en tres grandes grupos, a saber; opiniones favorables, opiniones en contra y opiniones sobre medidas compensatorias, con el objetivo de conocer previamente al desarrollo del proyecto, su grado de aceptación en el territorio.

Para este trabajo se han agrupado y ordenado todos los discursos obtenidos, con el fin de tener una visión global del grado de aceptación de los proyectos fotovoltaicos en los territorios.

## **Resultados**

De las 143 entrevistas realizadas, un 32% correspondieron a personas representantes de ayuntamientos, un 32% a empresas locales, un 26% a asociaciones y sólo un 10 a grupos de acción local, que se incluyeron por su relevante conocimiento de los territorios.

Estos entrevistados se distribuyen por un total de 48 municipios pertenecientes a las provincias de Valladolid (38), Segovia (28), Cuenca (30), Zaragoza (15), Ciudad Real (9) y Albacete (23), que aunque cada territorio puede mostrar diferencias, en su conjunto pertenecen a un mismo contexto territorial del centro peninsular.

La mayor parte de los entrevistados mostraron su opinión general favorable a los proyectos (79 personas), frente a los que se mostraron en contra (39 personas), encontrando también una cierta cantidad de personas (25) que no mostraron una opinión ni a favor ni en contra. La mayoría de las opiniones favorables provinieron de los representantes de ayuntamientos y empresarios, mientras que las desfavorables se encontraron mayoritariamente entre los representantes de asociaciones.

En general se pudo detectar una gran expectativa en que los proyectos puedan mejorar las condiciones económicas de los municipios y las personas, aunque también existe cierta saturación de proyectos que aumenta la percepción de que podrían transformar excesivamente los territorios.

Los discursos positivos son mayoritariamente los que se corresponden con expectativas económicas, ya sea por ingresos de impuestos, creación de empleo local o como motor de la economía local.



Figura 1. Representación gráfica de las opiniones positivas y su frecuencia relativa

Las opiniones en contra de los proyectos fueron mayoritariamente sobre el impacto sobre el paisaje y transformación del entorno rural, y también los que ponen en duda que realmente supongan importantes efectos económicos y de contratación de personal local.



Figura 2. Representación gráfica de las opiniones negativas y su frecuencia relativa

Respecto a las medidas compensatorias las más frecuentes fueron las demandas de compensación energética y contratación de personal local.



Figura 3. Representación gráfica de las opiniones sobre medidas compensatorias y su frecuencia relativa

### Discusión y Conclusiones

La opinión de los habitantes de los territorios afectados por la implantación de proyectos fotovoltaicos es importante y debería tenerse en cuenta para diseñar medidas compensatorias adecuadas y eficaces en el actual proceso de transformación energética de España.

Esta consideración permitiría fomentar el “valor compartido” de los proyectos y obtener una “licencia social para operar” beneficiosa para todas las partes implicadas.

Estas actuaciones deberían ser un proceso continuo a lo largo de la vida de los proyectos.

### **Bibliografía relacionada**

Nota de Orientación 1. Evaluación y gestión de los riesgos e impactos ambientales y sociales. Corporación Financiera Internacional (CFI). Grupo Banco Mundial. 2012, actualizada en 2021.

KVAM, REIDAR. Evaluación del impacto social: integrando los aspectos sociales en los proyectos de desarrollo. Monografía BID 613. Banco Interamericano de Desarrollo, 2018.

NOGUEIRA LÓPEZ, A. La participación en la evaluación de impacto ambiental. Dogma y realidad. En GARCÍA URETA, A.; BORN, C. H. (Coords.). Marcial Pons, 2016

## **IMPACTO AMBIENTAL DE INSTALACIONES SOLARES: REPERCUSIONES SOBRE ESPECIES DE AVIFAUNA ESTEPARIA EN CASTILLA-LA MANCHA.**

*Roldán Arroyo, J.M.; Colás Gómez, R.M.*

Ideas Medioambientales, S.L.; [jm@ideasmedioambientales.com](mailto:jm@ideasmedioambientales.com); Albacete, España.

**Palabras clave:** Aves esteparias; Evaluación ambiental; Solar fotovoltaica; Hábitat favorable

### **Resumen**

El estudio analiza las “Repercusiones sobre especies de avifauna esteparia” para el conjunto de proyectos de energía solar con acceso concedido a la SET Belinchón con una capacidad de generación de 1.050 MWp en la provincia de Cuenca, Castilla-La Mancha, aplicando la metodología propuesta en la GUÍA METODOLÓGICA PARA LA VALORACIÓN DE REPERCUSIONES DE LAS INSTALACIONES SOLARES SOBRE ESPECIES DE AVIFAUNA ESTEPARIA publicada por el Ministerio

Se estima el hábitat favorable para la avifauna esteparia con el objetivo de evaluar su calidad en base a las siguientes variables: superficie de hábitat favorable, gestión, fragmentación, riesgo de colisión con tendidos eléctricos y presencia de elementos de paisaje.

La evaluación de la calidad del hábitat permite identificar el estado actual del escenario y analizar las zonas más favorables para la presencia de avifauna esteparia, permitiendo establecer la capacidad de acogida para validar las ubicaciones finales de los proyectos.

### **Introducción**

El desarrollo de plantas solares fotovoltaicas lleva asociada la pérdida de hábitat favorable para avifauna esteparia, generando un efecto negativo sobre las poblaciones existentes.

La caracterización del estado natural de la zona se realiza a través del estudio y valoración del hábitat favorable para la avifauna esteparia. La capacidad de acogida del medio para implantar las plantas solares permite validar las ubicaciones finales de los proyectos y definir el alcance de las medidas compensatorias a ejecutar.

## Material y Métodos

De acuerdo con la Guía metodológica para la valoración de repercusiones de las instalaciones solares sobre especies de avifauna esteparia, se ha seguido la siguiente metodología:

1. Recopilación de información previa sobre el medio: Red Natura 2000, usos del suelo, Áreas de importancia para las aves (IBAs), Inventario Español de Especies Terrestres del Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico (IEET)...
2. Estudio de avifauna esteparia.
  - Para valorar adecuadamente la situación de partida de las poblaciones de especies esteparias presentes en el ámbito de estudio se tuvieron en cuenta las Bases científico- técnicas de taxones de fauna, incluidos en el CEEA (R.D.139/2011).
  - Los trabajos de muestreo abarcaron hasta tres años, el primer ciclo cubrió desde enero de 2019 hasta enero de 2020, y el segundo desde noviembre de 2020 hasta julio de 2021.
  - El área del inventario de campo abarcó un buffer de 3 km alrededor de las implantaciones (26.800 ha).
3. Estudio del hábitat favorable.
  - El ámbito estudio abarcó 36.000 ha. Se definieron 90 cuadrículas de 2 x 2 km.
  - Se estudió la situación “Sin proyecto”, la “Propuestas inicial” y la “Propuesta final” de implantación de las plantas solares.
  - Las variables a estudiar para valorar la “calidad del hábitat” para las especies esteparias en el área de estudio fueron: (1) Superficie de hábitat favorable; (2) Gestión favorable del hábitat; (3) Fragmentación del hábitat; (4) Distancia a infraestructuras; (5) Evaluación del riesgo de colisión con tendidos eléctricos; (6) Presencia de elementos del paisaje.
4. Validación de implantaciones, evaluando la fauna presente en el área muestreada y el Estudio del hábitat favorable.
5. Establecimiento de medidas compensatorias.

## Resultados

- Estudio de avifauna esteparia

De la valoración de la fauna objeto de estudio mediante las Bases científico- técnicas de taxones de fauna, incluidos en el CEEA (R.D.139/2011), se obtuvieron los siguientes resultados, en los que se ha resaltado en verde las especies catalogadas en el CEEA como “En peligro de Extinción” (EN) y “Vulnerable” (VU):

Tabla 1. Valoración del estado de la avifauna esteparia de acuerdo con las metodologías de las Bases científico-técnicas de taxones de fauna, incluidos en el CEEA (R.D.139/2011).

CREACLM: Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha.

CEEA: Catálogo Español de Especies Amenazadas.

LESPRE: Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial.

Nombre común	CREACLM	CEEA y LESPRE	Estado de conservación global
Aguilucho cenizo ( <i>Circus pygargus</i> )	VU	VU	Desfavorable-malo
Aguilucho lagunero occidental ( <i>Circus aeruginosus</i> )	VU	LI	Desfavorable-inadecuado
Aguilucho pálido ( <i>Circus cyaneus</i> )	VU	LI	Desfavorable-malo
Alcaraván común ( <i>Burhinus oedicephalus</i> )	IE	LI	Desfavorable-inadecuado
Avutarda común ( <i>Otis tarda</i> )	VU	LI	Desfavorable-malo
Carraca europea ( <i>Coracias garrulus</i> )	VU	LI	Desfavorable-malo
Cernícalo primilla ( <i>Falco naumanni</i> )	VU	LI	Desfavorable-inadecuado
Ganga ibérica ( <i>Pterocles alchata</i> )	VU	VU	Desfavorable-malo
Ganga ortega ( <i>Pterocles orientalis</i> )	VU	VU	Desfavorable-malo
Sisón común ( <i>Tetrax tetrax</i> )	VU	EN	Desfavorable-malo

De los trabajos de muestreo de avifauna se obtuvieron las siguientes zonas de Mayor Probabilidad de Aparición de las distintas especies estudiadas (Fig. 1):

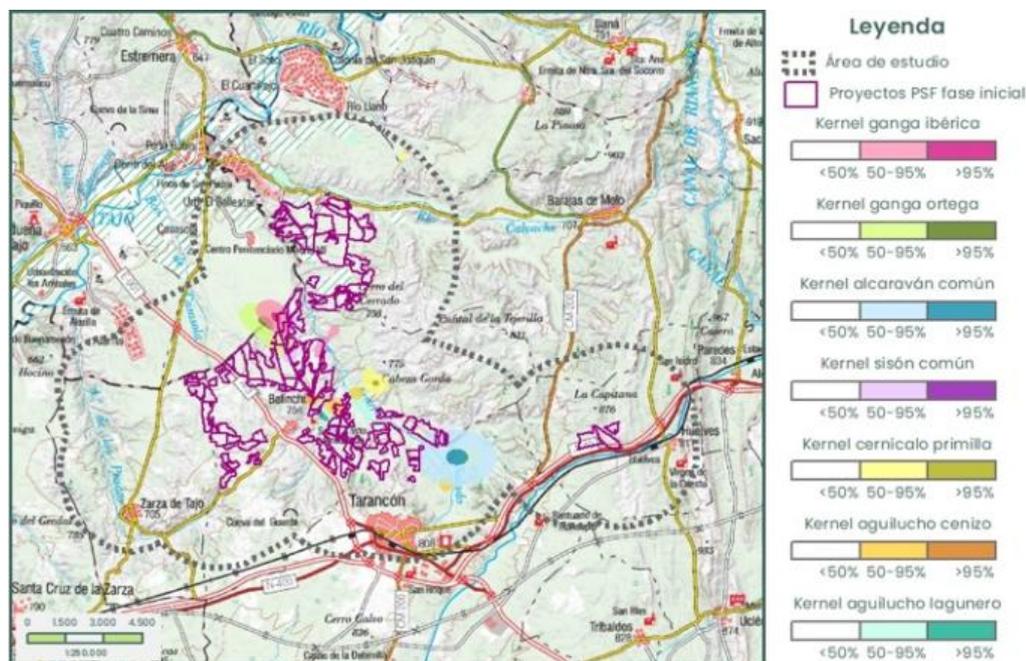


Figura 1. Superposición de Mayor Probabilidad de aparición de avifauna esteparia y proyectos de las plantas solares fotovoltaicas (PSF) en fase inicial.

○ Estudio de hábitat favorable

Las variables a estudiar para valorar la “calidad del hábitat” para las especies esteparias en el área de estudio son las que se describen a continuación (MITECO, 2021).

(1) Superficie de hábitat favorable y (2) Gestión favorable del hábitat

La superficie de hábitat favorable es la determinación del porcentaje de hábitat propicio para las especies esteparias en el ámbito de estudio, definido fundamentalmente por los siguientes usos de suelo: eriales, pastizales naturales, barbechos (con un papel clave de las estepas cerealistas para la supervivencia de las especies esteparias según Giralt et al., 2018), parameras, saladares y áreas de cultivos de secano (Fig. 2).

La gestión favorable del hábitat se define como el porcentaje del ámbito de estudio en el que el tratamiento y la gestión de las parcelas agrarias son compatibles con la conservación de las aves

esteparias, siendo algunas actuaciones la no aplicación de pesticidas en parcelas, no roturación de barbechos y los cultivos ecológicos.

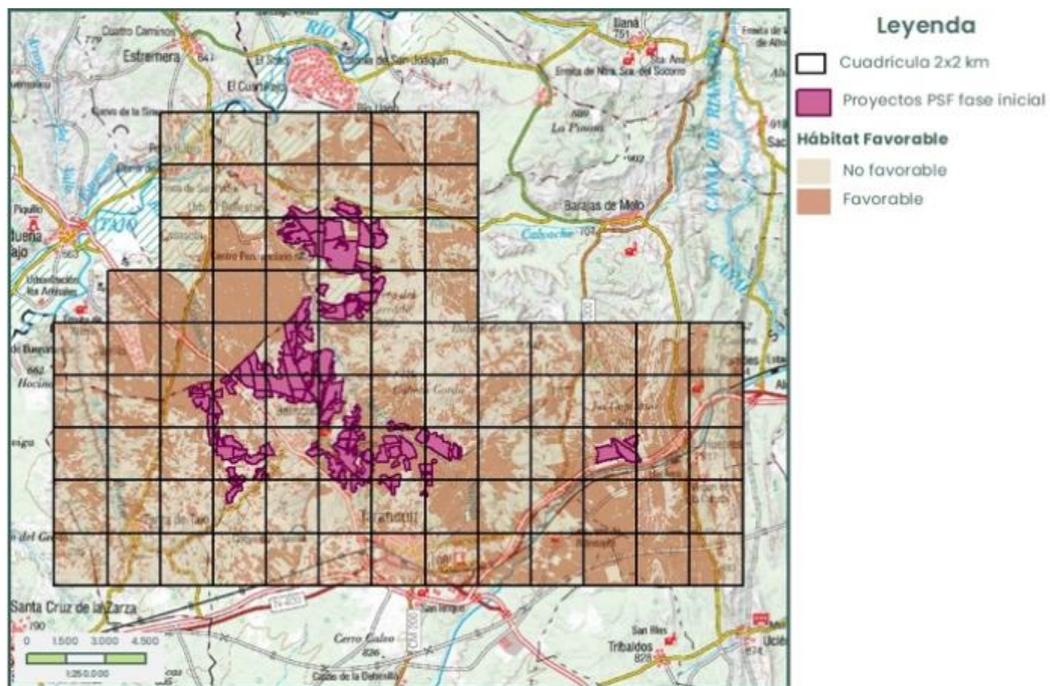


Figura 2. Estudio del hábitat favorable: Superficie de hábitat favorable. Proyectos fase inicial.

### (3) Fragmentación del hábitat

La fragmentación del hábitat se determina mediante el cálculo de la superficie ocupada por infraestructuras, que pueden contribuir a la fragmentación del hábitat, siendo las principales infraestructuras identificadas: núcleos de población, carreteras, ferrocarril, almacenes de residuos, explotaciones mineras, zonas de uso residencial o industrial, líneas eléctricas, instalaciones deportivas, agrícolas o ganaderas, etc. Para las plantas solares se tuvo en cuenta su ocupación y un área de influencia de 200 m (Fig. 3).

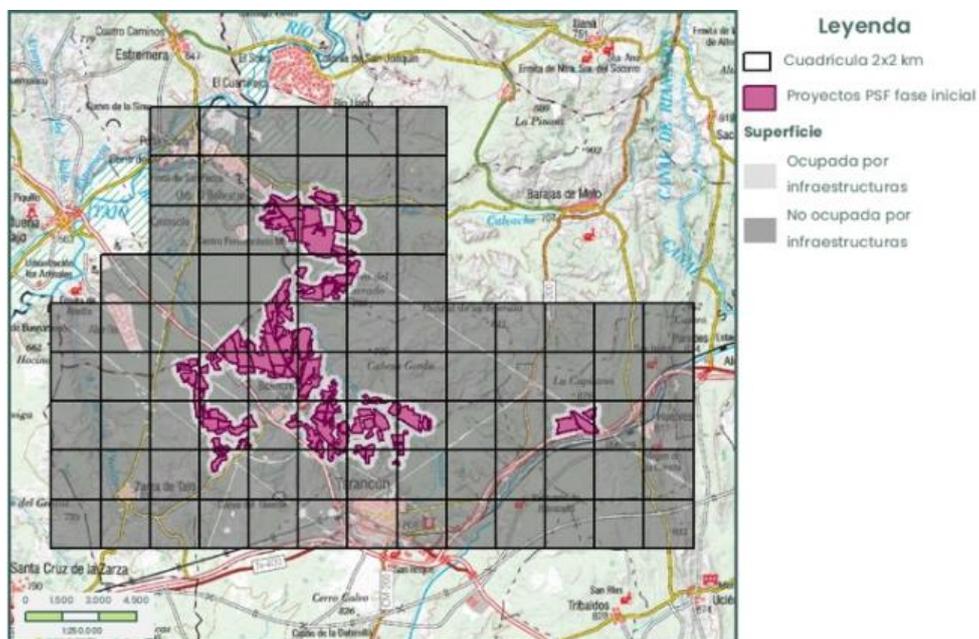


Figura 3. Estudio del hábitat favorable: Fragmentación del hábitat. Proyectos fase inicial.

#### (4) Distancia a infraestructuras

Se valora la distancia de los hábitats esteparios presentes en el ámbito de estudio a infraestructuras o a núcleos de población, ya que algunas especies esteparias evitan las áreas densamente pobladas (Estrada et al., 2016) o cercanas a carreteras (Giralt et al., 2018). Para las plantas solares se tiene en cuenta un área de influencia de 200 m (Fig. 4).

La clasificación de la “Calidad del hábitat” en relación a la distancia a infraestructuras es la siguiente: Calidad de hábitat ALTA: Más de 5 km / Calidad de hábitat MEDIA: Entre 5 y 1 km / Calidad de hábitat BAJA: Menos de 1 km.

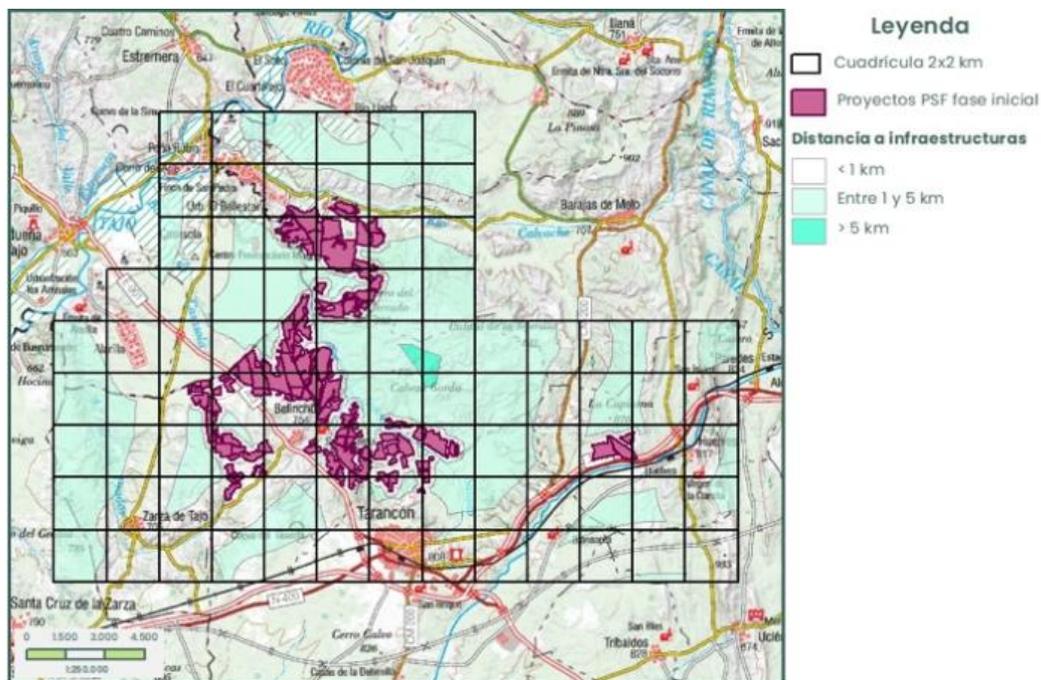


Figura 4. Estudio del hábitat favorable: Infraestructuras y poblaciones. Proyectos fase inicial.

(5) Evaluación del riesgo de colisión con tendidos eléctricos

Se valora la distancia de los hábitats esteparios presentes en el ámbito de estudio a líneas eléctricas, ya que la presencia de líneas eléctricas en ámbitos esteparios influye de distinta manera en las distintas especies (Marques et al., 2020) (Fig. 5).

La clasificación de la “Calidad del hábitat” en relación a la distancia a infraestructuras es la siguiente: Calidad de hábitat ALTA: Más de 5 km / Calidad de hábitat MEDIA: Entre 5 y 2 km / Calidad de hábitat BAJA: Menos de 2 km.

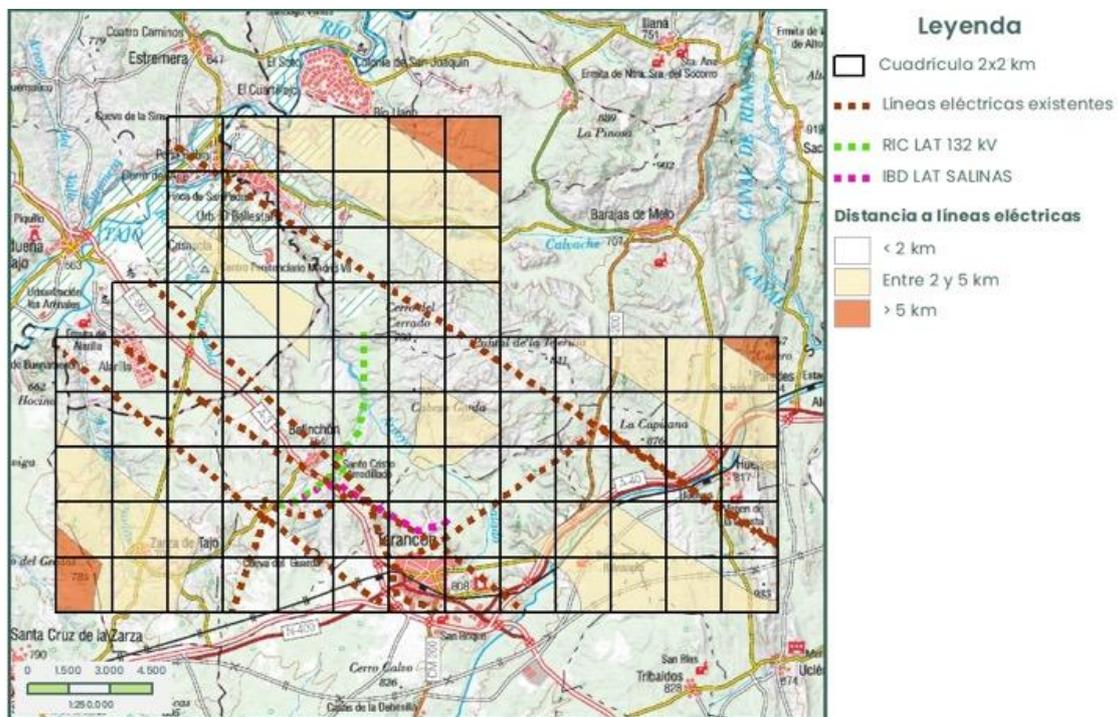


Figura 5. Estudio del hábitat favorable: Riesgo de colisión con tendidos. Proyectos fase inicial.

(6) Presencia de elementos del paisaje

La presencia de linderos, cursos de agua, líneas de árboles y otros elementos del paisaje se valora positivamente por ofrecer refugio a determinadas especies, así como por constituir un indicador indirecto de la disponibilidad de alimento, por su relación con la presencia de insectos, principal fuente de proteínas de la mayoría de aves esteparias en sus primeras fases vitales, así como de presas potenciales para los aguiluchos pálido y cenizo.

Para determinar la disponibilidad de estos elementos, se realizó un buffer de 250 metros en torno los mismos, esta distancia se determinó a partir de las medidas de conservación de aves esteparias que se vienen aplicando en Lérida (Giralt et al., 2018) (Fig. 6).

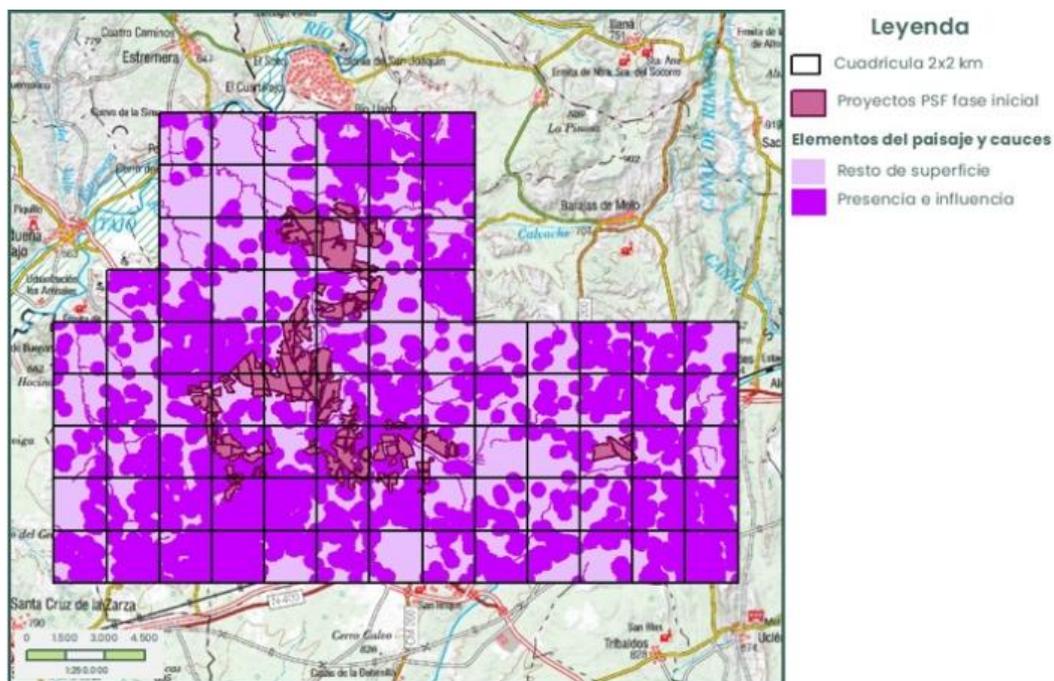


Figura 6. Estudio del hábitat favorable: Elementos del paisaje y cauces. Proyectos fase inicial.

(7) Valoración global.

Una vez caracterizada cada cuadrícula de 2x2 km de acuerdo con los valores “Alto, medio o bajo” de “calidad de hábitat” para cada una de las variables, para obtener un valor de global para cada cuadrícula se le asigna un peso a cada variable (Fig. 7).

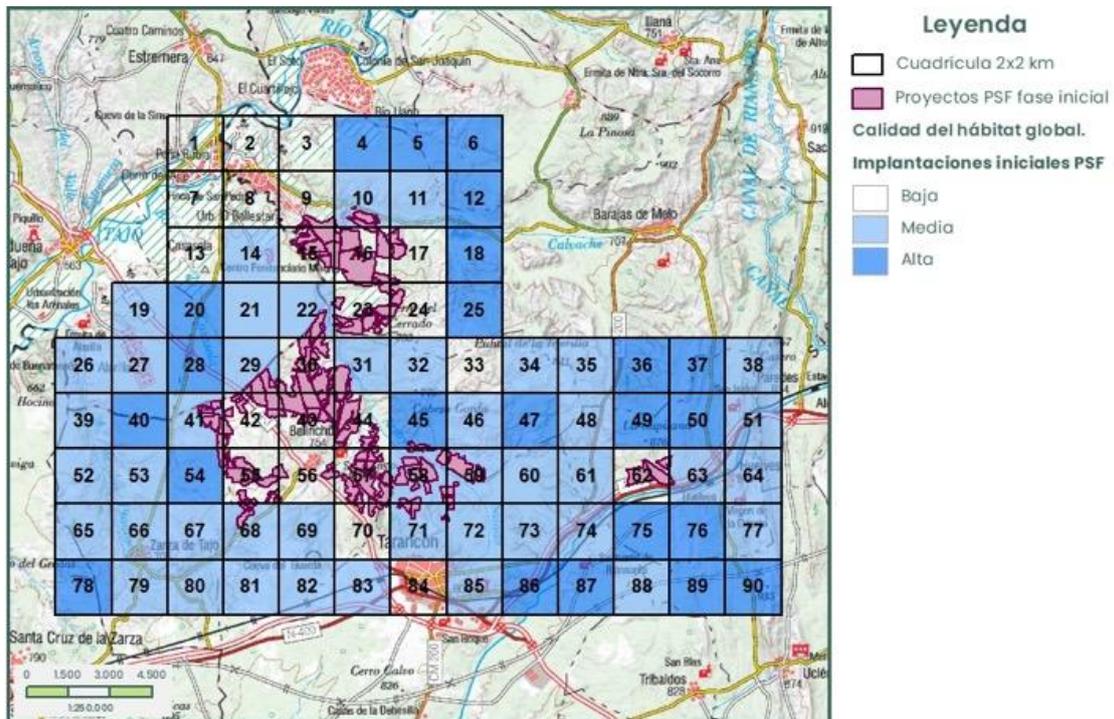


Figura 7. Estudio del hábitat favorable: Valoración global. Proyectos fase inicial.

## Discusión y Conclusiones

Con el traslado y adecuación de varias de las implantaciones proyectadas se conseguirá reducir en gran medida la ocupación de las áreas de Mayor Probabilidad de Aparición de la mayor parte de aves esteparias estudiadas.

Puede observarse que el mayor cambio (marcado en la siguiente figura mediante áreas moradas) se produce en la zona central, donde las implantaciones iniciales se superponían directamente con las áreas Mayor Probabilidad de Aparición de varias de las especies (sisón, ganga ibérica, ganga ortega y aguilucho cenizo), llegando a ocupar parte de las áreas Mayor Probabilidad de Aparición >95%, situación corregida con las implantaciones finalmente proyectadas de modo que solo se produce una ocupación parcial de algunas de las áreas Mayor Probabilidad de Aparición al 50% (Fig. 8).

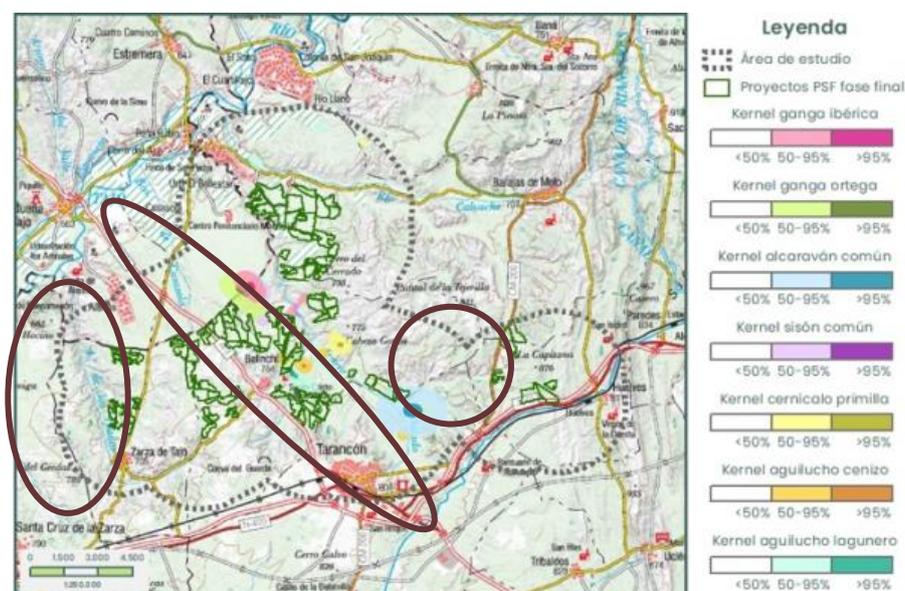


Figura 8. Zonas de Mayor Probabilidad de Aparición de avifauna esteparia y proyectos finales.

Para la reubicación de las implantaciones que ocupaban zonas de Mayor Probabilidad de Aparición de avifauna esteparia se tuvo en cuenta la valoración global del Estudio de hábitat favorable, que determina la capacidad de acogida del terreno, en sus fases “Sin proyecto” y “Propuestas inicial”. Tras definir la propuesta final de implantación, en la siguiente tabla y figura se muestra el cambio de calidad de hábitat favorable en las cuadrículas del ámbito de estudio (Fig. 9).

Tabla 2. Valoración global de hábitat favorable para avifauna esteparia por cuadrículas.

<b>Valoración global sin proyectos:</b>		
Calidad Alta: 34 cuadrículas	Calidad Media: 47 cuadrículas	Calidad Baja: 9 cuadrículas
<b>Valoración global con proyectos finales:</b>		
Calidad Alta: 22 cuadrículas	Calidad Media: 42 cuadrículas	Calidad Baja: 26 cuadrículas
<b>Cambio en la calidad del hábitat de 25 cuadrículas</b>		
4 cuadrículas de ALTA a BAJA /8 cuadrículas de ALTA a MEDIA /13 cuadrículas de MEDIA a BAJA		

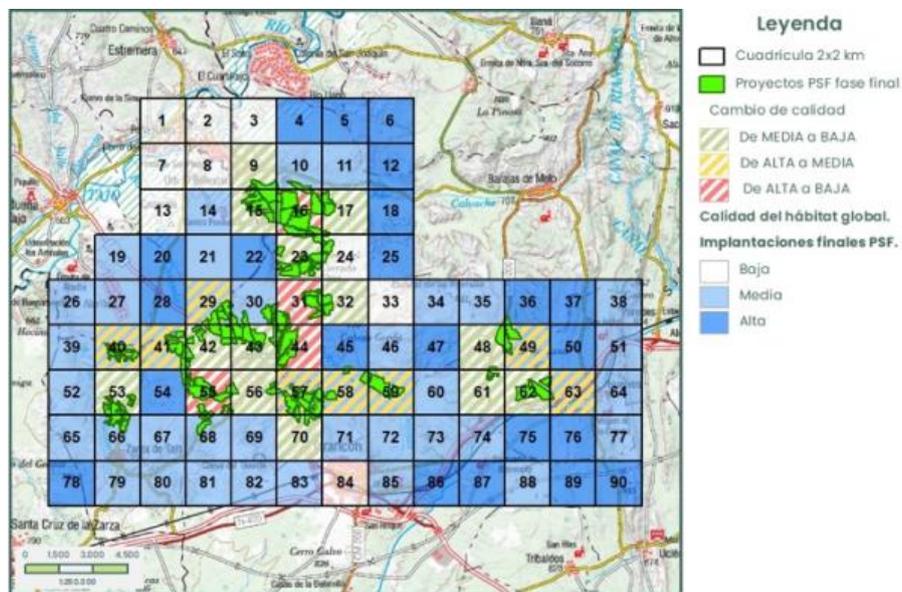


Figura 9. Estudio del hábitat favorable: Valoración global. Proyectos fase final.

### **Referencias / Bibliografía:**

- [1] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico (2021). Guía metodológica para la valoración de repercusiones de las instalaciones solares sobre especies de avifauna esteparia. Subdirección general de Biodiversidad Terrestre y Marina, Área de Acciones de Conservación.
- [2] Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas.
- [3] Giralt, D., Robleño, I., Estrada, J., Mañosa, S., Morales, M.B., Sardà-Palomera, F., Traba, J. y Bota, G., 2018. Manual de gestión de barbechos para la conservación de aves esteparias. Fundación Biodiversidad - Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya.
- [4] Estrada A, Delgado MP, Arroyo B, Traba J, Morales MB (2016) Forecasting Large-Scale Habitat Suitability of European Bustards under Climate Change: The Role of Environmental and Geographic Variables.
- [5] Marques, A. T., Martins, R. C., Silva, J. P., Palmeirim, J. M., Moreira, F. 2020. Power line routing and configuration as major drivers of collision risk in two bustard species.

## INTEGRACIÓN DEL TOPILLO DE CABRERA EN VIGILANCIA AMBIENTAL

*Palacios García, S.; Martínez Iniesta, C.*

Ideas medioambientales, S.L, [sergio@ideasmedioambientales.com](mailto:sergio@ideasmedioambientales.com),  
[crisobal@ideasmedioambientales.com](mailto:crisobal@ideasmedioambientales.com), Albacete, España

**Palabras clave:** Topillo de Cabrera; Rastreo; Fototrampeo; Evaluación de impacto ambiental; Microhábitat.

### Resumen

Son escasas las circunstancias en las que los proyectos de energías renovables se adecuen a la presencia de un micromamífero. El caso del topillo de Cabrera es una excepción, ya que presenta una distribución escasa y fragmentada de sus poblaciones y una alta especialización ecológica que ha propiciado que se catalogue a nivel nacional como "Vulnerable".

Se ha establecido un método de detección con rastreo y fototrampeo en los hábitats potenciales del ámbito de un proyecto de energía eólica, al suroeste de Albacete.

Con una presencia positiva se puede delimitar el microhábitat que alberga las poblaciones y anticiparse a los factores de riesgo que podrían afectarla, donde se destaca la construcción, modificación o ampliación de viales e infraestructuras de evacuación. La detección temprana permite establecer medidas preventivas y compensatorias que protejan y potencien su hábitat.

### Introducción

Las principales amenazas del topillo de Cabrera están directamente relacionadas con la intensificación de las actividades humanas, las cuáles disminuyen la disponibilidad de hábitats adecuados para esta especie. Entre estos factores que influyen negativamente destacan la intensificación agrícola de cultivos de secano y regadío, el sobrepastoreo, la construcción o ampliación de viales y carreteras que atraviesan sus parcelas, los vertidos de escombros y, en el caso de nuestro estudio, destacaría la construcción de implantaciones destinadas a la producción de energía renovable con sus respectivas líneas de evacuación tanto aéreas como soterradas [2].

## Material y Métodos

En el ámbito de 5 Km del proyecto se revisaron todos los parches de vegetación potencial para la especie, revisando especialmente las cuencas hidrográficas, ramblas y arroyos donde crezcan pastizales y juncales húmedos potenciales para albergar poblaciones. Para ello se realizaron dos métodos de muestreo:

- Búsqueda de rastros durante un máximo de 30 minutos en microhábitats potenciales, donde se cronometró el tiempo hasta localizar los primeros indicios, entre los que destacan los excrementos y los carriles utilizados por el topillo de Cabrera para desplazarse entre la vegetación, ya que las madrigueras suelen ser difíciles de encontrar entre la vegetación [3].
- Fototrampeo entre 4 y 7 días para confirmar su presencia [1] en el caso de encontrar rastros antiguos y descartar que los rastros anteriores pertenezcan a la rata de agua, especie que utiliza los mismos tipos de hábitat pero que destaca por su mayor tamaño.

## Resultados

Se revisaron un total de 19 parches potenciales de hábitat, donde se confirmó la presencia de la especie en 14, que corresponde al 74% del total (Figura 1). En 1 de estos parches de vegetación se confirmó la presencia de rata de agua, sin presencia aparentemente también de topillo de Cabrera que pueda compartir los mismos carriles.



Figura 01. Ejemplares de topillo de Cabrera captados con fototrampeo (arriba a la izq. y der.), cámara de fototrampeo colocada en el parche de vegetación (abajo izq.) y excrementos de topillo de Cabrera (abajo der.).

Los parches de vegetación se encontraron principalmente en ramblas y arroyos con humedad, estando el 31% ya afectados por carreteras y viales, el 26% por pastoreo y el resto sin afecciones aparentes. Mediante la búsqueda de rastros se confirmó la presencia de la especie en el 78% de los casos en menos de 8 minutos (el 100% de los microhábitats positivos en menos de 13 días) y con fototrampeo el 70% el primer día, sin superar en los casos que se tratara de censos positivos los 3 días (Figura 2). Se obtuvieron un total de 45 contactos con fototrampeo.

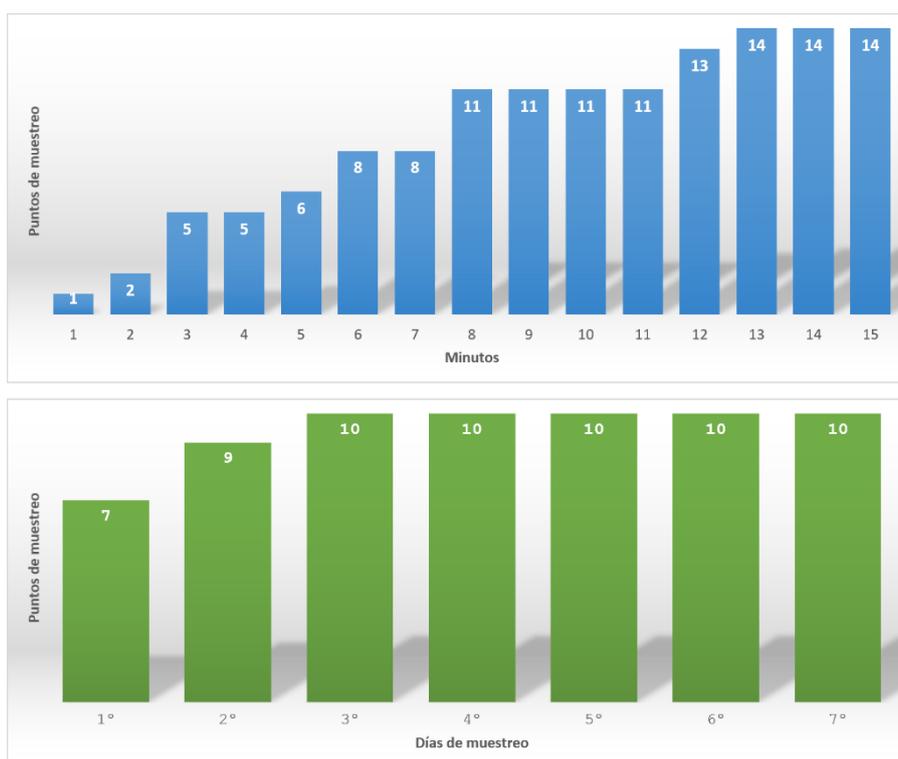


Figura 02. Curva acumulada de minutos hasta primer contacto usando el rastreo (izq) y curva acumulada de número de días hasta primer contacto usando fototrampeo (der).

Se midieron las hectáreas totales de los microhábitats localizados, delimitándose por el tipo de vegetación potencial para la especie, con máximos de 1,88 hectáreas (18800 m<sup>2</sup>) y mínimos de 0,04 hectáreas (400 m<sup>2</sup>), siendo el 74% del total de parches inferiores a una hectárea.

## Discusión y Conclusiones

Las medidas compensatorias o de prevención para el topillo de Cabrera deben ir principalmente destinadas a las recomendaciones de protección de su hábitat [4] entre las que destacarían: construcción de charcas o abrevaderos en las proximidades de la población para evitar el acceso de ganado y de fauna silvestre, plantaciones de especies que aumenten o potencien los hábitats ya

existentes, gestión del pastoreo (por ejemplo usando vallados permeables para el resto de fauna pero que delimiten el parche de vegetación a proteger) y el seguimiento durante toda la vida útil de la implantación de las poblaciones más cercanas o que se vean directamente afectadas por ésta (figura 4).



Figura 03. Medidas de prevención y compensatorias para el topillo de Cabrera.

El método de muestreo aplicado en este trabajo se ha confirmado que es rápido y eficaz para la detección temprana de la especie en el ámbito de un proyecto, que puede aplicarse para cualquier zona de estudio a nivel nacional. Los tamaños de las parcelas con presencia positiva confirman que no se deben descartar parches de vegetación por ser demasiado pequeños (mínimos en este caso de 400 m<sup>2</sup>) y deben muestrearse en su totalidad, prestando especial atención a los más cercanos a implantaciones, viales e infraestructuras de evacuación. La detección temprana permite anticiparse a los factores de riesgo que podrían afectar y establecer medidas preventivas y compensatorias que protejan y potencien su hábitat.

## Referencias / Bibliografía

- [1] Gómez, M., et al. (2023). Distribución y abundancia relativa del topillo nival *Chionomys nivalis* en Extremadura. *Galemys: Boletín informativo de la Sociedad Española para la conservación y estudio de los mamíferos*.
- [2] Pita, R., Luque-Larena, J. J., Beja, P., Mira, A. (2017). Topillo de Cabrera – *Microtus cabrerae*. En: *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Sanz, J. L., Barja. I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- [3] Sondeo de topillo de Cabrera en la Comunitat Valenciana (temporada 2027-2028). Direcció General de Medi Natural i d'Avaluació Ambiental.
- [4] San Miguel, A., 2009. 6420 Comunidades herbáceas higrófilas mediterráneas. En VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid. 54 p.

## **APLICACIÓN DE MODELOS DE ESTIMACIÓN DE COLISIÓN PARA AVES Y QUIRÓPTEROS EN ESTUDIOS SINÉRGICOS DE INSTALACIONES EÓLICAS**

*González Díaz, M.; Montes Cabrero, E.; Toribio Expósito, C.; Puente Montiel, A.; Fernández Soto, P.; Granero Castro, J.*

Taxus Medio Ambiente, S.L., [magonzalez@taxusmedioambiente.com](mailto:magonzalez@taxusmedioambiente.com), Oviedo, España

**Palabras clave:** Parques eólicos; Sinergia; Modelo estimación de colisión; Avifauna; Quirópteros.

### **Resumen**

La estimación de colisiones durante los estudios preoperacionales de aves y quirópteros para parques eólicos son herramientas con una cierta complejidad en su aplicación. Esta complejidad se eleva a un nivel mayor cuándo se trata de comparar otras instalaciones del entorno y realizar un buen estudio sobre los efectos acumulativos y sinérgicos puede ser una tarea realmente difícil. Muchos de los problemas vienen asociados por la disponibilidad de datos del resto de instalaciones que se encuentran en la envolvente que se considera en los estudios de sinergias.

Se presenta una guía metodológica para la estandarización de la aplicación de modelos de estimación de colisión sobre aves y quirópteros para los estudios de efectos sinérgicos, así como se identifican los principales problemas y se proponen soluciones, especialmente para la utilización de datos extemporáneos y *ex situ*.

### **Introducción**

Actualmente, y con motivo del auge de las energías renovables, el número de inventarios de ciclo anual de avifauna y quiropteroфаuna que se realizan a lo largo todo el país es importante. Esta gran cantidad de datos no se encuentra accesible públicamente, sin embargo, toda esta información puede ser una herramienta realmente valiosa para la realización de estimaciones de colisión más precisas en parques eólicos en la envolvente de un proyecto en tramitación. Por su parte, la falta de estandarización de la información recogida puede suponer una limitación a la hora de aplicar modelos que permitan extrapolar el riesgo de colisión a parques eólicos de la envolvente. A continuación, se

ofrece una guía metodológica para la correcta aplicación de estos modelos, identificando su problemática asociada y las posibles soluciones.

## **Material y Métodos**

Para la realización de este trabajo se tomaron como punto de partida los datos recogidos por TAXUS MEDIO AMBIENTE S.L. durante los estudios de fauna realizados entre los años 2020 a 2023 y asociados a la tramitación de Estudios de Impacto Ambiental en 19 instalaciones de energía renovable localizadas en el noroeste peninsular; en concreto, los datos utilizados se corresponden con los seguimientos de avifauna realizados durante un ciclo anual completo en cada una de ellas.

Para la obtención de unos datos de calidad es necesario un adecuado diseño del muestreo, para lo que se hace preciso tener en cuenta tanto las características propias del parque eólico, como a las características del área de estudio [1]. De esta manera, para la elección de los puntos de muestreo en las instalaciones mencionadas se realizó una valoración previa de varios parámetros: localización de las posiciones de los aerogeneradores, áreas de mayor visibilidad de la zona, diferentes hábitats presentes en el entorno, sensibilidad de ciertas zonas por suponer refugios de fauna, zonas de nidificación, áreas de campo etc.

Durante la realización de los seguimientos se recogió, para cada avistamiento, la siguiente información:

- Fecha
- Punto de muestreo
- Núm. de individuos
- Especie
- Hábitat
- Distancia
- Altura de vuelo
- Tiempo en zona de riesgo



*Figuras 1.1-2-3. Técnicos realizando seguimientos específicos de avifauna*

Tomando como base el concepto de “ventana de riesgo” propuesto por William Band [2], se considera como zona de riesgo el volumen generado por la rotación de las palas en un giro de 360 grados en cualquiera de sus posibles orientaciones. Así, de manera genérica, se establece que toda ave que vuela a menos de 200 m de distancia del emplazamiento de un futuro aerogenerador y en una altura comprendida entre los 15 y los 200 m se encuentra en zona de riesgo. De esta manera, la distancia al aerogenerador más cercano, la altura de vuelo y el tiempo en zona de riesgo son parámetros críticos para el cálculo del Modelo de Riesgo de Colisión Específico.



*Figura 2.1. Zona de riesgo para un aerogenerador*

*Figura 2.2. Zona de riesgo para una alineación*

Para su aplicación, se utiliza como base el modelo de William Band y colaboradores, del *Scottish Natural Heritage* [3].

De manera resumida, este modelo se aplica en 3 fases:

- **FASE I: Cálculo del número de aves que vuelan a través del rotor en un cierto periodo de tiempo**

$$N = (n * \frac{V_r}{V_w}) / t$$

Donde

- *n*: ocupación de la zona de riesgo por las aves (aves·seg)
- *V<sub>r</sub>*: volumen de barrido de los rotores (m<sup>3</sup>)
- *V<sub>w</sub>*: volumen de la zona de riesgo (m<sup>3</sup>)
- *t*: tiempo que tarda el ave en atravesar completamente el rotor (seg)

- **FASE II: Cálculo de la probabilidad de que un ave que pase a través del rotor colisione con una de las palas**

$$P(r) = (b\Omega/2\pi v) [K | \pm c \sin \gamma + \alpha \cos \gamma | + \begin{matrix} l \text{ para } \alpha < \beta \\ w\alpha F \text{ para } \alpha > \beta \end{matrix}$$

Donde

- |   |   |
|---|---|
| - <i>b</i> : número de palas del rotor                  | - <i>β</i> : ratio del ave (L/w) (m)  |
| - <i>Ω</i> : velocidad angular del rotor (radianes/s)   | - <i>r</i> : Radio del punto de paso del ave (m)  |
| - <i>V</i> : velocidad del ave a través del rotor (m/s) | - <i>α</i> = v / r · Ω  |
| - <i>C</i> : ancho de la pala (m)                       | - <i>F</i> : Ave planeadora (F = 2 / π)<br>Ave no-planeadora (F = 1)                      |
| - <i>γ</i> : ángulo de rotación de la pala              | - <i>K</i> : Una dimensión (no existe grosor de pala) (K = 0)<br>Tres dimensiones (K = 1) |
| - <i>R</i> : Radio mayor (m)                            |   |
| - <i>L</i> : longitud del ave (m)                       |   |
| - <i>w</i> : envergadura alar (m)                       |   |

- **FASE III: Cálculo de la probabilidad real de colisión**

*Número de individuos siniestrados de una especie al año = (Fase I) x (Fase II)*

Una vez calculado el riesgo de colisión específico, la extrapolación a los parques eólicos de la envolvente se realiza en base a dos supuestos:

- Disponibilidad de datos de campo de parques eólicos de la envolvente: aplicación del modelo mencionado.
- No disponibilidad de datos de campo de otros parques eólicos de la envolvente: extrapolación a partir de los datos obtenidos mediante la aplicación del modelo al parque eólico en tramitación y parques próximos.

En este segundo supuesto es en el que surge la principal problemática, ya que la realización de extrapolaciones de los Modelos de Riesgo de Colisión a parques eólicos de la envolvente presenta importantes limitaciones, debido a las diferentes características de las distintas instalaciones en cuanto al uso del espacio aéreo de la avifauna, hábitats, cota o condiciones meteorológicas. Además, aun cuando existen datos de campo disponibles de otras consultoras, la ausencia de datos relativos al tiempo que pasa un ave en zona de riesgo dificulta en gran medida las estimas de colisión.

Teniendo en consideración todo lo comentado, en el presente estudio se propone la realización de *Tablas de permanencia media en zona de riesgo*, con el fin de crear pequeñas bases de datos de ámbito regional que sirvan como base para la estimación del riesgo de colisión en ausencia de información disponible e, inclusive, con el objetivo de crear variables que puedan utilizarse como base para la elaboración de mapas de sensibilidad.

Para la elaboración de estas tablas se seleccionaron aquellas especies que presentaron un mayor número de avistamientos en zona de riesgo, y que, por tanto, presentaron una mayor sensibilidad a sufrir colisiones; en concreto, las especies seleccionadas en el ámbito de estudio fueron el águila real (*Aquila chrysaetos*), el buitre leonado (*Gyps fulvus*), el milano real (*Milvus milvus*), y el busardo ratonero (*Buteo buteo*).

Las siguientes tablas recogen los tiempos medios, en segundos, que las especies consideradas pasaron en zona de riesgo en cada una de las instalaciones estudiadas en el seguimiento realizado durante un ciclo anual completo:

Especie	Instalación 1	Instalación 2	Instalación 3	Instalación 4	Instalación 5	Instalación 6	Instalación 7	Instalación 8	Instalación 9	Instalación 10
<i>Aquila chrysaetos</i>	76,9	0	15	20,7	91,1	-	155	55	98,8	43,3
<i>Gyps fulvus</i>	116,9	0	40	-	47,5	-	120	-	-	-
<i>Milvus milvus</i>	66,6	31,3	53,3	62,9	120,7	-	-	53,5	-	57,5
<i>Milvus migrans</i>	28,5	14,1	56,7	66,6	37	90	60	29	-	27
<i>Buteo buteo</i>	53,8	24,1	90,4	60,2	36,3	77,4	65,4	57,1	52,1	60,8

Tabla 1. Tiempos medios (seg) en zona de riesgo por especie e instalación

Especie	Instalación 11	Instalación 12	Instalación 13	Instalación 14	Instalación 15	Instalación 16	Instalación 17	Instalación 18	Instalación 19
<i>Aquila chrysaetos</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gyps fulvus</i>	25	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Milvus milvus</i>	33,3	52,1	-	-	-	6	90	-	55,8
<i>Milvus migrans</i>	64,3	78,7	-	65	16,7	-	-	-	67,8
<i>Buteo buteo</i>	57,6	45,6	79,4	52,6	-	19,5	17,4	73	33,9

Tabla 2. Tiempos medios (seg) en zona de riesgo por especie e instalación

Finalmente, y utilizando como base los tiempos medios obtenidos, se procedió al cálculo del riesgo de colisión específico en base al modelo de William Band. Dado que para una adecuada aplicación del modelo es necesario incluir los datos del modelo de aerogenerador, se han usado los siguientes parámetros, correspondientes a un aerogenerador medio actual: altura 120 m y diámetro 172 m.

## Resultados

El cálculo del riesgo de colisión específico en base a los tiempos medios obtenidos en las 19 instalaciones tiene como resultado el valor de la mortalidad estimada por aerogenerador y avistamiento (m). De esta manera y, en ausencia de datos de tiempo en zona de riesgo, se hace posible su extrapolación a otras instalaciones enmarcadas dentro del ámbito definido o en sus proximidades mediante el siguiente cálculo:

$$\text{Riesgo de colisión específico (Mortalidad estimada)} = N * n * m$$

Donde

- *N*: número de aerogeneradores
- *n*: número de avistamientos de la especie considerada
- *m*: mortalidad estimada calculada para la especie considerada

Especie	Tiempo de permanencia medio en zona de riesgo (segundos/avistamiento)	Mortalidad estimada por aerogenerador y avistamiento (m)
<i>Aquila chrysaetos</i>	49	0,011
<i>Gyps fulvus</i>	52,5	0,013
<i>Milvus milvus</i>	47,8	0,009
<i>Milvus migrans</i>	58,5	0,010
<i>Buteo buteo</i>	47,4	0,008

Tabla 3. Tabla de permanencia media en zona de riesgo (seg) en una pequeña región del noroeste peninsular

## Discusión y Conclusiones

Este trabajo pretende poner de manifiesto la gran cantidad de datos existentes sobre fauna en la península ibérica motivado por todos los seguimientos anuales que se realizan para la tramitación de Estudios de Impacto Ambiental. Este trabajo solo ha querido mostrarse como un pequeño ejemplo del potencial de análisis que tendría la estandarización y gestión de los datos recopilados por las diferentes consultoras que operan actualmente por todo el país.

Así, y en base a lo comentado, se establecen una serie de propuestas de mejora:

- Estandarización de datos

Parámetros mínimos que puedan satisfacer el cálculo de modelos de riesgo de colisión: altura de vuelo y tiempo en zona de riesgo.

- Recopilación de parámetros críticos en parques eólicos en Explotación

Recogida de datos de mortalidad y parámetros mínimos de los avistamientos registrados en los seguimientos realizados en el marco de las Vigilancia Ambientales.

- Acceso a la información

Bases de datos accesibles

- Elaboración de Tablas de Permanencia Media en Zona de Riesgo regionales

### Referencias / Bibliografía:

- [1] Atienza, J.C., I. Martín Fierro, O. Infante, J.Valls y J. Domínguez. 2011. *Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0)*. SEO/BirdLife, Madrid.
- [2] Band, W. (2000). *Windfarms and Birds: Calculating a Theoretical Collision Risk Assuming No Avoiding Action*. Scottish Natural Heritage.
- [3] Band, W., Madders, M., Whitfield, D.P. 2007. *Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. Bird and wind farms. Risk assessment and mitigation*. Ed: Quercus.

## **PLANES DE VIGILANCIA ADAPTATIVOS COMO HERRAMIENTA PARA MINIMIZAR LA MORTALIDAD DE QUIRÓPTEROS Y MAXIMIZAR LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA**

*Toribio Expósito, C.<sup>1</sup>; Vázquez Gayoso, S.<sup>1</sup>; Puente Montiel, A.<sup>1</sup>; Montes Cabrero, E.<sup>1</sup>; Martínez Pérez, F.<sup>1</sup>; Fernández Soto, P.<sup>1</sup>; Granero Castro, J.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Área Medio Ambiente y Sostenibilidad, Taxus Medio Ambiente, S.L.,  
[ctoribio@taxusmedioambiente.com](mailto:ctoribio@taxusmedioambiente.com), Oviedo – Asturias, España

**Palabras clave:** Detector; Ultrasonidos; Muestreos en altura; Parques eólicos; Variables meteorológicas.

### **Resumen**

En la actualidad, la parada preventiva de aerogeneradores se ha erigido como la principal medida preventiva exigida por la administración para evitar la mortalidad de quirópteros. Esta medida se basa en restringir el funcionamiento durante las noches con condiciones meteorológicas favorables para la actividad de quirópteros. Si bien la medida es efectiva, también es muy generalista y poco eficiente en términos de productividad. En la mayoría de los casos existen patrones de actividad reconocibles, sobre todo cuando se consideran variables meteorológicas. La realización de estudios en altura, cruzados con datos meteorológicos, mejoran la comprensión del comportamiento de los quirópteros, permitiendo acotar mejor los periodos de restricción. Esto, apoyado con una vigilancia exhaustiva de la mortalidad, permitiría tener una herramienta robusta que maximice la protección de los quirópteros y, a su vez, la producción energética.

### **Introducción**

Cuando un parque eólico entra en funcionamiento, debe ponerse en marcha un seguimiento riguroso recogido en el Plan de Vigilancia Ambiental (PVA), tanto de la actividad de las especies de quirópteros presentes, como especialmente, de la mortalidad ocasionada por este.

Para que un Plan de Vigilancia Ambiental resulte eficiente debe ser adaptativo, es decir, debe ser flexible a las circunstancias de mortalidad que se vayan produciendo a lo largo de su periodo de funcionamiento. Existen diversos aspectos clave para esto, pero en este artículo nos centramos en la importancia de la realización de estudios previos completos en el área de riesgo de colisión con los aerogeneradores, ya que estos nos van a arrojar información relevante sobre la actividad de la comunidad de quirópteros presente en la zona de afección del parque eólico.

## Material y Métodos

El método más empleado para la localización de quirópteros en una zona se basa en la detección de los ultrasonidos que éstos emiten y que habitualmente pueden ser usados para identificar a la especie. Esta técnica requiere el empleo de detectores de ultrasonidos debido a que las frecuencias a las que emiten estos animales están por encima del rango audible por las personas (20 Hz a 20 kHz).

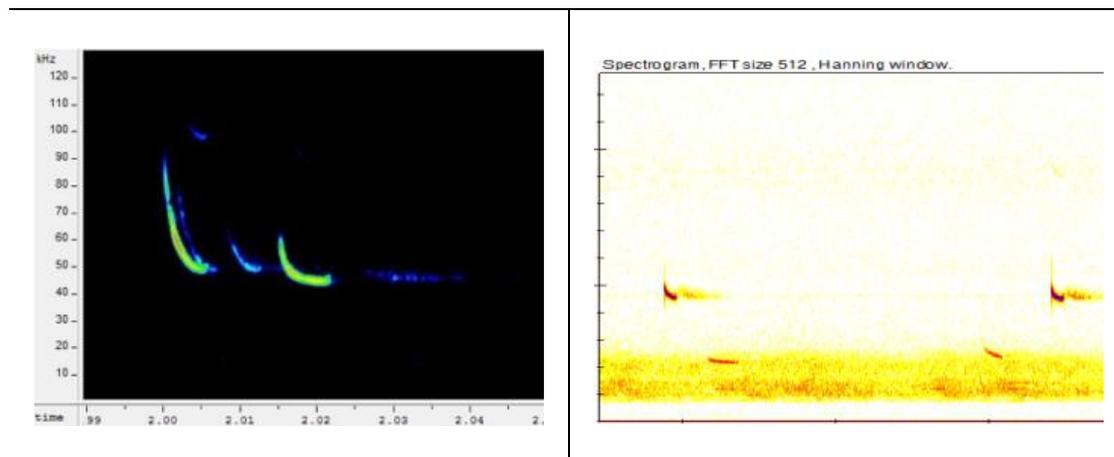
Debido al objetivo principal de este estudio, que era el de determinar las especies de quirópteros y sus periodos de actividad en la zona de riesgo de colisión con las palas de los aerogeneradores, se colocó un detector *Wildlife Acoustics® Song Meter SM4BAT-FS®* con un micrófono *SMM-U2®* en la torre meteorológica existente en el área de estudio, a una altura dentro del área de barrido de las palas. El detector estaba configurado para realizar grabaciones automáticas de 10 segundos de duración con filtro de bajas frecuencias a 10 kHz, desde 1 hora antes del ocaso hasta 1 hora después de la salida del sol.



*Figuras 1-2. Detector Wildlife Acoustics® Song Meter SM4BAT-FS® con un micrófono SMM-U2® en la torre meteorológica a una altura dentro del área de barrido de las palas*

Con el fin de que los periodos de actividad acotados tras el estudio sean lo más representativos posible, el detector estuvo en funcionamiento durante un ciclo anual completo, para recoger los distintos aspectos fenológicos de las especies presentes en la zona de estudio. En relación a esto, se realizaron visitas con periodicidad mensual para revisar y asegurar el correcto funcionamiento de los equipos, así como para la recogida de las grabaciones obtenidas en dicho mes.

Las grabaciones registradas por el detector son procesadas y clasificadas automáticamente mediante el software del fabricante *Wildlife Acoustics® Kaleidoscope®* empleando el identificador automático de especies ("*Bat Auto-ID®*"), el visualizador, el generador de informes y el analizador de ruido. Posteriormente, se realizó la revisión de las grabaciones asignadas a especies escasas o no citadas en la región, para su correcta determinación específica por un investigador experto.



*Figuras 3-4. Identificación manual de las grabaciones mediante software específico*

Para estudiar la relación entre la actividad de los quirópteros y las variables meteorológicas, se cruzaron sincrónicamente los datos de estas grabaciones del detector estático con los registros de la estación meteorológica que recogía datos al mismo tiempo. Para cada variable meteorológica relevante para los quirópteros, se señala la distribución por especie y la distribución global, contrastándola con la propia distribución de la variable meteorológica con sus valores agrupados por intervalos.

Es importante determinar si existe correlación, para ello, se divide el porcentaje de grabaciones y tiempo grabado en cada intervalo (según los resultados del detector estático) entre la frecuencia (en porcentaje) de ocurrencia de cada intervalo (de acuerdo a los datos de la estación meteorológica). Si la correlación es  $>1$  hay selección positiva por los quirópteros de ese intervalo, es decir los quirópteros son especialmente activos en esas condiciones. Si la correlación es  $<1$  hay selección negativa o evitación por los quirópteros de ese intervalo, por tanto, los quirópteros son poco o nada activos en esas condiciones. Si la correlación ronda el valor 1 para sucesivos intervalos, entonces la actividad de los quirópteros no es afectada por esa condición meteorológica.

Los principales parámetros seleccionados en el estudio para la determinación de los periodos de actividad de las especies de quirópteros presentes a la altura del área de barrido de las palas de los aerogeneradores fueron los siguientes:

➤ Distribución temporal de las observaciones

El recuento del número de grabaciones por especie y mes, así como el cálculo del Índice de Actividad nos proporcionará información acerca de qué meses u estaciones albergan una mayor actividad de quirópteros.

Respecto al Índice de Actividad (IA), este se define como el número de contactos (grabaciones) por hora de cada especie en cada uno de los meses analizados. A su vez, a este Índice de Actividad (IA) obtenido

por mes, se le aplica el Coeficiente de Detectabilidad que aparece en el Anexo 4 de las directrices de EUROBATS para el estudio de quiropterofauna en parques eólicos.

➤ Horas

A través de la información proporcionada por las grabaciones de quirópteros registradas por el detector, podremos determinar las horas de la noche con mayor detección, tanto a nivel de especie como de quirópteros en general.

➤ Temperatura ambiental (°C)

Gracias al cruce sincrónico de los datos de estas grabaciones del detector estático con los registros de temperatura ambiental de la estación meteorológica, podemos obtener información sobre a qué temperatura/rangos de temperaturas existe una mayor actividad de quirópteros, de manera general y para cada especie detectada.

➤ Velocidad del viento (m/s)

De la misma manera que en el caso anterior, gracias al cruce sincrónico de los datos de estas grabaciones del detector estático con los registros de velocidad del viento de la estación meteorológica, podemos obtener información sobre a qué velocidad/ rangos de velocidad del viento existe una mayor actividad de quirópteros, de manera general y para cada especie detectada.

➤ Humedad relativa (%)

De la misma manera que para las otras dos variables meteorológicas mencionadas anteriormente, mediante al cruce sincrónico de los datos de las grabaciones del detector estático con los registros de humedad relativa de la estación meteorológica, podemos obtener información sobre a qué porcentaje de humedad relativa existe una mayor actividad de quirópteros, de manera general y para cada especie detectada.

## **Resultados**

Una vez realizado el análisis y procesado de los datos obtenidos se obtuvieron los siguientes resultados para cada parámetro estudiado en relación a la actividad de los quirópteros detectados.

En el caso de la distribución espacial de las observaciones, los meses con un mayor número de grabaciones y con un Índice de Actividad más elevado (incluido el IA con el Coeficiente de Detectabilidad aplicado) han sido septiembre y octubre.



Figura 5. Porcentaje de nº de grabaciones y tiempo grabado por mes.

Por otro lado, la Figura 6, recoge el número de grabaciones que se han registrado por especie en cada hora nocturna. Generalmente, no se observa un patrón claro de distribución de las grabaciones a lo largo de las horas nocturnas. Todas las especies, incluidas las más abundantes que son el nóctulo pequeño europeo (*Nyctalus leisleri*) y el murciélago común europeo (*Pipistrellus pipistrellus*), tienen su máximo de actividad en las primeras horas de la noche. El análisis individualizado de las horas de actividad para cada una de las especies detectadas, podría arrojararnos más información al respecto.

Especie	Hora																Día Tot.
	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-0	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	
<i>Eptesicus (Cnephaeus) serotinus</i>								1	1			1					3
<i>Hypsugo savii = Pipistrellus savii</i>						1	1	4				1					7
<i>Nyctalus leisleri</i>					1	8	3	9	1	4	3	3	2	3	3		40
<i>Nyctalus noctula</i>	1	14	22	108	57	29	50	80	31	78	79	11	7	49	20	9	645
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>				2	20	15	20	27	9	5	2	3	3	5			111
<i>Tadarida teniotis</i>	84	189	261	228	286	233	394	86	457	356	338	254	314	400	156	1	4037
<b>Total general</b>	<b>85</b>	<b>203</b>	<b>283</b>	<b>338</b>	<b>364</b>	<b>286</b>	<b>468</b>	<b>207</b>	<b>499</b>	<b>443</b>	<b>422</b>	<b>273</b>	<b>326</b>	<b>457</b>	<b>179</b>	<b>10</b>	<b>4843</b>

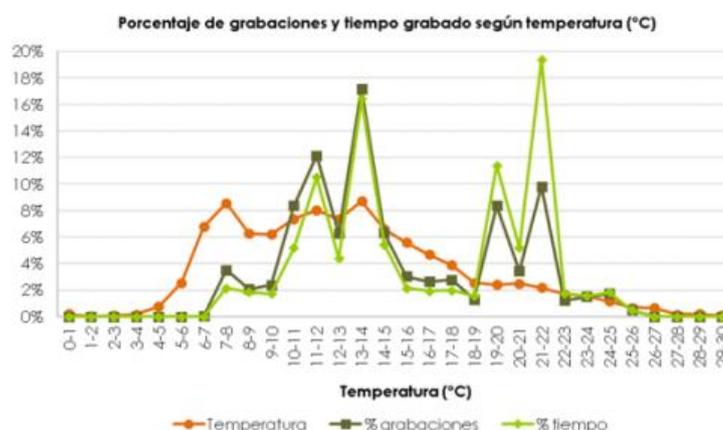
Figura 6. Nº de grabaciones registradas por especie y hora.

En relación al análisis de las tres variables meteorológicas seleccionadas para este estudio, temperatura ambiental (°C), velocidad del viento (m/s) y humedad relativa (%), se observó que, en el caso de la temperatura ambiental, todas las especies tienen su actividad concentrada a temperaturas >7 °C, con escasa actividad por debajo de esta.

La actividad de los quirópteros está notablemente correlacionada con la temperatura. Así, los valores significativamente altos de correlación (>1,25) se sitúan por encima de 10-11 °C indicando que los quirópteros son especialmente activos a temperaturas medias y altas, mientras que por debajo del

citado intervalo los valores de correlación son notablemente bajos (<0,75) que señalan que los quirópteros son poco o nada activos a temperaturas bajas.

Temperatura ambiental (°C)	Grabaciones		Tiempo (s)		Frecuencia temperatura	Correlación	
	Nº	%	s	%		Grabaciones	Tiempo (s)
0-1	0	0.0%	0	0.0%	0.2%	0.0	0.0
1-2	0	0.0%	0	0.0%	0.1%	0.0	0.0
2-3	0	0.0%	0	0.0%	0.1%	0.0	0.0
3-4	0	0.0%	0	0.0%	0.2%	0.0	0.0
4-5	0	0.0%	0	0.0%	0.8%	0.0	0.0
5-6	0	0.0%	0	0.0%	2.6%	0.0	0.0
6-7	1	0.0%	5	0.0%	6.8%	0.0	0.0
7-8	171	3.5%	965	2.2%	8.6%	0.4	0.3
8-9	100	2.1%	826	1.9%	6.3%	0.3	0.3
9-10	116	2.4%	778	1.8%	6.2%	0.4	0.3
10-11	405	8.4%	2303	5.2%	7.4%	1.1	0.7
11-12	589	12.2%	4684	10.5%	8.0%	1.5	1.3
12-13	305	6.3%	1951	4.4%	7.4%	0.9	0.6
13-14	833	17.2%	7303	16.4%	8.7%	2.0	1.9
14-15	307	6.3%	2421	5.5%	6.6%	1.0	0.8
15-16	148	3.1%	965	2.2%	5.6%	0.5	0.4
16-17	129	2.7%	859	1.9%	4.7%	0.6	0.4
17-18	135	2.8%	883	2.0%	3.9%	0.7	0.5
18-19	64	1.3%	700	1.6%	2.6%	0.5	0.6
19-20	406	8.4%	5072	11.4%	2.4%	3.5	4.7
20-21	166	3.4%	2312	5.2%	2.5%	1.4	2.1
21-22	476	9.8%	8614	19.4%	2.2%	4.5	8.8
22-23	60	1.2%	788	1.8%	1.7%	0.7	1.0
23-24	73	1.5%	704	1.6%	1.6%	1.0	1.0
24-25	85	1.8%	821	1.8%	1.2%	1.5	1.6
25-26	23	0.5%	218	0.5%	0.7%	0.7	0.7
26-27	0	0.0%	0	0.0%	0.7%	0.0	0.0
27-28	0	0.0%	0	0.0%	0.2%	0.0	0.0
28-29	0	0.0%	0	0.0%	0.2%	0.0	0.0
29-30	0	0.0%	0	0.0%	0.1%	0.0	0.0



Figuras 7-8. Correlación entre la frecuencia de cada intervalo de temperatura y la actividad de los quirópteros.

Para la velocidad de viento, se observó que las especies tienen su actividad concentrada a velocidades del viento <6 m/s, con escasa actividad a velocidades de viento mayores.

Al igual que ocurre con la temperatura, la actividad de los quirópteros está fuertemente correlacionada con la velocidad del viento. Así, por encima de 6 m/s los valores de correlación son notablemente bajos (<0,75) lo que señala que los quirópteros no son activos a velocidades de viento medias o altas, mientras que todos los valores significativamente altos de correlación (>1,25) se encuentran por debajo del citado valor, indicando que los quirópteros son activos a velocidades de viento bajas.

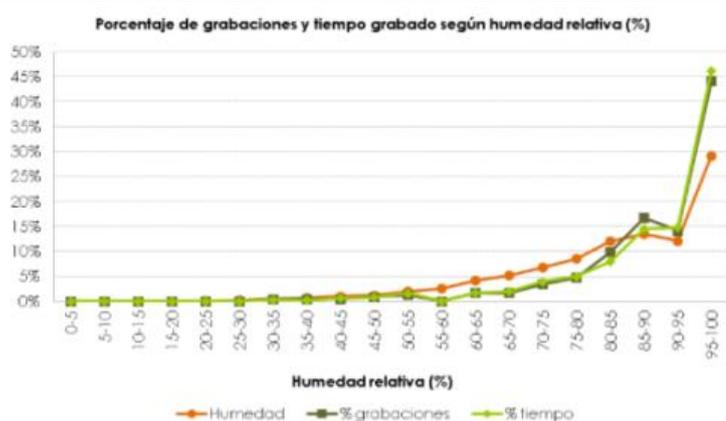
Velocidad del viento (m/s)	Grabaciones		Tiempo (s)		Frecuencia viento	Correlación	
	N°	%	s	%		Grabaciones	Tiempo (s)
0-1	155	3.2%	1234	2.8%	2.0%	1,6	1,4
1-2	808	16.7%	7134	16.1%	4.2%	4,0	3,8
2-3	2551	52.7%	18650	42.0%	13.7%	3,8	3,1
3-4	442	9.1%	6898	15.5%	13.1%	0,7	1,2
4-5	295	6.1%	3912	8.8%	11.2%	0,5	0,8
5-6	315	6.5%	5116	11.5%	9.6%	0,7	1,2
6-7	26	0.5%	229	0.5%	9.3%	0,1	0,1
7-8	0	0.0%	0	0.0%	7.8%	0,0	0,0
8-9	0	0.0%	0	0.0%	6.2%	0,0	0,0
9-10	0	0.0%	0	0.0%	5.4%	0,0	0,0
10-11	0	0.0%	0	0.0%	4.1%	0,0	0,0
11-12	0	0.0%	0	0.0%	3.6%	0,0	0,0
12-13	0	0.0%	0	0.0%	2.9%	0,0	0,0
13-14	0	0.0%	0	0.0%	1.9%	0,0	0,0
14-15	0	0.0%	0	0.0%	1.3%	0,0	0,0
15-16	0	0.0%	0	0.0%	0.9%	0,0	0,0
16-17	0	0.0%	0	0.0%	0.8%	0,0	0,0
17-18	0	0.0%	0	0.0%	0.6%	0,0	0,0
18-19	0	0.0%	0	0.0%	0.4%	0,0	0,0
19-20	0	0.0%	0	0.0%	0.3%	0,0	0,0
20-21	0	0.0%	0	0.0%	0.2%	0,0	0,0
21-22	0	0.0%	0	0.0%	0.1%	0,0	0,0
22-23	0	0.0%	0	0.0%	0.1%	0,0	0,0
23-24	0	0.0%	0	0.0%	0.1%	0,0	0,0
24-25	0	0.0%	0	0.0%	0.0%	0,0	0,0
25-26	0	0.0%	0	0.0%	0.0%	0,0	0,0
26-27	0	0.0%	0	0.0%	0.0%	0,0	0,0
27-28	0	0.0%	0	0.0%	0.0%	0,0	0,0
28-29	0	0.0%	0	0.0%	0.0%	0,0	0,0



Figuras 8-9. Correlación entre la frecuencia de cada intervalo de velocidad del viento y la actividad de los quirópteros.

En la humedad relativa, se observa que, todas las especies tienen su actividad concentrada a humedad relativa >80%, con escasa actividad a humedad menor. Los valores significativamente altos de correlación se encuentran por encima del 85% indicando que los quirópteros son especialmente activos a humedad relativa alta.

Humedad relativa (%)	Grabaciones		Tiempo (s)		Frecuencia humedad	Correlación	
	N°	%	s	%		Grabaciones	Tiempo (s)
0-5	0	0.0%	0	0.0%	0.0%	0,0	0,0
5-10	0	0.0%	0	0.0%	0.0%	0,0	0,0
10-15	0	0.0%	0	0.0%	0.0%	0,0	0,0
15-20	0	0.0%	0	0.0%	0.0%	0,0	0,0
20-25	0	0.0%	0	0.0%	0.1%	0,0	0,0
25-30	0	0.0%	0	0.0%	0.2%	0,0	0,0
30-35	1	0.4%	5	0.3%	0.5%	0,9	0,6
35-40	1	0.4%	4	0.3%	0.7%	0,6	0,4
40-45	1	0.4%	11	0.7%	1.0%	0,4	0,7
45-50	2	0.9%	12	0.8%	1.2%	0,7	0,7
50-55	3	1.3%	25	1.6%	2.0%	0,7	0,8
55-60	0	0.0%	0	0.0%	2.6%	0,0	0,0
60-65	4	1.7%	26	1.7%	4.2%	0,4	0,4
65-70	4	1.7%	30	2.0%	5.2%	0,3	0,4
70-75	8	3.4%	60	4.0%	6.8%	0,5	0,6
75-80	11	4.7%	76	5.0%	8.6%	0,6	0,6
80-85	23	9.9%	122	8.0%	12.0%	0,8	0,7
85-90	39	16.7%	222	14.5%	13.5%	1,2	1,1
90-95	33	14.2%	227	14.9%	12.1%	1,2	1,2
95-100	103	44.2%	705	46.2%	29.2%	1,5	1,6



Figuras 10-11. Correlación entre la frecuencia de cada intervalo de humedad relativa y la actividad de los quirópteros.

## **Discusión y Conclusiones**

La combinación de los resultados obtenidos de los distintos parámetros evaluados mediante distintos análisis estadísticos, pueden identificar periodos de actividad concretos para las especies de quirópteros presentes en un área.

Estos periodos de actividad, pueden ser utilizados como herramienta para establecer programas de vigilancia ambiental adaptados a las condiciones particulares de las poblaciones de quirópteros, permitiendo adecuar las medidas correctoras implantadas de forma genérica a los casos particulares, tratando de minimizar el impacto sobre la quiropterofauna y maximizando la producción de energía.

Resulta esencial la verificación de los estudios teóricos mediante la ejecución de un plan de vigilancia ambiental exhaustivo en campo, para poder verificar su adecuación o la posible necesidad de modificación del mismo.

## Referencias / Bibliografía

[1] Rodrigues, L., Bach, L., Dubourg-Savage, M., Karapandža, B., Kovac, D., Kervyn, T., Dekker, J., Kepel, A., Bach, P., Collins, J., Harbusch, C., Park, K., Minderman, J., & Micevski, B. (2015). Guidelines for consideration of bats in wind farm projects. Revision 2014. UNEP/EUROBATS.

# BLOQUE 3

---

## VIGILANCIA AMBIENTAL: LAS CLAVES DEL ÉXITO

## SEGUIMIENTO DE LA EFICACIA DE MEDIDAS CORRECTORAS PARA FAUNA EN INFRAESTRUCTURAS LINEALES DE TRANSPORTE

*Castellanos Díez, M; Del Real Tuñón, J; Larrazabal Intxaurbe, N; Olaziregi Franco, Ir; Argüelles  
Herrero, E.*

Saitec Medioambiente, [mariocastellanos@saitec.es](mailto:mariocastellanos@saitec.es), Leioa (Bizkaia), España

**Palabras clave:** Conectividad ecológica, Mortalidad, Fauna, Cerramiento, Dispositivos de escape, Vigilancia ambiental.

### Resumen

La implantación de medidas correctoras para fauna en las infraestructuras lineales de transporte requiere de un continuo seguimiento para valorar su eficacia real, así como para acumular conocimiento para mejorar las mismas en futuros proyectos.

Si bien generalmente las medidas correctoras para la fauna en fase de explotación se centran en resolver la pérdida de conectividad, especialmente en infraestructuras valladas, existen otras parcelas de seguimiento relevantes como son la mortalidad inducida y la eficacia del vallado y los dispositivos de escape.

A continuación, se procede a hacer una revisión de las metodologías más comunes para el seguimiento de la eficacia de las medidas correctoras para la fauna aplicadas por los diferentes gestores de infraestructuras, con una breve interpretación de los principales resultados generales.

El objetivo es tener una primera aproximación al tipo de seguimientos realizados por los gestores de infraestructuras, técnicas y principales resultados generales.

### Introducción

Las infraestructuras lineales de transporte, como carreteras y ferrocarriles, pueden tener varios efectos negativos sobre la fauna como pueden ser los siguientes:

1. **Fragmentación del Hábitat:** Las infraestructuras pueden dividir los hábitats naturales en fragmentos más pequeños, lo que dificulta la movilidad de los animales y puede llevar a la pérdida de biodiversidad, siendo especialmente importante en especies de gran dominio vital como carnívoros silvestres y ungulados.

2. **Mortalidad por Colisión:** Los animales pueden ser atropellados por vehículos o ferrocarriles. Este problema es particularmente grave en áreas donde las infraestructuras atraviesan hábitats importantes para la fauna.
3. **Alteración del Comportamiento:** La presencia de infraestructuras puede modificar el comportamiento de los animales, afectando sus patrones de migración, reproducción y alimentación. Los animales pueden evitar áreas cercanas a las infraestructuras, lo que puede reducir su acceso a recursos esenciales.
4. **Efectos en la Biodiversidad:** La fragmentación del hábitat y la alteración de los ecosistemas pueden llevar a una reducción en la diversidad de especies locales, ya que algunas especies pueden no adaptarse a los cambios.

Para mitigar estos impactos, se pueden implementar medidas como la construcción de pasos de fauna, adaptación de estructuras, vallados e instalación de dispositivos de escape [1]. Para una mejor toma de decisiones y un mejor diseño de futuros proyectos de infraestructuras lineales de transporte, se hace necesario un seguimiento de la eficacia real de estas medidas mitigadoras.

De este modo, en la presente comunicación se describen las principales metodologías de seguimiento de la eficacia de medidas correctoras para la fauna en infraestructuras lineales [1] y [2]., considerando las variables de tipo de muestreo, tipo de estructura o tipo de parcela de seguimiento. Se aporta una breve visión sobre las principales métricas que pueden servir para la toma de decisiones.

## **Material y Métodos**

Este trabajo se basa en una revisión de los seguimientos ambientales realizados por parte de diferentes gestores de infraestructuras lineales en lo relativo a su impacto sobre la fauna en fase de operación, a partir de la aplicación de las guías de referencias ([1] y [2]).

De este modo, se ha realizado una revisión que toma como base el análisis de las metodologías y procedimientos internos de dichos gestores (ADIF, Demarcaciones de Carreteras, entes de gestión de infraestructuras de transportes, etc.) así como el análisis de los resultados obtenidos durante varios años de seguimiento en diversas infraestructuras lineales de transporte.

En este sentido, es preciso reseñar que el seguimiento de la eficacia de las medidas correctoras para la fauna en las infraestructuras lineales de transporte (ILT) atendiendo a dichas metodologías se centra en 3 parcelas de seguimiento:

- Uso de las estructuras de cruce
- Mortalidad inducida

- Eficacia cerramiento y dispositivos de escape

## Resultados

El seguimiento de la eficacia de las medidas correctoras para la fauna en las infraestructuras lineales de transporte (ILT) se centra en 3 parcelas de seguimiento:

- Uso de las estructuras de cruce
- Mortalidad inducida
- Eficacia cerramiento y dispositivos de escape

### Seguimiento estructuras de cruce

En lo referente al seguimiento del uso de las estructuras de cruce, parcela de seguimiento de mayor relevancia de las ILT por su impacto característico sobre la conectividad, los puntos de muestreos serían todas aquellas estructuras que constituyen oportunidades de cruce para la fauna [3], como por ejemplo obras de drenaje transversal, pasos inferiores, pasos superiores, túneles y viaductos. Antes de su muestreo es necesaria una caracterización previa para poder relativizar los resultados del flujo de paso a las dimensiones y apertura de cada estructura de cruce, algo que no es aplicable a microestructuras como túneles y viaductos, que tienen una gran incertidumbre debido a su gran tamaño e imposibilidad de muestreo en su totalidad.

Las principales técnicas de muestreo serían las cámaras de fototrampeo, el sustrato de registro (arena, barro, polvo de mármol, etc.) y el rastreo por parte de especialista, siendo en algunos casos recomendable el uso combinado de estas técnicas para contrarlar el sesgo entre ellas.

En algunos casos especiales, se requieren técnicas más especializadas como puede ser el radiomarcaje de ejemplares de gran dominio vital (Ej: lobo ibérico), que permiten obtener datos de mucha calidad de las rutas de cruce de los individuos y de los pasos preferentemente utilizados, si bien por el contrario es necesaria la participación de expertos en el manejo y seguimiento de estas especies objetivo.

### Seguimiento mortalidad inducida

En lo que respecta al seguimiento de la mortalidad inducida en la ILT, éste debe centrarse en aquellos puntos de la infraestructura que tiene mayor riesgo de mortalidad para la fauna, como pueden ser la

propia vía, vallado, arquetas, zanjas, infraestructuras eléctricas, etc. Es importante en estos casos aplicar los pertinentes factores de corrección a la mortalidad observada, los cuales deben provenir de experiencias ad-hoc (teste de permanencia, test de detectabilidad, test cobertura plataforma, etc.) realizadas sobre la propia infraestructura objeto de muestreo a partir de una metodología estandarizada.

Asimismo, es importante realizar un censo del flujo de animales que cruzan transversalmente la vía, de manera que puedan realizarse métricas que relacionen este flujo con la mortalidad observada, pudiendo determinarse zonas de mayor y menor riesgo. En esta parcela, cobran relevancia técnicas de seguimiento como el fototrampeo, utilización de material óptico profesional y las prospecciones visuales por equipos de observación conformados por técnicos especialistas, que puede estar reforzados por perros adiestrados en el caso de la mortalidad, si bien en este caso aún se están realizando pruebas pilotos para la aplicación de los mismos en ILT, y es necesarias también una correcta estandarización de estos seguimientos para que los resultados sean comparables entre diferentes ILT.

#### Seguimiento eficacia de cerramiento y dispositivos de escape

Relativo al seguimiento de la eficacia del cerramiento y los dispositivos de escape, el muestreo ha de centrarse en el vallado a lo largo de toda la longitud del tramo en estudio, incluyendo empalmes y puertas, así como los dispositivos de escape de diferentes tipologías que se encuentren distribuidos en el mismo.

Es de gran importancia, al igual que en el caso del seguimiento de las estructuras de cruce, una caracterización previa para poder relativizar los resultados del flujo de paso a las dimensiones y apertura de cada hueco/dispositivo de escape. Para este seguimiento, las técnicas preferentes serían las cámaras de fototrampeo ya que son puntos de muestreo a la intemperie, y sólo sería posible el sustrato de registro en zonas de baja pluviosidad y poco viento.

## Discusión y Conclusiones

En general, una de las principales conclusiones generales que derivan del análisis realizado, es la necesidad de aplicar metodología estandarizadas [3], que puedan ser replicables y que por tanto permitan realizar comparativas sin sesgos entre diferentes tramos, informando a los organismos de toma de decisiones.

A nivel de cada parcela de seguimiento, las conclusiones y su discusión serían las siguientes:

### Seguimiento estructuras de cruce

Los resultados indican que las especies, incluso aquellas de mayor tamaño como ungulados y carnívoros silvestres, utilizan las oportunidades de paso incluyendo aquellas poco adaptadas o sin revegetación, lo que puede sugerir una necesidad de invertir en más pequeñas estructuras de cruce de menor coste en vez de grandes estructuras de elevado coste, lo que se conoce como dilema SLOSS (Single Large or Several Small); si bien esta propuesta dependen ampliamente de la especie objetivo y de las condiciones del entorno, por lo que no puede generalizarse totalmente.

En lo referente a las técnicas de muestreo, si bien las cámaras de fototrampeo tienen un coste inicial mayor, éste se ve diluido por la posibilidad de funcionar autónomamente, mientras que el sustrato de registro, más barato de partida, tiene un elevado coste de personal ya que requiere que una persona llanee el mismo cada día para un nuevo registro de huellas. Es recomendable además realizar una adecuada configuración de las cámaras al objeto del seguimiento y tipo de estructuras, así como la elección de un adecuada tamaño de grano para el sustrato de registro.



*Figura 01. Vista de tejón cruzando infraestructura de transporte capturado mediante fototrampeo y donde se observa banda de marmolina como sustrato de registro de huellas.*

Seguimiento mortalidad inducida

Respecto a la mortalidad, se destaca la baja permanencia de los señuelos de cadáveres en zonas donde la densidad de predadores, especialmente rapaces, es elevada. En todo caso, hacen falta más estudios preoperacionales -actualmente escasos- para conocer esta densidad y de esta manera tener resultados más concluyentes. Por otro lado, es necesario seguir investigando sobre la conveniencia del uso de perros adiestrados en el seguimiento de mortalidad, teniendo en cuenta el tráfico de vehículos/trenes y la influencia de factores como el cansancio del perro.



*Figura 02. Vista de urraca retirando señuelo , dentro de un test de permanencia de cadáveres en línea de alta velocidad, monitoreado con cámara de fototrampeo*

### Seguimiento eficacia de cerramiento y dispositivos de escape

En lo relativo a este seguimiento, se observa un marcado uso bidireccional de los huecos, con una cierta fidelización de los mismos para su utilización para la entrada y salida de vía, lo que lleva a una infrautilización de los dispositivos de escape, independientemente de su tipología. A este respecto, se observa como sobre todo los dispositivos de tipo portillo basculante pierden rápido su funcionalidad si no se realiza un adecuado mantenimiento/desbroce de la plataforma.

Además de todo lo anterior, se sugiere como idóneo la realización de una parcela de seguimiento adicional que esté relacionada con el uso de las diferentes estructuras de las ILT (drenajes, pasos superiores, viaductos, etc.) como zonas de refugio de fauna para grupos como quirópteros, rapaces nocturnas, córvidos, etc.



*Figura 03. Vista de conejo entrado en infraestructura lineal de transporte a través de un hueco creado por mal ajuste de la base del vallado, monitoreado con cámara de fototrampeo*

### **Referencias / Bibliografía:**

- [1] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2020. Prescripciones Técnicas para hacer Efectivos los Seguimientos de las Medidas de Mitigación del Efecto Barrera de las Infraestructuras de Transporte (Diseño, Documentación y Archivo del Seguimiento Ambiental). Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 8. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 145 pp. Madrid
- [2] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2015. Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales (segunda edición, revisada y ampliada). Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transportes, número 1. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 139 pp. Madrid.
- [3] Van der Ree, R., Smith, D.J., & Grilo, C., (2015), Handbook of Road Ecology. Wiley-Blackwell., UK

## LA ENTOMOFAUNA PARA EL SEGUIMIENTO DE ACTUACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL RÍO MANZANARES

Ibarra Mellado, S. (1); García Sánchez-Colomer, M.R. (2)

1: Universidad Autónoma de Madrid, [sergio.ibarra@estudiante.uam.es](mailto:sergio.ibarra@estudiante.uam.es), Madrid, España. 2: CEDEX, [manuel.colomer@cedex.es](mailto:manuel.colomer@cedex.es), Madrid, España

**Palabras clave:** Insectos; Evaluación ambiental; Metodología innovadora; Especies invasoras; Especies de importancia sanitaria.

### Resumen

En 2023 se inició un proyecto de monitorización de las comunidades de insectos con el fin de evaluar el impacto de una intervención para la restauración de parte del ecosistema fluvial en un tramo degradado del río Manzanares. Se muestreó durante 14 meses. Los insectos voladores se capturaban usando un colector montado en un vehículo y la entomofauna epigea se analizaba en dos transectos próximos al río. Se recolectaron un total de 1.112 insectos voladores de los que los polinizadores suponen un 96% de la biomasa. Los dípteros y hemípteros de pequeño tamaño (Chironomidae, Aphididae) son los insectos más numerosos y su abundancia se relaciona con condiciones ambientales locales como la humedad relativa. Los polinizadores siguen patrones de abundancia y diversidad estacionales más predecibles. Las comunidades de artrópodos epigeos son más abundantes y diversos en épocas favorables para las plantas herbáceas y disminuyen durante el estío. Se detectaron especies de importancia sanitaria como las moscas negras (Simuliidae) o garrapatas (Ixodidae) y una especie invasora: *Zelus renardii*. En el futuro estos datos servirán para comparar las comunidades previas a la intervención y evaluar los efectos de las obras en el ecosistema y su esperada recuperación tras la restauración ecológica del tramo del río.

### Introducción

El incesable crecimiento de la ciudad de Madrid a lo largo del siglo XX transformó radicalmente la fisonomía fluvial del Manzanares por la construcción de nuevas estaciones de saneamiento de aguas residuales. Con el fin de renaturalizar partes del curso bajo del Manzanares el Ayuntamiento de Madrid, en colaboración con la Fundación CONAMA y el CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas), están llevando a cabo el proyecto “Manzanares-Gavia-Bulera”, financiado por la Unión Europea con fondos NextGenerationEU. Las principales acciones consisten en modificar las infraestructuras de vertido al río para hacer compatible su actividad con la recuperación de la conectividad ecológica del río y realizar el seguimiento ambiental para analizar su eficacia. Este

trabajo contribuye al desarrollo de los objetivos del proyecto y se centra en el seguimiento ambiental del mismo. Los insectos son especialmente útiles a la hora de estimar los efectos de actividades antrópicas en ecosistemas terrestres porque están en contacto estrecho con compuestos en el suelo, agua y aire [1]. En este estudio usamos la comunidad de insectos y otros grupos de invertebrados como bioindicadores durante la fase del proyecto previa a la ejecución de las obras.

## Material y Métodos

Con el objetivo de analizar las comunidades de insectos del tramo de estudio se completaron 14 muestreos mensuales, desde marzo de 2023 hasta abril de 2024. Se programaban evitando la lluvia o las fuertes rachas de viento entre las 12:00 y las 14:00. En el tramo de estudio, el tramo final del río Manzanares en la ciudad de Madrid, vierten sus aguas tres grandes Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales, esto hace que esté modificado y degradado. El clima del entorno es mediterráneo continental. La vegetación de ribera presente se encuentra muy alejada de la esperada y está interrumpida por los aliviaderos de las infraestructuras hidráulicas (Fig. 1).

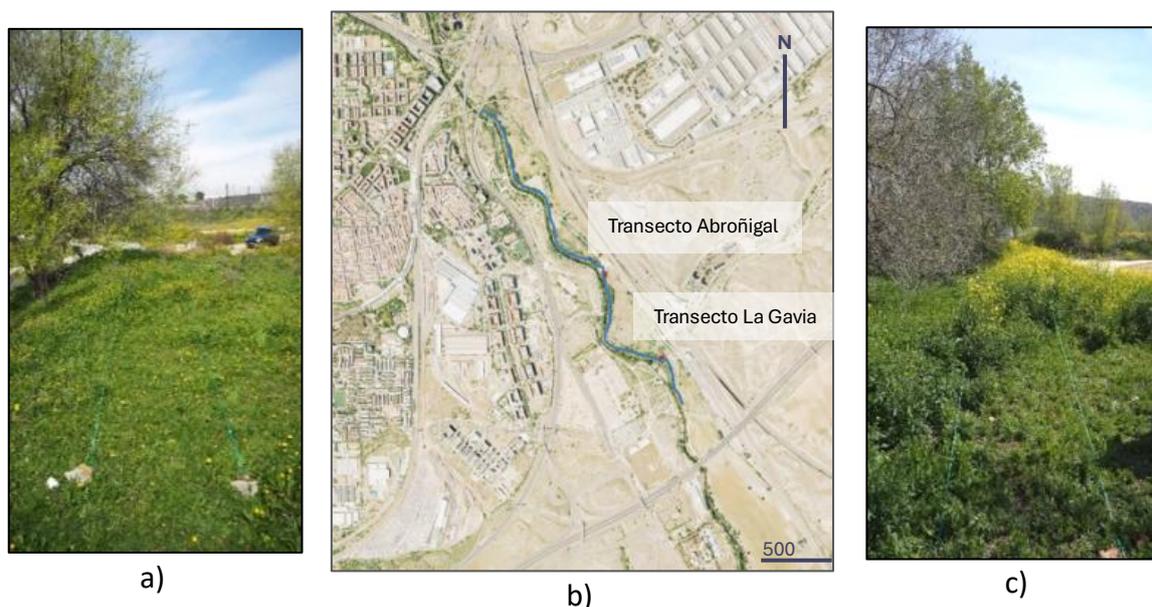


Figura 1. Tramo de estudio y transectos. a) Transecto de Abroñigal, b) Fotografía satélite de la zona del tramo de estudio. En azul el recorrido de muestreo en vehículo, en rojo los transectos a pie, c) Transecto de La Gavia (a y c: García Sánchez-Colomer, M.R., 2024; b: Ibarra, S., 2024).

Para muestrear insectos voladores se usaba un colector diseñado en el CEDEX que se monta encima de un vehículo (Fig. 2). Consiste en un cubo de metacrilato transparente de 50 cm de lado interno. La

cara delantera se cierra por una puerta abatible (Fig. 2a). En la cara trasera hay una malla de 2 mm de poro. La puerta delantera se mantiene abierta cuando el vehículo está en movimiento (Fig. 2b) y se cierra cuando el vehículo pierde velocidad, esto impide a los insectos escapar si el vehículo debe detenerse. La base incluye pasadores a medida que sujetan el colector al portaequipajes del vehículo [2]. Se recorrió el tramo de 2,5 km cuatro veces para muestrear 10 km en total manteniendo una velocidad aproximada de 40 km/h.

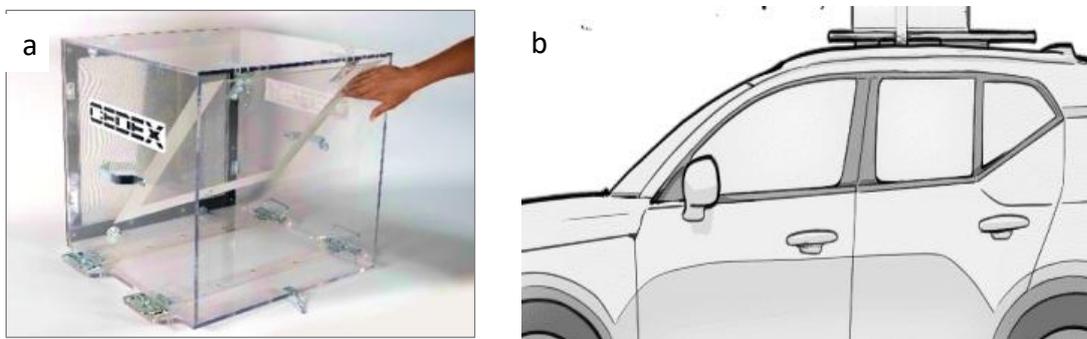


Figura 2. Colector de insectos: a) Tapa abatible, b) Funcionamiento con el vehículo en marcha (a: García Sánchez-Colomer, M.R., 2019; b: Ibarra, S., 2024)

Se analizaban a pie dos transectos de 1x10 m situados en dos puntos cerca de los aliviaderos de los que toman su nombre. El transecto “La Gavia” se encuentra a cinco metros del camino en una elevación del terreno. El transecto “Abroñigal” se sitúa tras la línea de árboles (olmos y fresnos) y conecta con la zona de la terraza del río.

En el laboratorio los insectos voladores fueron analizados con la lupa binocular y clasificados por familias. Se seleccionaban las familias de polinizadores para su análisis por separado. Si se detectaba una especie invasora o de interés sanitario se inventariaban por separado. Las moscas negras (Simuliidae) y las garrapatas se separaron de la muestra principal para su análisis por investigadores del Museo Nacional de Ciencias Naturales.

Para estimar la biomasa se establecieron tres categorías de peso. A cada insecto se le asignaba una de estas tres categorías arbitrarias, cada una representa la media de peso relacionada con un tamaño corporal determinado, de esta manera se estimó la biomasa sin necesidad de procesar la muestra.

A cada muestreo se le asociaron una serie de datos meteorológicos recogidos de la estación meteorológica de Getafe. Para complementar los datos meteorológicos se añadieron los índices de vigor vegetal (NDVI) y de humedad (NDMI) de las fechas más cercanas posibles. Los valores fueron

extraídos de la base de datos del programa de la Unión Europea de observación y monitorización de la Tierra: *Copernicus* [3] en concreto de las imágenes proporcionadas por el satélite Sentinel-2 L2A.

La base de datos se generó en Microsoft Excel. Se llevó a cabo un análisis de correlación entre todas las variables utilizando las herramientas del Analysis ToolPak Add-in. Para obtener más información en estos análisis de correlación se introdujo una nueva variable: la amplitud térmica, calculada como la diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima.

### Resultados

Se capturaron un total de 1.112 insectos voladores se 75 familias diferentes. El orden Diptera, con 833 capturas, es el más numeroso, seguido por Hemiptera (175) e Hymenoptera (39). La abundancia media de insectos es de 79,43 al mes, el máximo se recogió en noviembre de 2023 (440 capturas) y en febrero de 2024 fue la abundancia mínima (0 capturas) (Fig. 3). Un 12% de los insectos voladores eran polinizadores. La familia más numerosa de insectos voladores es Chironomidae (683 capturas): dípteros cucliomorfos asociados al agua. En noviembre de 2023 se alcanzó la cifra de 416 quironómidos.

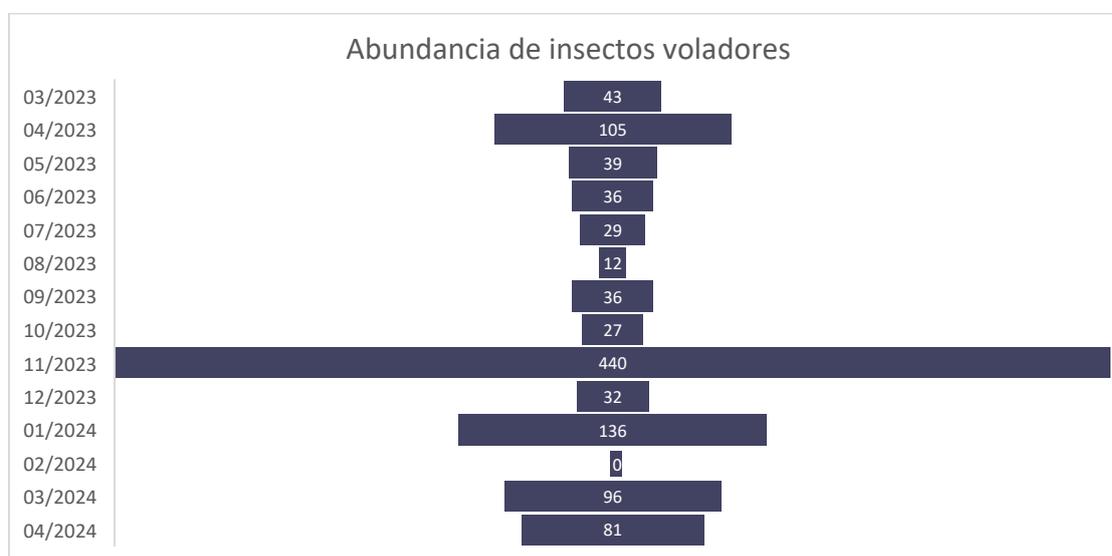


Figura 3. Número de ejemplares de insectos voladores capturados cada mes.

La familia más numerosa de insectos voladores es Chironomidae, un grupo de dípteros. En cuanto a los polinizadores encontramos una gran diversidad: 31 familias en total, de las que destacan las moscas de la familia Anthomyiidae, las familias de himenópteros Vespidae, Halictidae y Andrenidae

y la familia de coleópteros Meloidae. La muestra completa pesa 5,48 g (peso seco estimado), el orden que más biomasa aporta es Hymenoptera. Los polinizadores suponen un 96,13 % de la biomasa total. Se encuentran fuertes correlaciones directas ( $p < 0,001$ ) entre la biomasa de insectos voladores y la temperatura máxima (Fig. 4), así como entre el número de familias de polinizadores y la amplitud térmica diaria.

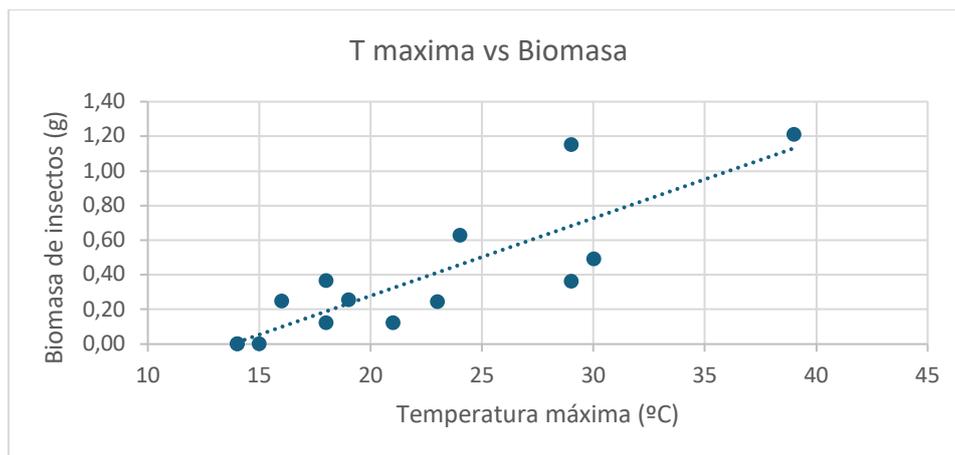


Figura 4. Correlación entre la temperatura máxima y la biomasa de insectos voladores.

En septiembre de 2023 encontramos una ninfa del hemíptero invasor *Zelus renardii* (Kolenati, 1856) (Fig. 5b). En julio y noviembre de 2023 y en abril de 2024 se detectaron durante el conteo ejemplares del género *Simulium*, se enviaron al MNCN. Pertenecían a la especie *Simulium erythrocephalum* (De Geer, 1776) (Fig. 5a), de importancia sanitaria.

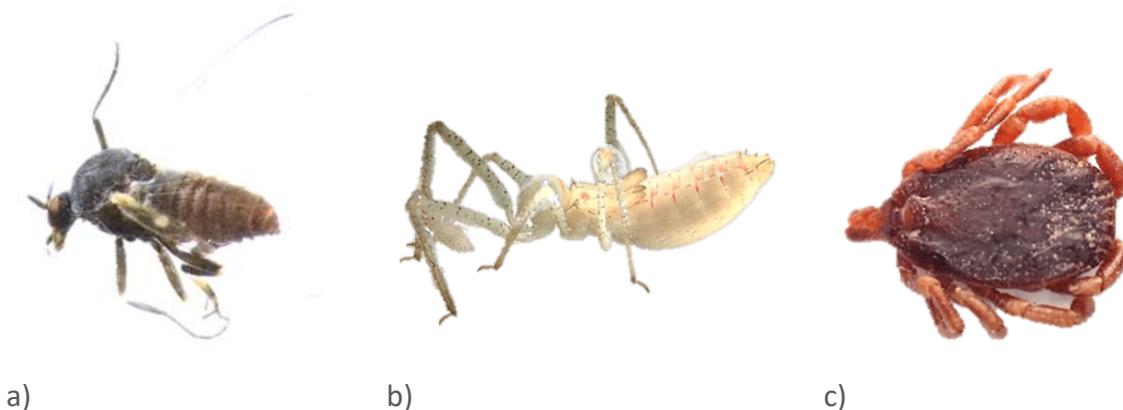


Figura 5. Especies de interés. a) *Simulium erythrocephalum*, b) *Zelus renardii*, c) *Hyalomma* sp. (Ibarra, S., 2024)

En el transecto de La Gavia se contaron 515 invertebrados de 21 órdenes distintos mientras que en transecto de Abroñigal se contaron 372 pertenecientes a 13 órdenes diferentes. En febrero de 2024 se hallaron 44 insectos entre los dos transectos mientras que no se había capturado ningún insecto volador. En abril de 2024 fue capturada una garrapata (Ixodidae) del género *Hyalomma*, de importancia sanitaria (Fig. 5c).

Existe una correlación inversa entre la abundancia de entomofauna epigea y el índice UV máximo. En La Gavia la abundancia y diversidad están altamente relacionados con la humedad relativa ( $p < 0,001$ ). El número de órdenes en ambos transectos tiene relación con el NDVI y NDMI ( $p < 0,05$ ) (Fig. 6).

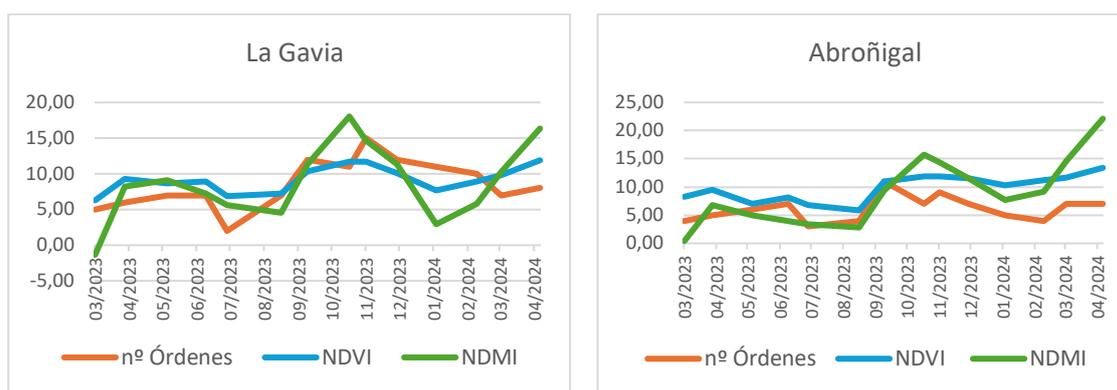


Figura 6. Diversidad en los transectos y su relación con los índices de vigor vegetal (NDVI) y de humedad (NDMI). a) Transecto de La Gavia, b) Transecto de Abroñigal.

## Discusión y Conclusiones

Los resultados nos proporcionan una información muy valiosa para entender las dinámicas de las comunidades de insectos en el tramo de estudio. Al contrario que en grupos faunísticos de vertebrados las comunidades de insectos se caracterizan por cambiar rápidamente al ser muy dependiente de cambios ambientales locales. Así encontramos una elevada heterogeneidad en capturas de meses contiguos, por ejemplo, en enero de 2024 se contaron 136 insectos voladores, 0 en febrero y 96 en marzo. La abundancia de insectos voladores depende marcadamente de familias como Chironomidae y Aphididae que siguen patrones de abundancia relacionados con las variables meteorológicas locales y no con las variaciones climáticas anuales. El invierno de 2023 se ha presentado moderadamente frío, por lo que se podían ver emergencias de dípteros con larvas acuáticas en condiciones de humedad ambiental elevada y nieblas.

La importante correlación entre la biomasa de insectos voladores y de polinizadores se explica porque estos últimos suponen un 96 % de la biomasa total. Las abejas, avispas, escarabajos y moscas que visitan las flores se clasificaban en la categoría de peso más alta. La variación de abundancia y diversidad de polinizadores sí es más cercana a una clásica variación estacional. En invierno la abundancia y diversidad es mínima, crece en primavera y se mantiene en verano. El patrón de floración de las plantas de la zona responde a una estacionalidad parecida. Según Johnson & Stahlschmidt, 2020 el tamaño corporal de especies de insectos es el principal factor que influye en la temperatura máxima crítica, a mayor tamaño corporal más tolerancia adquieren a altas temperaturas, además los insectos más corpulentos son capaces de regular mejor su temperatura en vuelo [5]. Esto puede explicar en parte cómo los polinizadores (que aportan la mayor parte de la biomasa) son capaces de volar en verano cuando la abundancia total de insectos es baja, puesto que la abundancia depende de dípteros y hemípteros que por su reducido tamaño no poseerían tanta tolerancia al calor.

En cuanto a las especies invasoras, se ha encontrado *Zelus renardii* (Kolenati, 1857), conocida como chinche asesina, originaria de América Central y el Caribe. En España se detectó por primera vez en Murcia [6]. Se pensaba que estaba restringida a zonas con inviernos suaves en la zona termomediterránea [7]. Sin embargo, en septiembre de 2023 se encontró un ejemplar viviendo en un clima de inviernos fríos y veranos muy calurosos.

Muchas especies de mosca negra (Diptera, Simuliidae) son causantes de picaduras en humanos y en ganado. *Simulium erythrocephalum*, que se encontró tres veces durante los meses de muestreo, es considerada problemática para el ser humano [8]. En abril de 2024 se capturó una garrapata del género *Hyalomma*, un vector de la fiebre hemorrágica de Crimea-Congo [9].

Esperamos monitorizar los cambios que se dan en estas comunidades a lo largo de los próximos meses y comprobar el efecto de la intervención en los aliviaderos. Se ha descrito satisfactoriamente el estado de las comunidades de insectos a partir de la base de datos generada. El análisis de los datos

de muestreos, de las variables ambientales y meteorológicas han revelado información interesante sobre la biología de estos organismos, en especial de los insectos polinizadores. Gracias a la colaboración con el Museo Nacional de Ciencias Naturales se han aportado nuevos datos sobre la presencia de varias especies de interés sanitario. Las comunidades de insectos han probado ser útiles bioindicadores que tienen cierta capacidad predictiva. Ha quedado probada la utilidad del método de muestreo innovador en este tipo de estudios ecológicos.

## Referencias / Bibliografía

- [1] Parikh G, Rawtani D, Khatri N, 2021, Insects as an Indicator for Environmental Pollution. *Environmental Claims Journal*, vol. 33, no. 2, pp. 161–181, doi: 10.1080/10406026.2020.1780698.
- [2] García Sánchez-Colomer M R, 2022, Metodología CEDEX para el estudio de comunidades de insectos. Publicado online: [https://www.cedex.es/recursos\\_cedex/2022-04/actividades\\_tecnicas\\_y\\_cientificas\\_2020\\_0\\_0.pdf](https://www.cedex.es/recursos_cedex/2022-04/actividades_tecnicas_y_cientificas_2020_0_0.pdf)
- [3] Copernicus EU, 2024, European Union’s Copernicus Land Monitoring Service information. Publicado online: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>
- [4] Johnson D J, Stahlschmidt Z R, 2020, City limits: Heat tolerance is influenced by body size and hydration state in an urban ant community. *Ecol Evol*, vol. 10, no. 11, pp. 4944–4955, doi: 10.1002/ECE3.6247.
- [5] American Physiological Society, 2024, Bigger = better: Big bees fly better in hotter temps than smaller ones do. *ScienceDaily*, publicado online: [www.sciencedaily.com/releases/2018/10/181029084057.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2018/10/181029084057.htm).
- [6] Baena M, Torres J L, 2012, Nuevos datos sobre heterópteros exóticos en España y Francia: *Tempyra biguttula* Stål, 1874, *Belonochilus numenius* (Say, 1832) y *Zelus renardii* (Kolenati, 1856) (Heteroptera: Rhyparochromidae, Orsillidae, Reduviidae). *Boln. Asoc. esp. Ent.*, vol. 36 (3–4), pp. 351–360.
- [7] Rodríguez Lozano B, Baena M, de Dios M, 2018, The Invasive Species *Zelus renardii* (Kolenati, 1857) (Hemiptera, Reduviidae) in Spain and Comments about its Global Expansion. *Transactions of the American Entomological Society*, vol. 144, pp. 551–558, doi: 10.3157/061.144.0305.
- [8] Soriano Hernando Ó, Álvarez Cobelas M, Cirujano Bracamonte S, Ruiz Arrondo I, Aguado Abril A, 2029, La influencia de la vegetación acuática en el desarrollo de las poblaciones de ‘*Simulium erythrocephalum*’ (De Geer, 1776) (Diptera, Simuliidae) en Madrid: su relación con las emergencias masivas de mosca negra. *Revista Madrileña de Salud Pública*, vol. 2, no. 8, pp. 1–8, doi: 10.36300/remasp.2019.016.
- [9] Jiménez Morillo M, 2021, Género *Hyalomma* como principal vector de la fiebre hemorrágica de Crimea-Congo. Situación epidemiológica actual en Europa. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla.

## **METABARCODING: NUEVA HERRAMIENTA BASADA EN ADN PARA EL ESTUDIO DE LA BIODIVERSIDAD. UN CASO PRÁCTICO.**

*Fueyo Rodríguez, A.<sup>1</sup>; Sánchez, O<sup>1</sup>; Cordon Esquerro, J<sup>1</sup>; Escudero Marina, A.<sup>1</sup>; Granero Castro, J<sup>1</sup>; Borrel Pichs, Y. J. <sup>2</sup>*

1. Taxus Medio Ambiente, S.L. [info@taxusmedioambiente.com](mailto:info@taxusmedioambiente.com), Oviedo, España
2. Universidad de Oviedo, [borrellyaisel@uniovi.es](mailto:borrellyaisel@uniovi.es), Oviedo, España

**Palabras clave:** Península Ibérica; Macroinvertebrados; Ríos; Especies invasoras; Especies protegidas.

### **Resumen**

La diversidad de macroinvertebrados bentónicos proporciona información sobre la salud general de los ecosistemas fluviales, lo que la convierte en un aspecto esencial de la investigación y los esfuerzos de conservación. La aplicación de técnicas moleculares basadas en el ADN proporciona un enfoque escalable y altamente sensible para evaluar la diversidad específica. En este estudio se ha aplicado el análisis de metabarcoding en muestras de macroinvertebrados de río, tomadas siguiendo los protocolos oficiales, para una evaluación exhaustiva de la biodiversidad de este grupo en ríos del noroeste de España. Los resultados revelaron una media de 100 especies de macroinvertebrados por muestra. Además, se detectaron un total de 9 especies exóticas (2 primeras citas para la península y otras 2 primeras citas para Asturias) y 1 especie protegida.

### **Introducción**

Los ecosistemas fluviales desempeñan un papel vital en el mantenimiento de la biodiversidad, el suministro de agua dulce y el sustento de las sociedades humanas [1], [2]. A pesar de su importancia, los ríos del mundo se enfrentan a una creciente degradación, lo que plantea retos tanto para la integridad ecológica como para el bienestar humano [3]. Los macroinvertebrados, que incluyen una amplia variedad de especies como artrópodos, anélidos, platelmintos y moluscos, son una parte importante de los ecosistemas fluviales. Estos organismos contribuyen significativamente al ciclo de los nutrientes, a la dinámica de los sedimentos y sirven como indicadores clave de la calidad ambiental [4]. El estudio de la biodiversidad macrozoobentónica proporciona información sobre la salud general de los ecosistemas fluviales, lo que la convierte en un aspecto esencial de la investigación ecológica y los esfuerzos de conservación [5]. La identificación morfológica de los macroinvertebrados ha sido el método convencional empleado en los programas de biomonitorio,

en los que los conocimientos taxonómicos son cruciales para la determinación precisa de las especies. Sin embargo, este enfoque tiene limitaciones inherentes, incluyendo procesos que requieren de mucho tiempo y de conocimientos taxonómicos especializados, lo que dificulta el monitoreo rápido y escalable [6]. En los últimos años, los avances en biología molecular han introducido herramientas innovadoras como el metabarcoding, que ofrecen alternativas prometedoras a la identificación morfológica tradicional [7]. En el contexto de los ecosistemas fluviales, la aplicación del metabarcoding proporciona un enfoque escalable y altamente sensible para evaluar la diversidad de los ríos. Además, de facilitar la identificación de taxones a nivel específico permitiendo potencialmente utilizar los datos obtenidos también para detectar especies de interés, ya sean especies exóticas e invasoras o especies amenazadas y protegidas, sin mayor esfuerzo ni coste. Este estudio aplica la técnica molecular de metabarcoding para una evaluación exhaustiva de la biodiversidad de macroinvertebrados de varios ríos en el noroeste de la Península Ibérica.

## Material y Métodos

Para este estudio se muestrearon un total de 27 puntos del noroeste de la Península Ibérica (Figura 1), tomando muestras para metabarcoding siguiendo el protocolo de muestreo del Ministerio de Medio Ambiente para la toma de muestras de macroinvertebrados [8]. Todos los materiales en contacto con las muestras se esterilizaron antes de cada muestreo. Las muestras se elutriaron con agua destilada y luego se homogeneizaron [9]. Se extrajo ADN de las muestras homogeneizadas por duplicado (10 g por réplica), añadiendo 2 controles negativos. Se amplificó un fragmento del gen mitocondrial COI en dos PCR anidadas utilizando los primers BF3 (5' CCHGAYATRGCHTTYCCHCG 3') y BR2 (5' TCDGGRTGNCCRAARAAYCA 3').

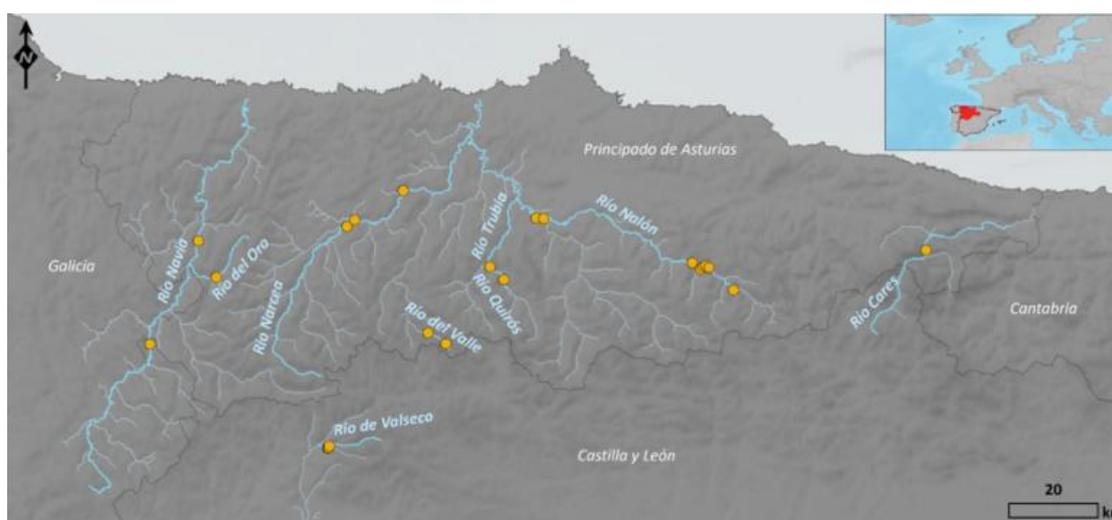
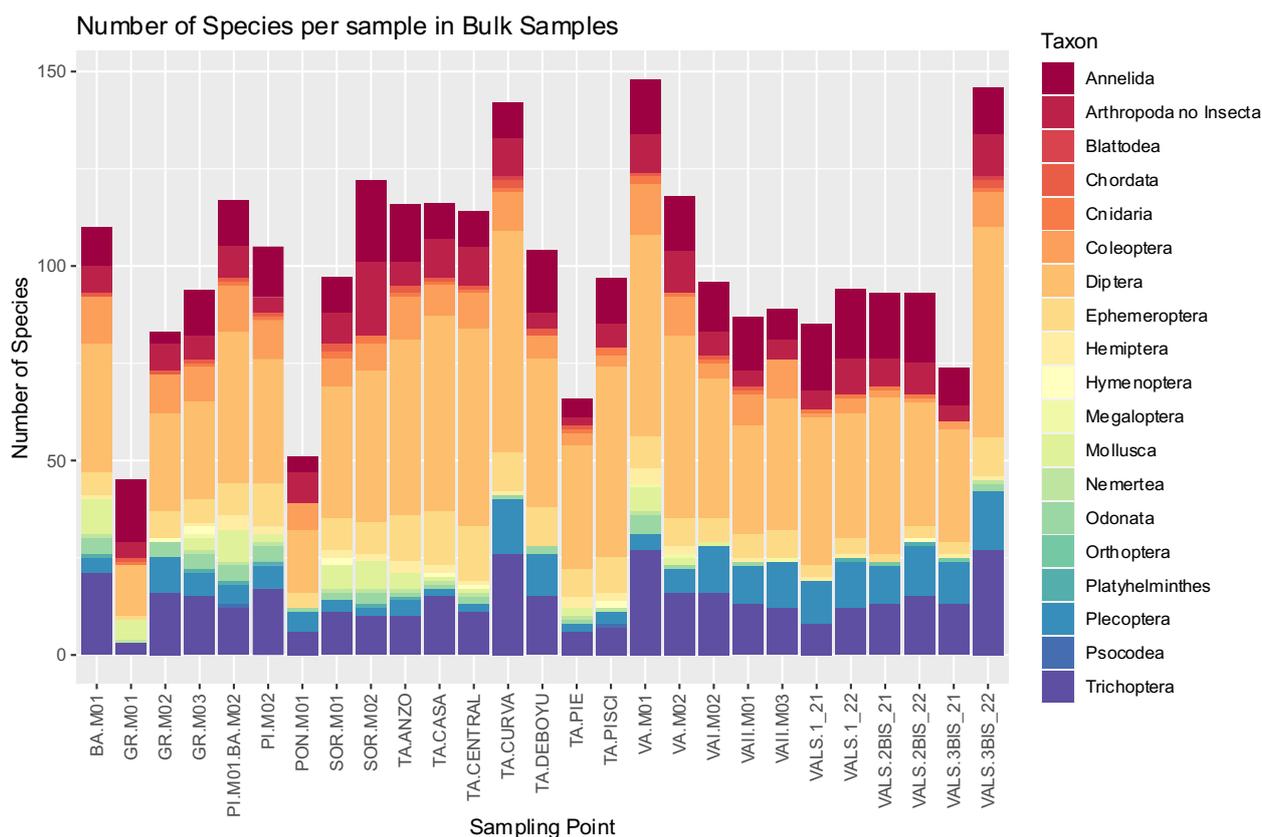


Figura 1. Map showing sampling locations in rivers from Northwest Spain.

En cada ronda de PCR se incluyó un control negativo. La secuenciación se realizó en un NovaSeq PE250 (Illumina) con un objetivo de 100.000 lecturas por réplica. Los datos brutos de secuenciación están disponibles en NCBI SRA (número de acceso: PRJNA1073752). Las lecturas se procesaron bioinformáticamente y los OTUs generados se asignaron taxonómicamente contra la base de datos BOLD. Para cada muestra se fusionaron las lecturas de las réplicas de extracción, pero se tomaron solo aquellos OTUs que aparecían en las 3 réplicas de PCR. Las lecturas de OTU presentes en los controles negativos se restaron de cada muestra.

## Resultados

El metabarcoding de las muestras dio como resultado un total de 460 especies detectadas (643 OTU) en las 27 muestras, con un valor medio de 100 especies por muestra (Figura 2).



*Figura 2. Composición y número de especies por muestra*

No todos los taxones pudieron identificarse a nivel de especie, un total de 2.558 OTUs no pudieron identificarse a nivel de especie en las muestras, quedando 238 OTUs identificados a nivel de género,

262 OTUs identificadas a nivel de Familia, 378 OTUs a nivel de Orden, 1600 a nivel de Clase y 60 a nivel de Filo.

Se detectaron un total de 9 especies exóticas. Estas especies se agruparon en los filos Arthropoda (4 especies), Mollusca (2 especies), Platyhelminthes, Chordata y Cnidaria (1 especie cada uno) (Tabla 1). Las especies que se han detectado en mayor número de muestras han sido *Craspedacusta sowerbii* (62,96% de las muestras), *P. antipodarum* (44,44% de las muestras) y *P. acuta* (14,81% de las muestras). La especie *Rana iberica* (Boulenger, 1879), incluida en el Listado Español de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial [10], y clasificada como Vulnerable (VU) según los criterios y evaluaciones de The IUCN Red List of Threatened Species en 2020, fue detectada en el Río del Oro.

Especies exóticas (NIS)	Filo	1ª Cita	Distrib. nativa	¿Invasiva?	Muestras (n = 27)
<b><i>Pacifastacus leniusculus</i> (Dana, 1852)</b>	Arthropoda		NO America	<b>Si</b> <sup>1,2</sup>	3
<i>Chydorus brevilabris</i> (Frey, 1980)	Arthropoda	Península	N America	No	1
<b><i>Vespa velutina</i> (Lepeletier, 1836)</b>	Arthropoda		SE Asia	<b>Si</b> <sup>2</sup>	1
<i>Ceratophysella communis</i> (Folsom, 1897)	Arthropoda	Península	SE Asia	No	1
<i>Girardia sinensis</i> (Chen & Wang, 2015)	Platyhelminthes	Asturias	N America	No	1
<b><i>Onchorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1972)</b>	Chordata		NO America	<b>Si</b> <sup>1</sup>	1
<b><i>Craspedacusta sowerbii</i> (Lankester, 1880)</b>	Cnidaria	Asturias	SE Asia	<b>Si</b> <sup>1</sup>	17
<b><i>Potamopyrgus antipodatum</i> (Gray, 1843)</b>	Mollusca		New Zealand	<b>Si</b> <sup>1</sup>	12
<b><i>Physella acuta</i> (Draparnaud, 1805)</b>	Mollusca		N America	<b>Si</b> <sup>1</sup>	4

Table 1. Especies exóticas detectadas por metabarcoding en las muestras. n: total de especies procesadas. En negrita se remarcan las especies invasoras. 1: Presente en la lista de especies exóticas acuáticas de la península ibérica [11]. 2: Presente en el catálogo español de especies exóticas [12]

## Discusión y Conclusiones

En este trabajo hemos reportado un total de 9 especies cuya área de distribución nativa no corresponde a la Península Ibérica, 6 de ellas consideradas como especies invasoras (Tabla 1). Todas ellas corresponden a especies cuya presencia en nuestras aguas ya había sido comprobada por estudios morfológicos y moleculares previos, a excepción de dos especies, *Chydorus brevilabris* y *Ceratophysella communis*. La especie *Chydorus brevilabris* es un crustáceo branquiópodo de origen norteamericano que ha sido citado en otros países europeos como Bélgica, Francia, Luxemburgo y Países Bajos [13] y recientemente en el país asiático de Japón [14]; sin embargo, se desconocía su presencia en las aguas de la Península Ibérica. Por otro lado, *C. communis* es un colémbolo terrestre de origen asiático del que nunca se ha informado fuera de su distribución nativa. No parece que se hayan documentado impactos de estas especies exóticas en los nuevos ambientes donde han sido introducidas, por lo que ambas especies deberían ser objeto de futuros estudios genéticos y morfológicos para confirmar su presencia e impactos en la región.

En el caso de la invasora *Vespa velutina*, a pesar de ser una especie terrestre, es muy común en la región [15], [16], por lo que no es extraño haber encontrado restos de material genético en las muestras, como en el caso de *Onchorhynchus mykiss*, introducida en Asturias para la acuicultura de salmónidos [17]. Por otro lado, las especies acuáticas invasoras de moluscos gasterópodos, *Potamopyrgus antipodarum* y *Physella acuta*, así como el crustáceo decápodo invasor *Pacifastacus leniusculus*, están ampliamente distribuidas y son muy abundantes en nuestras aguas [18]. Estas fueron las especies exóticas más detectadas por técnicas moleculares durante este estudio. Del mismo modo, creemos que el dato más relevante encontrado es la presencia en más del 60% de las muestras de la especie invasora de cnidario *Craspedacusta sowerbii* (depredador activo de zooplancton que puede alterar las comunidades animales de las masas de agua que coloniza [19]) que, si bien se conocía su presencia en gran parte de la Península Ibérica y en las comunidades autónomas limítrofes de Galicia y Castilla y León, se desconocía su presencia en el Principado de Asturias [20]. Por último, la exótica *Girardia sinensis* sólo se conocía su presencia en la franja central y occidental de la Península Ibérica donde no se han reportado impactos sobre el ecosistema [21], correspondiendo, estos registros, a un aumento del conocimiento de su distribución en esta zona. En este trabajo reportamos también la detección de la rana ibérica (*Rana iberica*), especie vulnerable (UICN, 2024) incluida en el Listado Español de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial [10]. Esta especie, endémica de la Península Ibérica, se distribuye principalmente por la región noroccidental con poblaciones estables en el País Vasco y el Sistema Central [22]. Se ha detectado dentro de su área de distribución conocida, en el entorno del embalse de Grandas de Salime (Asturias).

Por otro lado, incluso con toda la diversidad específica detectada, sólo el 17,43% de los OTUs generadas pudieron ser identificados a nivel de especie. Esta falta de resolución taxonómica puede tener varias causas, como la falta de secuencias en las bases de datos de referencia que impiden la asignación taxonómica de aquellas especies que no se encuentran actualmente en las bases de datos [23], [24]. Pero también puede deberse a la presencia de NUMT (copias nucleares de genes mitocondriales) o heteroplasmia, ya que pueden proporcionar diversidad de OTUs que no se traduce en diversidad real de especies [25]. Dando lugar a la generación de OTUs espurios, muchos de los cuales se identifican en niveles taxonómicos inferiores [26].

En resumen, la escalabilidad que proporcionan las técnicas moleculares como el metabarcoding promete facilitar los programas de biomonitorización de la diversidad y detección y seguimiento de especies exóticas e invasoras en la Península Ibérica. Esto, unido a los avances en el estudio de otros grupos de especies [27] muestra el potencial de esta técnica para lograr una monitorización integrada de la diversidad global de los ecosistemas en el futuro.

## Referencias / Bibliografía:

- [1] S. E. Bunn and A. H. Arthington, "Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity," *Environmental Management*, vol. 30, no. 4. pp. 492–507, Oct. 01, 2002. doi: 10.1007/s00267-002-2737-0.
- [2] D. Dudgeon *et al.*, "Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges," *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, vol. 81, no. 2. pp. 163–182, May 2006. doi: 10.1017/S1464793105006950.
- [3] Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and human well-being : synthesis*. Island Press, 2005.
- [4] J. D. Allan, M. M. Castillo, and K. A. Capps, *Stream Ecology*. Cham: Springer International Publishing, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-61286-3.
- [5] Mike Furse, Daniel Hering, Karel Brabec, Andrea Buffagni, Leonard Sandin, and Piet F. M. Verdonschot, *The Ecological Status of European Rivers: Evaluation and Intercalibration of Assessment Methods*, 1st ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2006. doi: 10.1007/978-1-4020-5493-8.
- [6] A. Bush *et al.*, "Studying Ecosystems With DNA Metabarcoding: Lessons From Biomonitoring of Aquatic Macroinvertebrates," *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 7. Frontiers Media S.A., Nov. 08, 2019. doi: 10.3389/fevo.2019.00434.
- [7] M. Liu, L. J. Clarke, S. C. Baker, G. J. Jordan, and C. P. Burridge, "A practical guide to DNA metabarcoding for entomological ecologists," *Ecological Entomology*. 2019. doi: 10.1111/een.12831.
- [8] MAGRAMA, "Protocolo De Muestreo Y Laboratorio De Fauna Bentónica De Invertebrados En Ríos Vadeables. Código: ML-Rv-I-2013.," *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*, p. 23, 2013.
- [9] D. Buchner, P. Haase, and F. Leese, "Wet grinding of invertebrate bulk samples - A scalable and cost-efficient protocol for metabarcoding and metagenomics," *Metabarcoding Metagenom*, vol. 5, pp. 73–81, 2021, doi: 10.3897/MBMG.5.67533.
- [10] MAGRAMA, "Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas.," 2011. Accessed: Jan. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2011/02/04/139>

- [11] F. J. Oliva-Paterna *et al.*, “LIST OF POTENTIAL AQUATIC ALIEN SPECIES OF THE IBERIAN PENINSULA (2020) Updated list of potential aquatic alien species with high risk of invasion in Iberian inland waters,” 2021. Accessed: Mar. 02, 2024. [Online]. Available: [https://lifeinvasaqua.com/wp-content/uploads/2021/04/TR2\\_Invasaqua\\_ING\\_PDF\\_interact.pdf](https://lifeinvasaqua.com/wp-content/uploads/2021/04/TR2_Invasaqua_ING_PDF_interact.pdf)
- [12] MAGRAMA, “Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras.” Spain, 2013. Accessed: Jan. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/08/02/630>
- [13] M. Soesbergen, “Cladocera in the valley of the river Sûre (Luxemburg and Belgium), with a review of Chydorus brevilabris in Western Europe,” *Fauna Biol Stud*, vol. 7, pp. 91–97, 2020, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/343323039>
- [14] W. Makino, H. Suzuki, Y. Otake, S. Ban, and J. Urabe, “The first report of the non-indigenous Chydorus brevilabris Frey, 1980 (Crustacea: Cladocera) in Asian freshwaters,” *Limnology (Tokyo)*, vol. 24, no. 3, pp. 151–159, Aug. 2023, doi: 10.1007/s10201-023-00719-4.
- [15] R. A. Fiel, A. g. Narganes, and M. B. Braña Arguelles, “Incidencia de Drosophila suzukii en cultivos de arándano y frambuesa en Asturias,” 2014. Accessed: Mar. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/258-abril-2014/incidencia-de-drosophila-suzukii-en-cultivos-de-arndano-y-frambuesa-en-asturias>
- [16] O. Sánchez and A. Arias, “All that glitters is not gold: The other insects that fall into the asian yellow-legged hornet vespa velutina ‘specific’ traps,” *Biology (Basel)*, vol. 10, no. 5, 2021, doi: 10.3390/biology10050448.
- [17] I. Márquez, E. García-Vázquez, and Y. J. Borrell, “Possible effects of vaccination and environmental changes on the presence of disease in northern Spanish fish farms,” *Aquaculture*, vol. 431, pp. 118–123, Jul. 2014, doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.12.030.
- [18] Vedia, Iván and Miranda, Rafael, “Review of the state of knowledge of crayfish species in the Iberian Peninsula,” *Limnetica*, no. 32, pp. 269–286, Dec. 2013, doi: 10.23818/limn.32.22.
- [19] A. S. Smith and J. E. Alexander, “Potential effects of the freshwater jellyfish Craspedacusta sowerbii on zooplankton community abundance,” *J Plankton Res*, vol. 30, no. 12, pp. 1323–1327, Dec. 2008, doi: 10.1093/plankt/fbn093.
- [20] J. L. Medina-Gavilán and M. M. González-Duarte, “Una síntesis de las localidades ibéricas conocidas para Craspedacusta sowerbii Lankester, 1880 (Cnidaria: Hydrozoa): nuevo registro para España procedente de la vega del Guadalquivir,” *Graellsia*, vol. 74, no. 2, p. 072, Aug. 2018, doi: 10.3989/graellsia.2018.v74.193.

- [21] L. Benítez-Álvarez, R. Sluys, A. M. Leal-Zanchet, L. Leria, and M. Riutort, “First molecular phylogeny of the freshwater planarian genus *Girardia* (Platyhelminthes: Tricladida) unveils hidden taxonomic diversity and initiates resolution of its historical biogeography,” *Zool J Linn Soc*, vol. 197, no. 1, pp. 1–19, Jan. 2023, doi: 10.1093/zoolinnean/zlac065.
- [22] J. M. Pleguezuelos, R. Márquez, and M. Lizana, “Capítulo IX Las especies introducidas de Anfibios y Reptiles,” Spain, 2002.
- [23] Á. Fueyo *et al.*, “The influence of databases enrichment using local macroinvertebrate genetic references for metabarcoding based biodiversity studies in river monitoring,” *Ecol Indic*, vol. 158, p. 111454, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.ecolind.2023.111454.
- [24] H. Weigand *et al.*, “DNA barcode reference libraries for the monitoring of aquatic biota in Europe: Gap-analysis and recommendations for future work,” *Science of the Total Environment*, vol. 678, pp. 499–524, 2019. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.247.
- [25] J. A. Schultz and P. D. N. Hebert, “Do pseudogenes pose a problem for metabarcoding marine animal communities?,” *Mol Ecol Resour*, vol. 22, no. 8, pp. 2897–2914, Nov. 2022, doi: 10.1111/1755-0998.13667.
- [26] T. M. Porter and M. Hajibabaei, “Profile hidden Markov model sequence analysis can help remove putative pseudogenes from DNA barcoding and metabarcoding datasets,” *BMC Bioinformatics*, vol. 22, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1186/s12859-021-04180-x.
- [27] L. Apothéoz-Perret-Gentil *et al.*, “Monitoring the ecological status of rivers with diatom eDNA metabarcoding: A comparison of taxonomic markers and analytical approaches for the inference of a molecular diatom index,” in *Molecular Ecology*, John Wiley and Sons Inc, Jul. 2021, pp. 2959–2968. doi: 10.1111/mec.15646.

## **SEGUIMIENTO AMBIENTAL DEL PROYECTO DE INSTALACIÓN DE UN HIDROTORNILLO PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO NARCEA (PRESA DE LA FLORIDA, ASTURIAS)**

*Pulgar Noriega, A.<sup>1</sup>; Arduengo Sánchez, J.<sup>1</sup>; Sánchez Reguero, A.<sup>1</sup>; Rodríguez García, J.<sup>2</sup>;  
Villazán Peñalosa, B.<sup>2</sup>, Codón Ezquerro, J.<sup>2</sup>, Granero Castro, J.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Área de Consultoría, <sup>2</sup>Área Medio Ambiente y Sostenibilidad*

Taxus Medio Ambiente, S.L., [apulgar@taxusmedioambiente.com](mailto:apulgar@taxusmedioambiente.com), Oviedo, España

**Palabras clave:** Plan de vigilancia ambiental, Fase de construcción, Hidrotornillo, Tornillo de Arquímedes.

### **Resumen**

En 2023, se construye la primera central hidroeléctrica de Asturias compuesta por dos hidrotornillos en serie y una potencia de 700 kW. Este tipo de tecnología basada en el “Tornillo de Arquímedes” genera cada año la energía equivalente al consumo eléctrico medio de 1.000 hogares.

El programa de vigilancia ambiental se diseña para que tanto en la fase de construcción como en explotación, se cumplan las correspondientes medidas preventivas, correctoras y compensatorias propuestas en el EIA y la DIA del proyecto, tratando así de reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales negativos que puedan tener lugar como consecuencia del desarrollo de las obras.

Este trabajo presenta los detalles, las actuaciones desarrolladas y los resultados más interesantes del plan de vigilancia ambiental desarrollado durante las fases previa, de construcción y de funcionamiento de los hidrotornillos.

### **Introducción**

El método de generación hidroeléctrica mediante hidrotornillos es particularmente adecuado para cauces con determinadas características geomorfológicas. Así, una de las principales ventajas de esta tecnología es su capacidad para operar en cursos de agua con bajo caudal y poca altura de caída. Además, tienen un impacto ambiental reducido, ya que su diseño respetuoso con los peces permite el paso seguro de los mismos y no requiere grandes obras de infraestructura que alteren significativamente el ecosistema.

Se han evaluado los efectos de la instalación de dos turbinas tipo tornillo de Arquímedes en la presa de La Florida, en la margen derecha del río Narcea. Las turbinas aprovecharán el caudal ecológico y los excesos de caudal una vez alcanzada la capacidad de la central.

El proceso incluye la evaluación de impactos ambientales, el seguimiento de parámetros clave del ecosistema (como calidad del aire, ruido, agua y suelo), vigilancia sobre las comunidades vegetales y faunísticas, la implementación de medidas de mitigación y la revisión de los resultados para ajustar las acciones necesarias. Este trabajo presenta los detalles y el resultado final de todas las actuaciones desarrolladas de forma previa y durante el programa de vigilancia ambiental.



*Figura 1. Esquema general del proyecto “Aprovechamiento Hidroeléctrico del Caudal Ecológico en el Río Narcea en la Presa de la Florida”*

## Material y Métodos

El objetivo del Programa de Vigilancia Ambiental fue cumplir con todos los condicionantes ambientales establecidos, tanto antes de la construcción como durante la ejecución y el posterior funcionamiento de las instalaciones.

Fase Previa	Efectos de la reducción de la sección del cauce y de los caudales necesarios a liberar en la presa de la Florida para garantizar el buen estado ecológico del tramo de río comprendido entre pie de presa y la salida de hidrotornillos
	Seguimiento ambiental del estado trófico y del potencial ecológico del embalse de La Florida y de sus ríos tributarios y receptores
	Valoración de impactos sobre taxones de interés comunitario
	Prospecciones faunísticas y de la comunidad vegetal
	Diseño de estudio de posible mortalidad de la fauna
Fase de obra	Vigilancia ambiental de la obra
	Seguimiento de la calidad del agua
	Seguimiento de especies protegidas de fauna
	Seguimiento de la calidad del aire y de posible afección a la vegetación por deposiciones de polvo
	Medición de ruido ambiental
Fase de funcionamiento	Control faunístico continuo mediante videovigilancia
	Estudio de posible mortalidad de la fauna
	Medición de ruido ambiental

*Tabla 1. Programa de Control y Evaluación Ambiental: Estudios y Seguimiento en Diferentes Fases del Proyecto*

A continuación se presenta la metodología empleada en la realización de los estudios y vigilancias de las diferentes fases:

A. FASE PREVIA:

1. Efectos de la reducción de la sección del cauce y de los caudales necesarios a liberar en la presa de la florida para garantizar el buen estado ecológico

Se evaluaron cambios en el régimen hidráulico y la morfología del río mediante modelaje hidrodinámico, con el objeto de asegurar el mantenimiento del Buen Potencial Ecológico del tramo de río comprendido entre pie de presa y la salida del hidrotornillo. Para ello se desarrollaron los siguientes trabajos:

- *Levantamiento Topográfico y Batimétrico:* El primer paso fue realizar un levantamiento topográfico y batimétrico del tramo del río comprendido entre la presa del embalse de Pilotuerto y el primer puente aguas abajo. Este levantamiento fue crucial para obtener un modelo tridimensional preciso del área de estudio. La topografía del terreno y la batimetría del lecho del río se registraron utilizando técnicas avanzadas de medición.
- *Sistema de Información Geográfica (GIS):* Se utilizó para manejar y procesar los datos recopilados del levantamiento topográfico y batimétrico. Estos datos se integraron en un modelo TIN (Triangulated Irregular Network), que permitió la interpolación espacial y la generación de un modelo digital tridimensional de la zona.
- *Software MIKE 21:* El modelo hidrodinámico se desarrolló utilizando el software MIKE 21, ampliamente utilizado en estudios hidráulicos debido a su capacidad para simular de manera precisa el comportamiento del flujo de agua en cuerpos de agua. El módulo HD FM (Hydrodynamic Flexible Mesh) es una herramienta avanzada que permite calcular las corrientes generadas simulando el comportamiento del flujo de agua basado en los aportes definidos.
- *Escenarios de Caudal:* Para evaluar los caudales necesarios para mantener el buen estado ecológico del río se definieron diferentes escenarios de caudal. Inicialmente, se planteó un escenario restrictivo considerando el caudal ecológico mínimo de 2,48 m<sup>3</sup>/s en una situación de aguas bajas, sumado a un caudal de 0,14 m<sup>3</sup>/s asociado a la escala para peces y totalizando un aporte mínimo de 2,62 m<sup>3</sup>/s.
  - *Simulación del Escenario Restrictivo:* En el escenario restrictivo, se establecieron dos contornos abiertos en el modelo: uno en el punto de evacuación de los hidrotornillos (entrada de agua) y otro en la zona aguas abajo (salida de agua). La simulación demostró que, con este aporte mínimo, la lámina de agua cubría toda la zona de estudio sin emersiones, garantizando la continuidad del flujo y el buen estado ecológico del tramo de río.

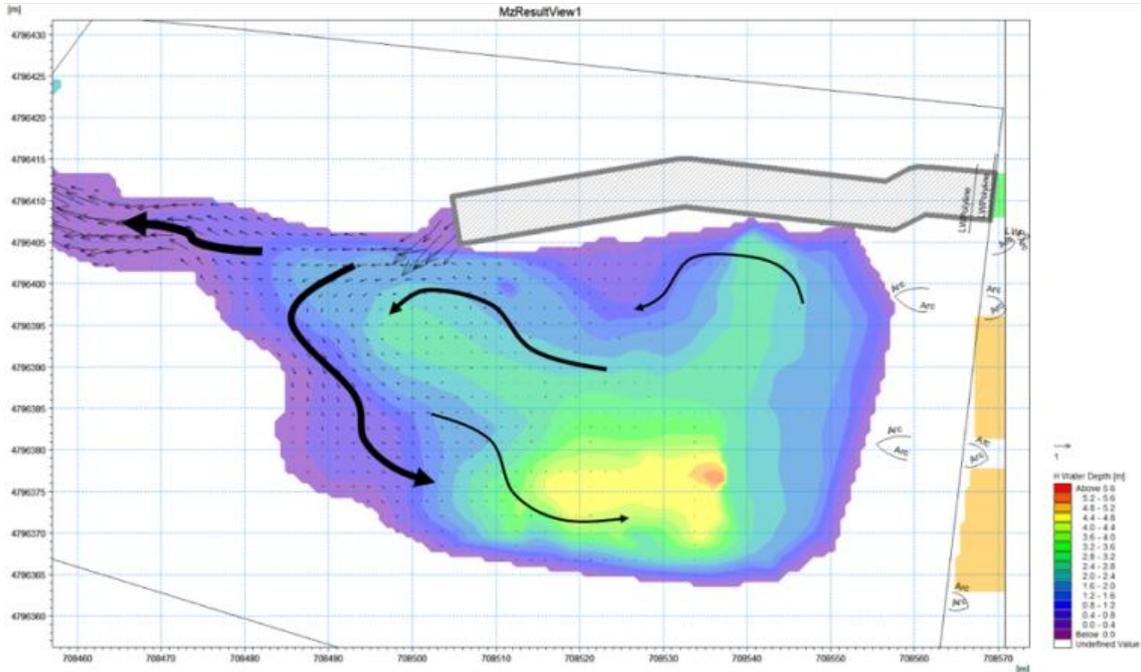


Figura 2. Representación de la circulación del agua en el escenario más restrictivo (aporte por hidrotornillo)

- *Propuesta de Escenario Adicional:* Además del escenario restrictivo, se propuso liberar un caudal adicional de 150 l/s (0,15 m<sup>3</sup>/s) de forma continua a través de la presa para asegurar un aporte directo de agua a la zona aguas arriba del punto de evacuación de los hidrotornillos. Este caudal adicional se liberaría a través de la clapeta sobre la compuerta nº 3 o los tubos de vertido de la compuerta nº 2.

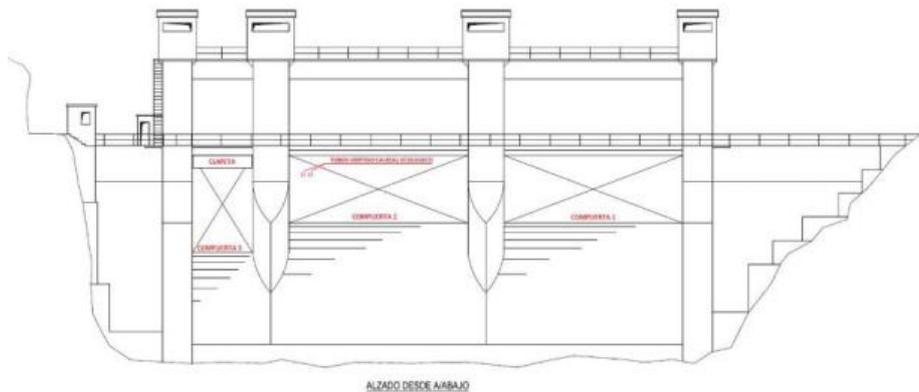


Figura 3. Alzado desde abajo de la presa de La Florida.

- *Simulación del Escenario Propuesto:* Para el escenario propuesto, el modelo se ajustó para incluir tres contornos abiertos: el punto de evacuación de los hidrotornillos, el nuevo aporte de caudal propuesto y la zona aguas abajo. La simulación de este escenario mostró que la lámina de agua cubría toda la zona de estudio, sin emersiones, asegurando la renovación continua del agua y su circulación adecuada.



Figura 4. Contornos abiertos del modelo.

- *Comparación de Resultados:* Se compararon los resultados de ambos escenarios para evaluar su efectividad en mantener el buen estado ecológico del río. Los resultados mostraron que ambos escenarios aseguraban la cobertura continua de la lámina de agua y el buen estado ecológico del tramo de río estudiado. Sin embargo, el escenario con el aporte adicional de  $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$  a través de la presa mejoraba la cobertura y la renovación del agua en la zona comprendida entre la presa y la desembocadura de los hidrotornillos.

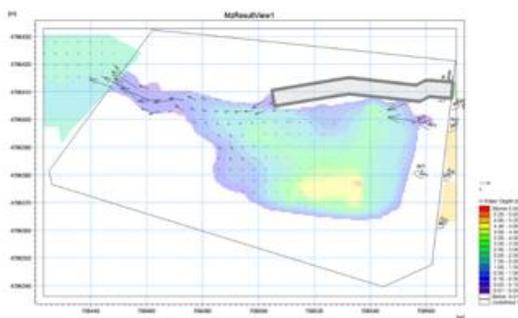


Figura 5. . Simulación del flujo en un escenario de llenado

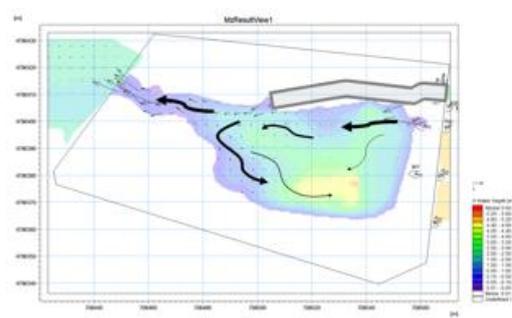


Figura 6. Representación de la circulación del agua en el escenario propuesto



Imagen 1. Resultados obtenidos tras la simulación del escenario propuesto (profundidades)

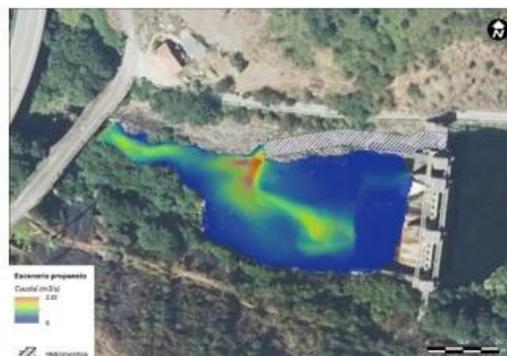


Imagen 2. Resultados obtenidos tras la simulación del escenario propuesto (caudal)

2. Seguimiento ambiental del Estado Trófico y del Potencial Ecológico del embalse de Pilotuerto y de sus ríos tributarios y receptores

- *Seguimiento Ambiental Histórico:* Desde 2012, se ha realizado un seguimiento ambiental del estado trófico y del potencial ecológico del embalse de Pilotuerto y del río aguas abajo de la presa. Se han llevado a cabo campañas de muestreo bianuales, siguiendo criterios de la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE y otras normativas de aplicación.
- *Cambios en los Indicadores a Estudiar:* A partir de 2015, se ampliaron los indicadores a estudiar, incluyendo diatomeas, macrófitos, condiciones hidromorfológicas y nutrientes. Estos estudios se basan en protocolos específicos del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- *Seguimiento de la Calidad de los Ríos:* Incluye el análisis de macroinvertebrados, sensibles a la degradación ambiental y útiles para detectar diversos tipos de contaminación. El protocolo utilizado es el de muestreo y laboratorio de fauna bentónica de invertebrados en ríos vadeables (ML-Rv-I-2013).

3. Valoración de Impactos sobre Taxones de Interés Comunitario:

Siguiendo los criterios de la Dirección General del Medio Natural y Planificación Rural del Principado de Asturias se llevó a cabo una prospección para valorar el posible impacto en la zona de actuación, la cual pertenece a la ZEC Cuenca del Alto Narcea. Esta evaluación se centró en los taxones de interés comunitario, con especial atención a las especies *Margaritifera margaritifera*, *Galemys pyrenaicus* y *Lutra lutra*.



*Imagen 3. Técnico de campo prospectando  
Margaritifera margaritifera*



*Imagen 4. Técnico de campo prospectando  
Galemys pyrenaicus*

#### 4. Estudio de posible mortalidad de las poblaciones de fauna

Se diseñó un estudio de posible mortalidad de las poblaciones de fauna en cumplimiento de la Declaración de Impacto Ambiental del proyecto. Así, la posible mortalidad se plantea mediante el uso de dos posibles enfoques o metodologías:

- **Experimental:** Reproducción controlada del fenómeno a estudiar lo más fiel posible a las condiciones naturales que permita controlar al máximo posible todas las posibles variables involucradas para poder obtener datos exactos, precisos, representativos de la realidad y que permitan discriminar el efecto de las diferentes variables.
- **Observacional:** Se basa en la teoría de muestreo, considerando que un número elevado de observaciones realizadas cuidadosamente del fenómeno tal como ocurre espontáneamente puede ofrecer datos de valor similar al estudio experimental. Se realizaron visitas periódicas de inspección y se instaló videoseguimiento en continuo.

#### B. FASE DE CONSTRUCCIÓN:

Durante la ejecución del Plan de Vigilancia correspondiente a la fase de explotación del proyecto, se implementaron medidas de seguimiento para confirmar que efectivamente no se produzcan alteraciones sobre el Potencial Ecológico del entorno. Se desarrollaron actuaciones en diversos ámbitos:

- **Control de Calidad del Agua:** Se controlaron diversos parámetros mediante una sonda multiparamétrica HANNA HI 9829 calibrada para la medición in situ de Acidez (pH), Saturación oxígeno, Oxígeno disuelto, Conductividad, Turbidez y Temperatura. El control de sólidos en

suspensión (SS), demanda biológica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) se hizo mediante toma de muestras y análisis en laboratorio acreditado. Estos análisis se llevaron a cabo antes y durante la fase de construcción para detectar cualquier cambio significativo.

- *Control del Ruido:* Se registraron los niveles de ruido generados durante la construcción, utilizando equipos de medición de alta precisión para asegurar que los valores se mantengan dentro de los límites establecidos. Se utilizó un analizador portátil 2250-Light (G4) de Brüel & Kjaer, suministrado con el software BZ 7130 y el micrófono 4950. Es un sonómetro de precisión de clase 1, que cuenta con módulos independientes que permiten diversas aplicaciones, configurando los parámetros de medida según el software instalado, en particular para de análisis de frecuencias de 1/1 de octava BZ-7131 y de 1/3 de octava BZ-7132. Además, se utilizó el analizador ambiental de PCE modelo A420.
- *Control de la obra:* Se vigilaron los trabajos de ejecución, así como la generación, disposición y gestión de los residuos, asegurando el cumplimiento de las normativas ambientales.
- *Seguimiento de Fauna:* Se instaló un sistema de cámaras de fototrampeo para monitorizar la fauna local. Este seguimiento incluyó la identificación y cuantificación mensual de la mortalidad de la fauna en transectos y estaciones de censo.

### C. FASE DE FUNCIONAMIENTO:

Finalmente, una vez concluida la fase de obra, se realizan unas campañas de muestreo en las que se estudian de nuevo todos los apartados analizados en la fase previa.

Se mantiene un sistema de monitorización faunística mediante videovigilancia y registro en continuo (cámaras aéreas y subacuática). Se valorará la instalación de una reja en la compuerta de toma con menor tamaño de luz y/o el recubrimiento del área de captación.

### **Resultados**

Los resultados obtenidos en las diferentes actuaciones del Seguimiento Ambiental del proyecto fueron:

- El estudio y las simulaciones desarrolladas con el modelo hidrodinámico permitieron concluir que tanto el escenario restrictivo como el escenario propuesto con un caudal adicional aseguran la cobertura y circulación continuada de la lámina de agua y el buen estado ecológico del tramo de río estudiado. Las simulaciones de ambos escenarios (con y sin hidrotornillos) bajo condiciones extremas de caudal mostraron diferencias no significativas.

- El embalse de Pilotuerto ha mantenido un potencial ecológico "Máximo" en todas las campañas de muestreo. El estado químico del agua, evaluado con datos de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, es "Bueno". El estado trófico del embalse ha sido mayormente "Ultraoligotrófico" en 2020-2021, indicando baja productividad. Sin embargo, hubo un proceso de eutrofia en 2014-2015 debido a un exceso de turbidez.
- El río Narcea, aguas abajo del embalse, ha mantenido un potencial ecológico "Bueno" en casi todas las campañas de muestreo, basado en el análisis de macroinvertebrados.
- En lo referente a la Valoración de Impactos sobre Taxones de Interés Comunitario ninguno de dichos taxones de interés en la zona (*Lutra lutra*, *Margaritifera margaritifera*, *Galemys pyrenaicus*) fue localizado en el lugar exacto del proyecto, solo un avistamiento directo de un ejemplar de nutria en el río Narcea, aguas abajo de la presa. La valoración del impacto del proyecto es no significativa para los taxones indicados.
- **Seguimiento de Obra:** En los 9 meses de duración de la obra se realizaron un total de 36 visitas de control. En lo referente a los residuos se generaron 855 t de no peligrosos y 95 kg de peligrosos, sin accidentes contaminantes sobre el medio.
- **Seguimiento de las mediciones de ruido:** En una única ocasión se detectaron niveles elevados de ruido ambiental, ocasionados por labores de picado de roca mediante martillo hidráulico, adoptándose las correspondientes medidas correctoras.
- **Seguimiento de especies protegidas:** Durante el transcurso de las obras no se observaron individuos de especies protegidas, mortandad faunística o ejemplares heridos.

## Discusión y Conclusiones

- Los resultados de las modelaciones hidrodinámicas para prever cómo la instalación afectaría el régimen hidráulico y la morfología del cauce indicaron que la masa de agua mantendría su constitutividad y renovación.  
La implementación de un caudal adicional a través de la presa se recomienda para mejorar la renovación y circulación del agua en la zona. Así, la presencia y funcionamiento de los hidrotornillos no alterarán la topografía del cauce ni causarán una reducción significativa de la sección del cauce, ni un aumento considerable de la cota de la lámina de agua.
- Tras un estudio detallado de las especies protegidas en la zona no se localizaron impactos negativos directos sobre estas especies ni en su hábitat, concluyendo que el proyecto no afectará significativamente a los taxones de interés comunitario.
- El desarrollo y ejecución de las obras fue el adecuado. La construcción de los hidrotornillos no afectó negativamente a las comunidades biológicas presentes en la zona ni a la calidad de las aguas. La implementación de las medidas de mitigación y el seguimiento ambiental han sido efectivos en minimizar los impactos negativos, alineándose con los objetivos del proyecto y las regulaciones vigentes.

- Tras la evaluación de los datos y observaciones recopiladas durante el plan de vigilancia, se concluyó que no se han identificado incidencias ambientales relevantes que afecten el entorno. De igual forma, los resultados del seguimiento continuo sugieren que, durante la fase operativa del proyecto, no se prevén afecciones ambientales significativas.

### Referencias / Bibliografía:

- [1] Resolución de 25 de julio de 2022 de la Consejería de administración Autonómica, Medio Ambiente y Cambio Climático por la que se formula Declaración de Impacto Ambiental del proyecto "Aprovechamiento Hidroeléctrico del Caudal Ecológico en el Río Narcea en la Presa de la Florida (Tineo)" (EXPTE. IA-IA-0376/2021// AUTO/202278558)
- [2] Decreto 32/90, de 8 de marzo, por el que se crea el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de la Fauna Vertebrada del Principado de Asturias y se dictan normas para su protección.
- [3] Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- [4] Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.
- [5] Baumgartner, L. J., Boys, C. A., & Deng, Z. D. (2019). "Fish-friendly hydropower: Potential and challenges". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 584-592.
- [6] Spänhoff, B., & Meyer, E. I. (2011). "Effects of small hydropower stations on macroinvertebrate communities and habitat conditions in headwater streams". *River Research and Applications*.
- [7] Hohermuth, J., Korbel, K., & Kopf, R. K. (2019). "Aquatic ecosystem impacts of low-head hydropower installations: A review of known and potential environmental consequences". *Science of The Total Environment*.
- [8] Rodríguez, M., & Fernández, P. (2016). "Evaluación del impacto ambiental de pequeñas centrales hidroeléctricas: Un enfoque práctico". Editorial Técnica, Madrid.
- [9] Bakken, T. H., Sundt, H., Ruud, A., & Harby, A. (2012). "Development of small versus large hydropower in Norway—comparison of environmental impacts". *Energy Procedia*.

## LA ECOACÚSTICA APLICADA AL SEGUIMIENTO AMBIENTAL EN LA RESTAURACIÓN DE CANTERAS

*Iglesias Merchán, C. Martín Herranz, L.<sup>2</sup>; Martínez Gascón, J.M.<sup>2</sup>; Gegúndez Cámara, P.<sup>2</sup>*

1. Universidad Politécnica de Madrid, [carlos.iglesias@upm.es](mailto:carlos.iglesias@upm.es), Madrid, España.
2. Holcim España, [laura.martin@holcim.com](mailto:laura.martin@holcim.com), Madrid, España.

**Palabras clave:** Bioacústica; Minería; Monitoreo; Paisaje sonoro; Restauración ecológica; Vigilancia ambiental.

### Resumen

En esta comunicación se presenta un avance de resultados de los trabajos de seguimiento de la restauración ecológica de la cantera La Chanta (Comunidad de Madrid) del Grupo Holcim, basado en metodologías características de la ecología acústica (ecoacústica). Esta disciplina pretende investigar las características del medioambiente sonoro, así como las interacciones entre sonidos naturales y antrópicos a diferentes escalas espaciales y temporales. Su aplicación a la vigilancia y seguimiento ambiental contribuye a aportar valiosa información, tanto sobre la evolución de la calidad de los hábitats afectados por obras como sobre la evolución de sus medidas de restauración ambiental y paisajística.

### Introducción

La Society for Ecological Restoration (SER) define el término “restauración ecológica” como el proceso de asistir a la recuperación de un ecosistema que ha sido dañado, degradado o destruido [1]. Cuando es posible, la restauración trata de retornar un ecosistema a su trayectoria histórica pero, en ocasiones, la trayectoria histórica de un ecosistema gravemente impactado puede ser difícil o imposible de determinar o de recuperar. La combinación de conocimientos sobre la estructura, composición y funcionamiento de ecosistemas intactos comparables, información sobre condiciones ambientales de la región y análisis de otras informaciones ecológicas, culturales e históricas resultan imprescindibles en cualquier proyecto de restauración para definir el ecosistema de referencia o, si procede, otro ecosistema objetivo. En cualquier caso, se considera que un ecosistema se ha

recuperado (y restaurado) cuando contiene suficientes recursos bióticos y abióticos como para continuar su desarrollo sin ayuda o subsidio adicional [1].

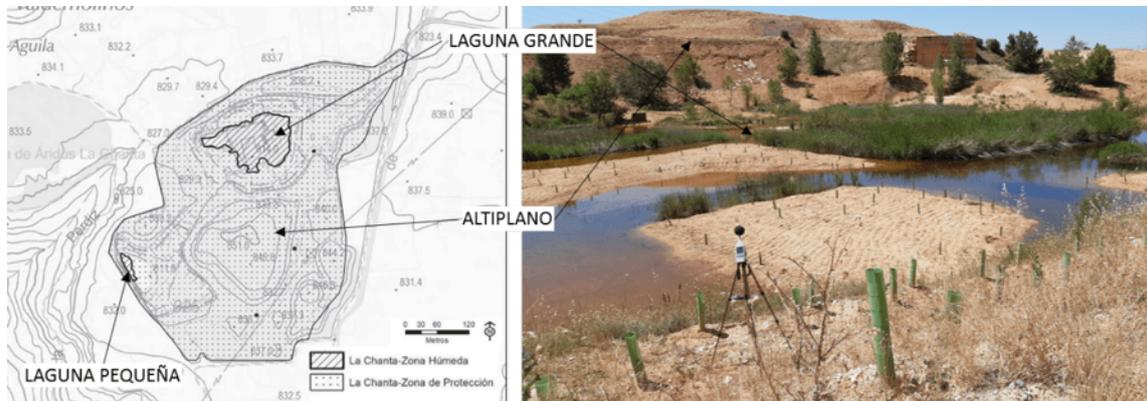
Entre los años 2020 y 2021 se ejecutaron las obras de restauración de la cantera La Chanta, una antigua explotación de caliza de aproximadamente 21,5 ha de superficie, situada en la Alcarria de Alcalá (Comunidad de Madrid) y propiedad de Holcim España. Su proyecto de restauración incluyó trabajos de demolición de instalaciones de la antigua explotación minera, la conservación de otros elementos artificiales por su posible adecuación como refugios de biodiversidad, remodelaciones geomorfológicas y revegetaciones orientadas a crear diferentes ambientes con distinta composición floral, potenciando el empleo de especies locales y considerando variables como la edafología, pendiente, orientación, etc. [2].

Durante el diseño de su remodelación geomorfológica se decidió no rellenar los dos principales huecos de extracción que han dado lugar a dos humedales estacionales: una laguna grande y otra laguna pequeña (aproximadamente 1,15 ha en total). Esta decisión implicaba conservar el principal acopio de voladura, que forma un pequeño altiplano o meseta de aproximadamente 3,75 ha de superficie, alcanza la cota 849 m de altitud y da lugar a una diferencia de cotas de hasta 34 m con parte de la laguna grande.

Tras la ejecución de las actividades de restauración se firmó un acuerdo de custodia del territorio con la ONG Brinzal, en el marco de la estrategia de biodiversidad de Holcim, que apuesta por un modelo de rehabilitación de espacios mineros que logre un balance neto positivo en biodiversidad tras la restauración de estos lugares. Fruto de estos esfuerzos, en mayo de 2023 se aprobó la incorporación del Humedal La Chanta al Catálogo de Embalses y Humedales de la Comunidad de Madrid (Figura 1) por su relevancia faunística, geológica, hidrológica y educativa [3]. Aparte de las superficies de humedal (1,15 ha) se han declarado 18,4 ha como superficie de protección.

En este trabajo se presenta un avance de resultados del seguimiento sonoro del proyecto de restauración de La Chanta, efectuado mediante la combinación de métodos y herramientas clásicas de acústica ambiental y otras técnicas específicas de ecología acústica (o ecoacústica). En este sentido, cabe aclarar que la ecología acústica estudia las relaciones acústicas entre los animales y su entorno. En los últimos años la ecología acústica se preocupa cada vez más por el impacto del ruido ambiental en las comunidades animales, hábitats y ecosistemas (naturales o no), tanto en el medio terrestre como en medios acuáticos. En paralelo al desarrollo del concepto de ecología acústica se está extendiendo el empleo del término anglosajón “Ecoacoustics” (Ecoacústica). En todo caso, en ecoacústica o ecología acústica se reconoce que los sonidos pueden ser tanto objeto como herramientas de la investigación ecológica. Conviene diferenciarlo del concepto de bioacústica, al que muchos autores consideran una rama de la zoología, estrictamente relacionada con la etología, que

investiga la producción y recepción del sonido en los animales (incluida la especie humana), tanto por motivos de comunicación como, por ejemplo, ecolocalización [4].



*Figura 1. Delimitación oficial del Humedal La Chanta (modificado de [3]) con identificación de sus principales zonas húmedas y altiplano.*

Teniendo en cuenta las anteriores definiciones, los sonidos, como herramientas se pueden utilizar para estudiar y monitorear la diversidad, abundancia, comportamiento, dinámica y distribución de especies animales, así como su relación con los ecosistemas y las actividades que en ellos se desarrollen. Como objeto, los sonidos se investigan para comprender su evolución, funciones y propiedades bajo presiones ambientales.

Por otro lado, otros conceptos importantes son los de medioambiente sonoro y paisaje sonoro. El medioambiente sonoro se define por los sonidos en el receptor procedente de todas las fuentes con las modificaciones que cause el entorno, mientras que el paisaje sonoro es considerado el medioambiente sonoro tal y como lo percibe, experimenta y/o entiende una persona o conjunto de personas en su contexto [5].

## **Material y Métodos**

Para llevar a cabo el seguimiento sonoro de la restauración ecológica de la cantera La Chanta se ha realizado una combinación de métodos y herramientas clásicas de acústica ambiental, por ejemplo, para la medición de niveles de presión sonora y modelización acústica de fuentes de ruido, junto a otras técnicas y herramientas más propias de la ecología acústica. En esta última categoría se encontraría el empleo de grabadoras de audio programables y de intemperie que se instalaron en cuatro estaciones de monitoreo ubicadas en diferentes ambientes de la cantera. Entre junio de 2021 y marzo de 2023 se han almacenado más de 140.000 archivos de audio, de los que unos 50.000 archivos corresponden a registros de ultrasonidos para la identificación de quirópteros.

En la actualidad existe un número abrumador de índices cuantificadores de atributos de los paisajes, de su percepción sonora y de evaluación de la biodiversidad sonora [6, 7, 8]. Para el análisis inicial de los registros de audio se ha empleado el programa informático Kaleidoscope Pro versión 5.6 (Wildlife Acoustics, Inc.). Con ello se ha estimado el valor del índice NDSI (Normalized Difference Soundscape Index), que tiene por objeto estimar el nivel de perturbación antropogénica del paisaje sonoro a partir del cálculo de la relación entre componentes acústicos de origen antrópico (antropofonía) y los biológicos (biofonía) que se encuentran en las muestras sonoras de un lugar [9]. Por otro lado, se ha empleado el programa informático Raven Pro 1.6.5 (Center for Conservation Bioacoustics, Universidad de Cornell), para realizar una estimación de la evolución de la diversidad de especies de avifauna entre dos períodos de 2021 y 2023 en base a los registros de sus cantos.

Para llevar a cabo la modelización acústica, previamente ha sido necesario elaborar un modelo digital del terreno que reprodujera con suficiente detalle la orografía real, debido a su influencia en la programación del sonido. Con este fin, se ha empleado la cobertura Lidar (acrónimo del inglés *Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*) disponible en el Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) elaboradas a partir del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA, 2016). Con esta información, se procedió a elaborar una cartografía de base constituida por curvas de nivel con equidistancia de 1 m en ArcGIS Desktop 10.8.1 (ESRI). Para realizar el modelo de ruido es necesario conocer las características acústicas de la fuente emisora y para ello se realizaron mediciones con un sonómetro integrador clase 1 (marca Cesva, modelo SC420). La modelización acústica se realizó mediante el programa de modelización de ruido ambiental CadnaA v 2018 MR1 (DataKustik).

Respecto a los métodos de modelización, también hay que mencionar que existen numerosos métodos de cálculo de ruido ambiental. En España, hasta el año 2018, se utilizaban los métodos que se indicaban en el Anexo II del Real Decreto 1513/2005 [10], correspondiendo el método ISO 9613-2: "Acústica - Atenuación del sonido cuando se propaga en el ambiente exterior, Parte 2: Método general de cálculo" [11] para las fuentes de ruido industrial, como es el caso. Desde la publicación de la Orden PCI/1319/2018 [12], se establece el método CNOSSOS-EU (Common NOise aSSessment methOdS) desarrollado a nivel europeo para la elaboración de mapas estratégicos, estudios de impacto ambiental, etc. No obstante, son numerosos los estudios comparativos entre métodos de cálculo, tanto a nivel nacional como internacional, que ponen de manifiesto las diferencias que se pueden observar, por exceso o defecto, según los casos de estudio y los métodos empleados. Por ello, para facilitar la comparación de resultados con otros estudios sobre los efectos de la contaminación acústica sobre fauna y hábitats naturales se decidió emplear el método ISO 9613-2, dado que es muy utilizado a nivel internacional.

## Resultados

Por un lado, los análisis preliminares de los registros sonoros procedentes de una estación de muestreo ubicada en las proximidades de la laguna grande, revelan un incremento del 9% en el número de especies de avifauna identificadas por su canto entre junio de 2021 y marzo de 2023. Además, la representación horaria de los valores del índice NDSI, que oscila entre +1 y -1 y permite estimar la relación entre la actividad sonora de origen antrópico (antropofonía) y la de origen biótico (biofonía) de un lugar [9], refleja la dominancia de los sonidos de origen natural en el entorno de la laguna grande (estación de muestreo 3). La Figura 2 desvela que los valores promedio negativos del índice NDSI se deben a sonidos de origen antrópico (principalmente tráfico aéreo, tráfico de vehículos en los caminos rurales del entorno y trabajos agroforestales) registrados en las estaciones de muestreo más próximas al perímetro de la cantera. Se producen principalmente entre el mediodía y las 20:00 horas, con máxima incidencia entre las 14:00 y las 16:00 horas.

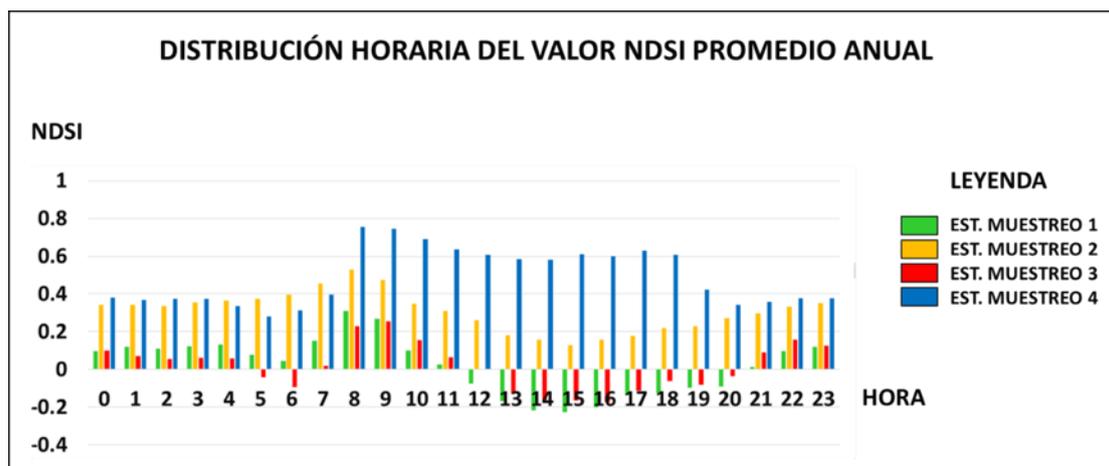


Figura 2. Distribución horaria de los valores del índice NDSI en las estaciones de muestreo.

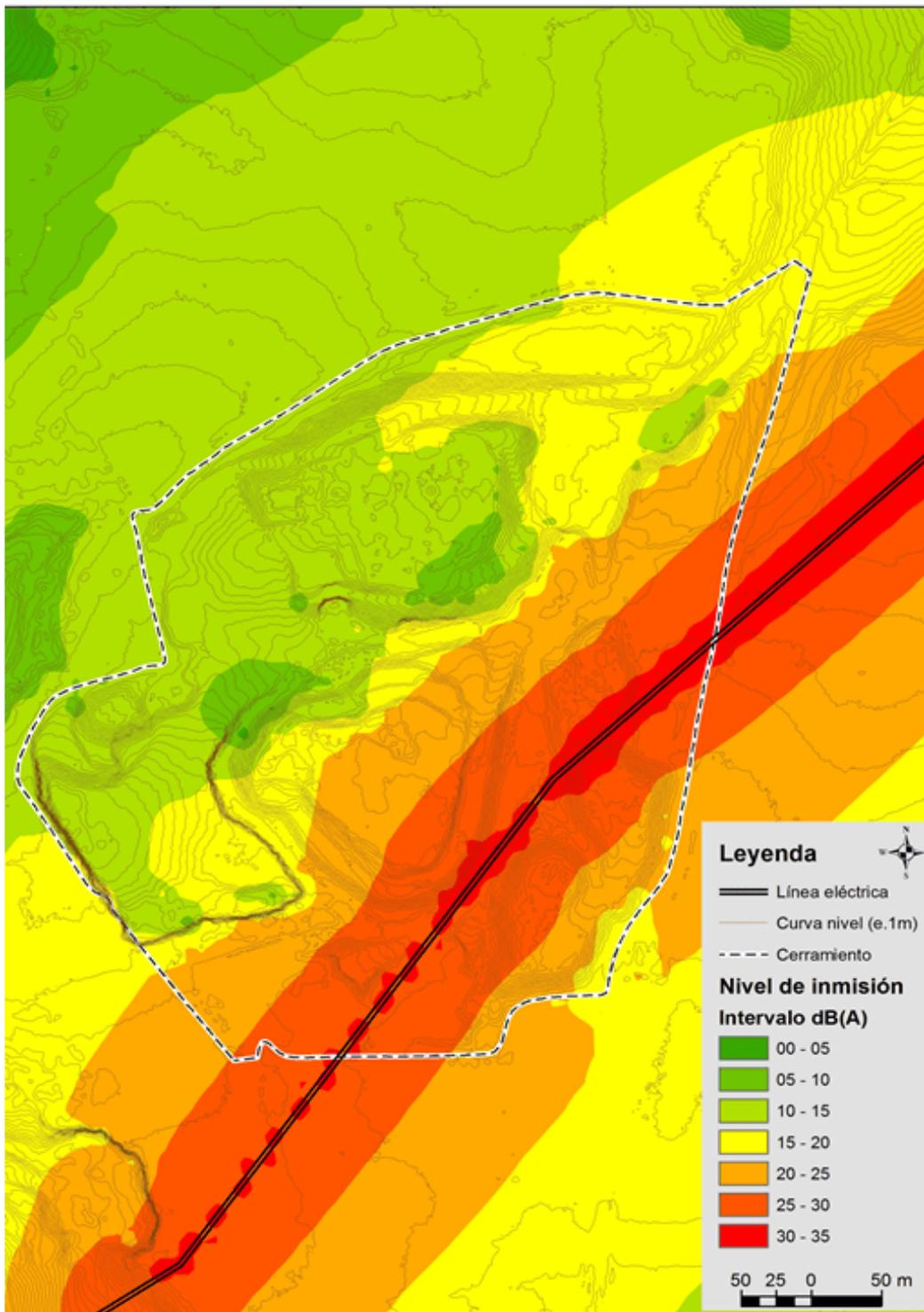


Figura 2. Niveles de inmisión sonora (dBA) debidos a la línea de alta tensión.

Por otro lado, el resultado de la modelización permite observar que el altiplano (que se sitúa entre la laguna grande y una línea de alta tensión que atraviesa La Chanta) desempeña un papel muy relevante como barrera acústica y permite minimizar los niveles de inmisión sonora, de la línea

eléctrica, sobre la superficie del principal humedal (Figura 3). Además, las series de medición de niveles de presión sonora en la laguna grande permiten estimar un nivel medio continuo equivalente anual (LAeq) de aproximadamente 38 dBA. El nivel de ruido de fondo promedio anual (LA90) en el mismo punto se sitúa en aproximadamente 26 dBA, con oscilaciones hasta los 30 dBA, si bien los sonidos de la naturaleza como cantos de pájaros, insectos en determinadas épocas del año, etc. y en función de la distancia a los mismos, en momentos sin viento ni ruido ambiental, pueden elevar estas oscilaciones alrededor de los 35 dBA.

### **Discusión y Conclusiones**

El seguimiento sonoro de la restauración de la cantera La Chanta (iniciado en junio de 2021) ha permitido comprobar que los mismos valores que han propiciado la catalogación del humedal de La Chanta [3] se reflejan en la calidad de su medioambiente sonoro. Por tanto, se puede considerar que las características de su paisaje sonoro refuerzan el valor singular del humedal en el territorio en el que se enclava.

En términos de seguimiento de la evolución de la biodiversidad en la zona restaurada, los datos registrados de la actividad vocal de la avifauna en La Chanta permiten constatar un aumento de la presencia de especies entre los años 2021 y 2023.

También se ha comprobado que el altiplano o meseta conservada en el centro de La Chanta, además de constituir un singular hábitat catalogable como canchales, ejerce una función muy valiosa de protección en la zona de humedales frente al ruido emitido por la línea de alta tensión.

Estos resultados avanzan que el humedal La Chanta podría cumplir con los requisitos para ser considerado zona tranquila, e incluso reserva de sonidos de origen natural, cuando, en el futuro, se desarrollen estas figuras contempladas en la legislación española. En este sentido, cabe mencionar normas autonómicas como la que en Cataluña [13] sí ha dado lugar a la declaración de zonas de especial protección de la calidad acústica (ZEPQA) en algunos espacios naturales en los que no se superan determinados niveles de presión sonora media anual (50 dBA entre las 08:00 y las 21:00 horas y 40 dBA entre las 21:00 y las 08:00 h).

## Referencias / Bibliografía

- [1] Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. The SER International Primer on Ecological Restoration. Society for Ecological Restoration International & Tucson, 2004.
- [2] Cinclus y LafargeHolcim. Informe final de los trabajos de Restauración del Plan de Abandono de Labores de la Cantera “La Chanta” Nº 3257. T.M. Corpa. Madrid. Cinclus y LafargeHolcim, 2021.
- [3] BOCM. 2023. Acuerdo de 17 de mayo de 2023, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba la segunda revisión del Catálogo de Embalses y Humedales de la Comunidad de Madrid. Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Agricultura. Comunidad de Madrid. *Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid* 123: 108-151.
- [4] CIBRA. 2011. Bioacoustics, Underwater Bioacoustics, Acoustic Ecology and Soundscapes. Centro Interdisciplinare di Bioacustica e Ricerche Ambientali. Università degli Studi di Pavia. [http://www-9.unipv.it/cibra/edu\\_bioacoustics\\_uk.html](http://www-9.unipv.it/cibra/edu_bioacoustics_uk.html) (ultimo acceso 29/06/2024).
- [5] Iglesias-Merchan C. 2014. Evaluación del ruido ambiental en espacios naturales protegidos: implicaciones para su gestión. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- [6] Cushman S.A., McGarigal K., Neel M.C. 2008. Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency. *Ecological Indicators* 8, 691-703.
- [7] Aletta F., Kang J., Axelsson Ö. 2016. Soundscape descriptors and a conceptual framework for developing predictive soundscape models. *Landscape and Urban Planning* 149, 65-74.
- [8] Sueur J., Farina A., Gasc A., et al. 2014. Acoustic indices for biodiversity assessment and landscape investigation. *Acta Acustica united with Acustica* 100(4), 772-781.
- [9] Kasten E.P., Gage S.H., Fox J., Joo E. 2012. The Remote Environmental Assessment Laboratory's Acoustic Library: An Archive for Studying Soundscape Ecology. *Ecological Informatics* 12: 50-67.
- [10] BOE. 2005. Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental. *Boletín Oficial del Estado* 301: 41356-41363.
- [11] ISO 9613-2. Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation. International Organization for Standardization. Switzerland, Geneva, 1996.
- [12] BOE. 2018. Orden PCI/1319/2018, de 7 de diciembre, por la que se modifica el Anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre,

del ruido, en lo referente a la evaluación del ruido ambiental. *Boletín Oficial del Estado* 300: 121938-122035

[13] DOGC. 2009. Decret 176/2009, de 10 de novembre, pel qual s'aprova el Reglament de la Llei 16/2002, de 28 de juny, de protecció contra la contaminació acústica, i se n'adapten els annexos. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, 5506: 85734-85797.

## **MEDIDAS PREVENTIVAS Y PRINCIPALES CONDICIONANTES AMBIENTALES DURANTE EL PROCESO DE VACIADO DE EMBALSES. CASO PRÁCTICO**

*Villazán Peñalosa, B.<sup>1</sup>; Cordón Ezquerro, J.<sup>1</sup>; Escudero Marina, A.<sup>1</sup>; Cabiedas Sánchez, S<sup>1</sup>, Granero Castro, J.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Área Medio Ambiente y Sostenibilidad, Taxus Medio Ambiente, S.L.,  
[bvillazan@taxusmedioambiente.com](mailto:bvillazan@taxusmedioambiente.com), Oviedo, España

**Palabras clave:** Vaciado de embalses; Medidas preventivas; Salvaguarda piscícola; Plan de decotación, Elementos de calidad; Central hidroeléctrica; Ictiofauna.

### **Resumen**

Existen muchos motivos por los que puede requerirse el vaciado total o parcial de un embalse, siendo este tipo de masas de agua muy sensibles a estas actuaciones.

El presente trabajo recopila varios vaciados en los que se diseñaron y ejecutaron diversas medidas preventivas para dar cumplimiento a los condicionantes ambientales establecidos por diferentes administraciones y minimizar las potenciales afecciones sobre las diferentes masas de agua, fauna y ecosistemas asociados.

El trabajo previo de gabinete y el diseño e implementación de diversas medidas, como redacción de planes de decotación, creación de lagunas artificiales mediante la instalación de barreras hinchables, estrategias de salvaguarda ictiológica, control de parámetros fisicoquímicos, o erradicación de especies invasoras, permitió que las actuaciones se desarrollasen con la mayor efectividad y con el menor impacto posible.

### **Introducción**

Los vaciados totales o parciales de embalses son acciones que pueden requerir de una tramitación ambiental o la necesidad de realizar un estudio de afecciones a la Red Natura 2000, pero sin embargo en muchos casos, quedan fuera de estos procedimientos, supeditados únicamente a las medidas que se puedan establecer en las autorizaciones sectoriales de obra. En este punto cabe señalar que en todos los casos, existe un riesgo ambiental evidente que puede afectar tanto a la calidad del agua, como a la fauna o al ecosistema asociado.

Es importante realizar estudios y actuaciones previas que permitan cumplir con los condicionados ambientales y resulta necesario conocer las circunstancias y características de cada proceso de vaciado de manera individual, identificando el objetivo de cada caso para así justificar cuál es la razón y por qué no se emplean otras alternativas que supongan una menor afección al medio [1].

Las principales razones para el vaciado de un embalse las encontramos en obras de mantenimiento, impermeabilizaciones, instalación de desagües de fondo, cambios en la explotación del embalse y adaptaciones al cambio climático.

Existen medidas basadas en la monitorización de parámetros fisicoquímicos para el control de la calidad del agua, en actuaciones para evitar/minimizar el impacto sobre la fauna o en la implementación de medidas orientadas a una buena gestión hídrica durante el vaciado.

A lo largo de este artículo se expondrán algunos casos prácticos donde se emplearon diferentes metodologías orientadas al cumplimiento de los diferentes condicionantes ambientales, basados en las experiencias de los siguientes vaciados: embalse del Cauxa, vaciado del embalse de Pilotuerto, del contraembalse de Alsa, de la balsa del Mandeo, del embalse de Campañana, del embalse del Eume, del embalse de Grandas de Salime y del embalse de S. Andrés de los Tacones.

### **Material y Métodos**

A la hora de realizar la monitorización previa, los estudios durante y posteriores al vaciado de un embalse, pueden requerirse los siguientes materiales: vadeadores, sonda multiparamétrica, embarcación neumática a motor, Sacaderas, equipo de pesca eléctrica, cuba de oxigenación, ecosonda batimétrica monohaz, ordenador portátil, barreras antiturbidez, redes de agalla.

En función de los condicionados ambientales, los parámetros a controlar, el tipo de vaciado y la masa de agua, existen diferentes objetivos para la monitorización del vaciado de un embalse. A continuación, se presentan algunos casos prácticos y las metodologías empleadas:

#### ➤ Condicionados específicos relativos a la calidad de las aguas

##### *Sólidos en Suspensión*

Uno de los condicionados ambientales más comunes en relación con la calidad de las aguas suele consistir en no superar una concentración de 25 mg/l de sólidos en suspensión aguas abajo durante el vaciado del embalse.

La obtención de este valor no es instantánea ya que requiere de un análisis posterior en laboratorio, por lo que no se podría dar un dato de este parámetro in situ, lo cual es un problema a la hora de monitorizarlo, ya que el proceso final del vaciado, donde se suele producir un mayor arrastre de materiales, por lo general es rápido y se concentra en uno o pocos días.

Como solución se plantea el empleo del parámetro de turbidez, ya que ambos están correlacionados y sí es posible monitorizar la turbidez in situ y en continuo.

La turbidez dependerá de la naturaleza del sedimento presente en el embalse y por lo tanto será necesario realizar una recta de regresión en el laboratorio, mediante el muestreo de sedimentos del propio embalse y la dilución de los mismos en diferentes concentraciones para calcular valores de turbidez y sólidos en suspensión.

Una vez obtenida la recta, se posibilita la monitorización indirecta de los sólidos en suspensión mediante las lecturas del parámetro turbidez. La toma de muestra de sólidos en suspensión durante el proceso de vaciado y posterior análisis en laboratorio simplemente se hará para verificar estas estimaciones.

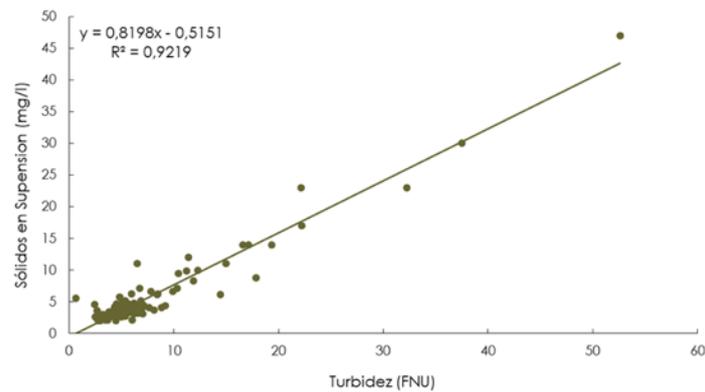
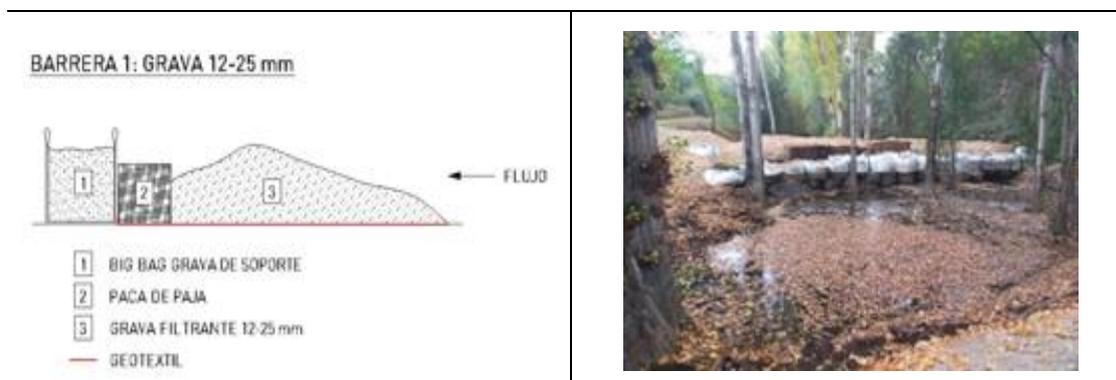


Figura 1. Recta de regresión para los parámetros de turbidez y de sólidos en suspensión

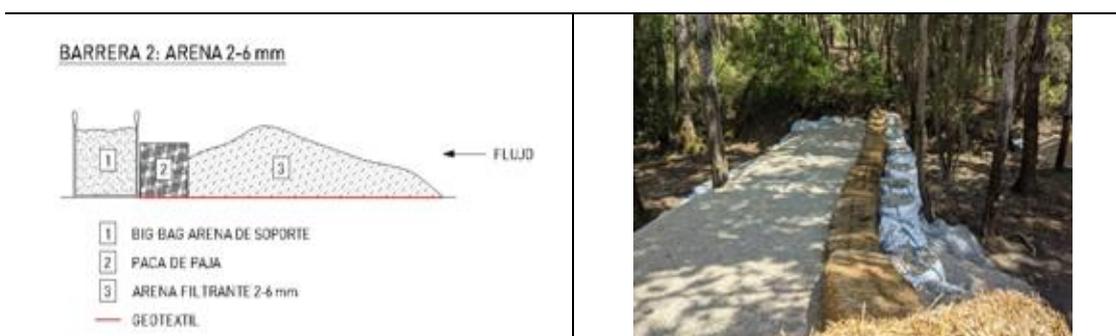
### Turbidez

La turbidez es otro condicionado que se plantea, requiriendo que se minimice la misma, aguas abajo de la presa. Así, por ejemplo, durante el vaciado del embalse de Campañana en León, se establecía la necesidad de que la turbidez no llegase al embalse de Carucedo, ubicado a pocos metros aguas abajo. En este caso, se diseñaron e instalaron dos tipos de barreras consecutivas en el cauce del río, justo antes de que vertiese el agua al embalse de Carucedo. La primera barrera consistía, en la colocación de un geotextil en el lecho del río, para posteriormente colocar un montículo de grava filtrante de entre 12-25 mm, seguida de pacas de paja y de Big Bags rellenos de grava.



*Figura 2-3. Floculación de finos e instalación de la primera barrera antiturbidez*

La segunda barrera, situada unos metros aguas abajo estaba formada por los mismos materiales a excepción de la grava, que fue sustituida por arena filtrante de entre 2-6 mm, tanto en el montículo, como en el relleno de los Big Bags.



*Figura 4-5. Floculación de finos e instalación de a segunda barrera antiturbidez*

### Parámetros físico-químicos

En determinadas ocasiones, la monitorización de los parámetros físico-químicos resultan necesarios para conocer el comportamiento de la masa de agua y las características del perfil de la columna. El objetivo puede ser detectar gases que se puedan desestabilizar en el fondo, monitorizar posibles condiciones de anoxia o bajas temperaturas de fondo.

Para conseguir dicho propósito, se pueden emplear sondas multiparamétricas o también, como se hizo en el embalse del Eume, instalar un catamarán fondeado en la zona de máxima profundidad del embalse que cuenta con un perfilador vertical constituido por una sonda YSI 6600 V2 la cual recopila varias veces al día los datos del perfil de la columna de agua y los envía de forma remota. De esta forma se pueden implementar medidas como las válvulas de chorro hueco, que oxigenan el agua al mismo tiempo de liberan el caudal ecológico.



*Figura 6-7. Sistema de monitoreo con una sonda modelo YSI 6600 V2 y detalle de la suelta del caudal ecológico a través de la válvula de chorro hueco.*

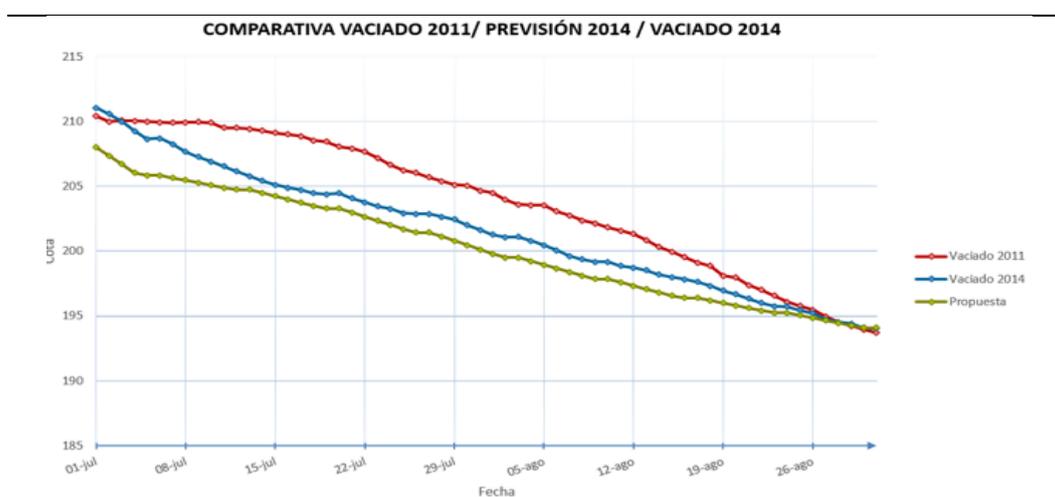
➤ Estudios previos y actuaciones para minimizar las afecciones sobre la fauna

Existen diferentes actuaciones o estudios previos que contribuyen a minimizar las afecciones sobre la fauna durante el vaciado de embalses.

*Planes de decotación y estudio de históricos del embalse*

La realización de planes de decotación, sobre la base de estudios batimétricos, es una de las principales medidas previas a considerar antes de proceder al vaciado de un embalse.

Esto permite analizar la posibilidad de aparición de pozas aisladas donde pueda quedar atrapada la ictiofauna o establecer ritmos de vaciado en función de las curvas cota/superficie emergida.



*Figura 8. Comparativa del vaciado de Grandas de Salime entre el año 2011 y el año 2014 tras la propuesta de TAXUS.*

Es común que durante los vaciados rápidos de embalses, se produzcan arrastres de materiales sobre todo en las colas de los mismos. Si se trata de embalses muy largos, el efecto de la turbidez y los sólidos en suspensión, puede extenderse durante varios kilómetros, afectado a la ictiofauna.

Un adecuado plan de decotación permitirá identificar las cotas más problemáticas (aquellas en las que la superficie emergida es mayor), ralentizando el descenso de la lámina de agua en las mismas y por lo tanto minimizando los impactos debidos a los arrastres. Además, será necesario redactar un adecuado plan de contingencia para el rescate de ictiofauna.

Para conseguir este objetivo, resulta esencial disponer de un estudio batimétrico del embalse y una adecuada caracterización del tipo de sedimentos movilizables para prever la afectación ambiental del vaciado aguas abajo de este [2].

Los estudios batimétricos se realizan mediante embarcaciones o drones, con sondas batimétricas mono o multihaz, a partir de las cuales se obtienen los datos x, y, z de toda la superficie del embalse. Tras obtener el modelo digital de profundidades del embalse, se calcula el volumen contenido entre un plano de referencia a una cota dada, y el TIN o modelo digital del terreno. Ello permite obtener el volumen de agua del embalse a cada metro de profundidad, obteniendo la curva cota-volumen del mismo.

Finalmente, en este punto resulta muy útil el estudio de las cotas de explotación del embalse. Independientemente de la cota mínima que tenga el embalse, debemos analizar las cotas habituales de explotación, ya que, si la operación de desembalse parcial se sitúa en una cota por debajo de las cotas en las que oscila un embalse de forma habitual durante los años, pueden producirse episodios de desestabilización de gases de fondo, con los consiguientes impactos sobre la calidad del agua y la comunidad íctica.



Figura 9. Identificación de las zonas susceptibles de generar pozas aisladas en el embalse de Grandas de Salime tras el estudio batimétrico.

#### Caracterización de la comunidad íctica

El impacto de un desembalsado sobre las comunidades ícticas depende, por un lado, del tipo e intensidad de dicha actuación, y por otro, de la fragilidad y del estado de conservación de dichas comunidades [3]. En este sentido, resulta necesario realizar un estudio de la ictiofauna presente en el embalse para saber a qué posibles problemáticas podemos enfrentarnos durante el proceso de vaciado.

La caracterización de la comunidad de peces puede hacerse mediante varias técnicas. En el caso del embalse de Salime, se empleó la metodología descrita en la Norma UNE-EN\_14757\_2015 Muestreo de Peces mediante redes de agalla [4]. Se realizó un muestreo mediante este método, el cual proporcionó una estimación de la presencia y abundancia de las especies de peces.

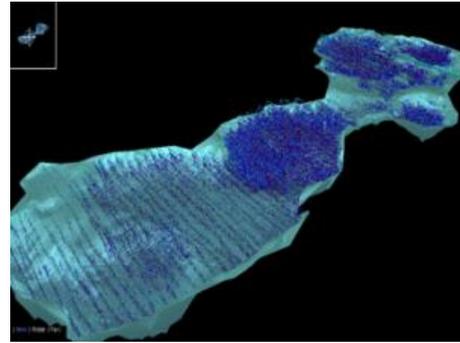
Este tipo de muestreo se emplea en estudios que tengan por objeto describir la distribución de especies y en estudios de inventario.

Se planificó realizar un esfuerzo de 16 redes/noche repartido en 2 días consecutivos de 8 redes/noche, distribuidas en 4 redes pelágicas y 4 bentónicas.

En el momento de recoger las redes, se contaron, midieron y pesaron cada uno de los ejemplares capturados en cada red. De esta forma, se obtuvo una abundancia relativa, una distribución de frecuencias para talla-peso y el número de ejemplares por unidad de muestreo.

Para este tipo de estudios también existe la posibilidad de emplear técnicas más avanzadas, como la hidroacústica, que permite obtener una estimación de la biomasa del embalse y el número de peces

presentes en la masa de agua, a partir de una ecosonda, que recopila la información por medio de sonidos transmitidos en el agua y los ecos recibidos.



*Figura 10-11. Técnicos de Taxus durante el muestreo a partir de las redes de Agalla y ejemplo de representación de detecciones de peces a partir de las técnicas hidroacústicas.*

### *Rescate de la ictiofauna*

Puede realizarse mediante pesca manual o pesca eléctrica, bien a pie o desde una embarcación. En el caso de realizar una pesca manual se procederá a la captura de los individuos con una sacadera, transportándolos hasta una cuba de oxigenación para su posterior suelta.

Por otro lado, si la pesca es eléctrica, se debe ajustar en primer lugar la intensidad de la corriente en función a la conductividad de la masa de agua. El método de captura se basa en la creación de un campo eléctrico en una zona determinada del medio acuático, que modifica el comportamiento del pez causando electrotaxis (natación obligada), electrotétano (contracción muscular) y electronarcosis (relajación muscular), lo cual facilita su captura. Esta técnica es relativamente inocua para las especies afectadas. Los peces capturados se depositan de la misma forma en una cuba de oxigenación, controlando en todo momento la densidad de peces y las condiciones de oxígeno, hasta su liberación aguas arriba del embalse.

Para seleccionar la mejor metodología del rescate y planificarlo de forma adecuada, resulta imprescindible realizar estudios previos y redactar un adecuado plan de contingencia.



*Figura 12-13. Pesca manual y pesca eléctrica desde embarcación.*

#### *Monitorización de temperatura y oxígeno*

En el caso particular del embalse de Campañana, el vaciado para realizar las obras en una galería, permitía la posibilidad de mantener una lámina de agua con suficiente volumen como para garantizar la supervivencia de los peces, si bien al producirse el vaciado durante el mes de agosto, la preocupación residía en saber si las altas temperaturas harían que la masa de agua perdiera el oxígeno disuelto y pudiera afectar a las poblaciones de peces.

Para no realizar esfuerzos de rescate en vano, procediendo al vaciado total del embalse, se decidió monitorizar en continuo la masa de agua y solo actuar en el momento en el que se detectase un aumento de la temperatura y un descenso del oxígeno disuelto que pudiese amenazar la supervivencia de los peces. Esto se llevó a cabo mediante la monitorización superficial a partir de una sonda modelo RX3004 Data Logger de HOBO la cual ofrecía mediciones sobre la evolución del oxígeno disuelto, pH, conductividad, turbidez y temperatura. La sonda estaba equipada con un sistema que proporcionaba un seguimiento diario y un acceso continuo a los datos, asegurando en todo momento que los valores eran adecuados para la supervivencia de la ictiofauna, por lo que finalmente no fue necesario el vaciado total y el rescate de los peces.



*Figura 14-15. Sistema de monitoreo con una sonda modelo RX3004 Data Logger de HOBO*

### *Eliminación de especies invasoras*

El estudio previo de la comunidad íctica, permite detectar la presencia de especies invasoras, que por lo general, los condicionados ambientales obligan a eliminar. Esto puede ser una actuación asumible, pero en determinadas ocasiones puede representar un proyecto de cierta envergadura. Durante el vaciado del embalse de San Andrés de los Tacones, se había detectado un gran volumen de especies invasoras, lo que obligó a usar el socad de la presa como capturadero para extraer los peces, introduciéndose estos en sacos especiales que fueron transportados para su tratamiento y gestión, retirándose un total de 18.000 kg de biomasa de carpa común (*Cyprinus carpio*).



*Figura 16-17. Eliminación de especies invasoras en el embalse de S. Andrés de los Tacones.*

*Establecimiento de medidas correctoras para la avifauna*

Otro condicionado ambiental asociado al vaciado del embalse de S. Andrés de los Tacones consistió en la creación de lagunas artificiales en la cola del mismo para garantizar unas adecuadas condiciones para las aves, al estar ubicado dentro de una ZEPA. Para ello, se procedió a la colocación de Barreras Inflables Anti Inundaciones con el fin de mantener embalsada la cola del embalse durante el descenso de la cota, manteniendo así una parte inundada y posibilitando que la zona siguiese sirviendo como refugio para las aves durante la duración de las obras.



*Figura 18-20. Zona de colocación y proceso de montaje de las barreras hinchables para la creación de la laguna artificial en la cola del embalse de San Andrés de los Tacones.*

## Resultados

A continuación, se presentan una serie de resultados no numéricos que muestran de manera general las actuaciones a seguir a partir de los casos prácticos expuestos anteriormente, para de esta forma, cumplir de manera satisfactoria con los condicionados ambientales requeridos en el vaciado de un embalse:

- Para conseguir monitorizar en continuo el parámetro de los sólidos en suspensión, se plantea la creación de una recta de regresión que lo correlacione de forma directa con la turbidez.
- La turbidez producida aguas abajo de las presas durante los procesos de vaciado, se puede controlar con la instalación de barreras filtrantes colocadas en serie.
- Es posible la instalación de perfiladores fisicoquímicos para monitorizar el perfil de la columna de agua y obtener datos periódicos de su evolución para la correcta toma de decisiones.
- Resulta imprescindible redactar planes de decotación y contingencia para evitar impactos especialmente sobre la fauna y la calidad del agua. Para ello, los estudios batimétricos y la estimación de la biomasa de peces del embalse, es crucial.
- El impacto de un desembalse sobre la ictiofauna dependerá de varios factores, entre ellos del tipo de especies presentes. Resulta necesario realizar un estudio para caracterizar la comunidad íctica presente en el embalse, lo cual permitirá detectar la presencia de especies invasoras que, por lo general, los condicionados ambientales obligan a eliminar.
- Una de las acciones más comunes durante los procesos de vaciado de embalses es el rescate de la ictiofauna. Este puede realizarse mediante pesca manual o pesca eléctrica, bien a pie o desde una embarcación. Para la elección de la mejor metodología será imprescindible realizar estudios previos.
- La monitorización empleando sensórica remota para controlar que las condiciones de la masa de agua son adecuadas para la supervivencia de los peces, puede resultar útil para evitar acometer actuaciones más costosas e invasivas.
- Finalmente, la instalación de barreras hinchables en la cola de embalses, para garantizar la existencia de una lámina de agua, se ha probado como una medida efectiva.

### **Discusión y conclusiones**

Todas las medidas planteadas a lo largo del presente trabajo, se han demostrado efectivas para conseguir la reducción de impactos ambientales durante las labores de vaciados parciales o totales.

Cabe destacar que, para cada caso particular, resulta necesario un estudio pormenorizado específico, ya que las problemáticas pueden diferir en gran medida.

Como se ha puesto de manifiesto a lo largo de este trabajo, los retos y desarrollos ambientales asociados al vaciado de los embalses son una fuente importante de procesos de investigación e innovación tecnológica.

### Referencias / Bibliografía

- [1] Pérez, M. L. G., & López, M. S. (2015). Problemática ambiental derivada del vaciado de embalses: propuesta de protocolo de desembalse. In Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación (pp. 1659-1668). Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio.
- [2] Palau, A. (1998) El Vaciado De Embalses: Consideraciones Ecológicas Y Gestión Medioambiental (Ecología, Nº12, pp 79-92.)
- [3] Morillo, M., & de Jalón, D. G. (1998). Efectos del vaciado del embalse de Barasona en las comunidades de peces fluviales. limnetica, 14 (1), 47-58.
- [4] Asociación Española de Normalización y Certificación. (2015). Muestreo de peces mediante redes de agalla con diferentes tamaños de luz de malla (UNE-EN\_14757\_2015)

## **NUEVAS METODOLOGÍAS PARA EL SEGUIMIENTO DEL EFECTO BARRERA SOBRE LA FAUNA PROVOCADO POR INFRAESTRUCTURAS LINEALES.**

*Jiménez Navarro, G.<sup>1</sup>, Matas Lopez, R.M.<sup>2</sup>, Siller Fernández, J.M.<sup>2</sup>, Cuenca Lozano, J.<sup>3</sup>, Abelaira Rey, J.E.<sup>1</sup>, Arce Fernandez, C.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>PROINTEC-INDRA, [gjimenezn@prointec.es](mailto:gjimenezn@prointec.es), [jeabelaira@prointec.es](mailto:jeabelaira@prointec.es), Madrid.

<sup>2</sup>ADIF; [rmmatas@adif.es](mailto:rmmatas@adif.es), [jmsiller@adif.es](mailto:jmsiller@adif.es), [carce@adif.es](mailto:carce@adif.es), Madrid.

<sup>3</sup>INECO, [joaquin.cuenca@ineco.com](mailto:joaquin.cuenca@ineco.com), Madrid.

**Palabras clave:** Seguimiento faunístico; Sistemas de videovigilancia; Permeabilidad faunística; Ecoducto; Línea de alta velocidad.

### **Resumen**

El seguimiento de la efectividad de medidas ambientales en la fase de explotación de infraestructuras ferroviarias resulta crucial para la protección de la fauna. Sin embargo, el seguimiento faunístico de grandes estructuras presenta dificultades técnicas relevantes cuando se utilizan metodologías habituales como los lechos de marmolina para el registro de huellas o el fototrampeo.

Por ello, ADIF Alta Velocidad ha desarrollado una experiencia piloto aplicando la tecnología existente en los sistemas de seguridad basados en videovigilancia para el seguimiento de fauna. Localizado en un ecoducto de la Línea de Alta Velocidad Zamora – Pedralba, el sistema, integrado por dos cámaras de infrarrojo estáticas y otra dinámica capaz de seguir cualquier objetivo en movimiento, realiza un seguimiento continuo de la fauna que atraviesa el mismo. Adicionalmente, el sistema permite el acceso a las grabaciones de forma remota.

Desde noviembre de 2022 se revisan mensualmente las grabaciones de días seleccionados al azar para poder analizar los registros de los ejemplares de las especies detectadas por el sistema. Así, hasta febrero de 2024 se han analizado las grabaciones de 67 días completos, registrándose más de 4700 ejemplares pertenecientes a, al menos, 9 especies diferentes. La especie que cuenta con mayor número de registros es el ciervo (*Cervus elaphus*), contabilizando más del 57% de los eventos registrados, con un promedio de aproximadamente 55 ejemplares registrados al día. Se comprobó además que la inmensa mayoría de ellos cruzaban el ecoducto, registrándose de este modo una frecuencia de cruce de más 51 ejemplares al día. Este dato resulta muy llamativo al compararse con los resultados de otros trabajos y estudios sobre el cruce de especies de gran tamaño por estructuras de paso de fauna de grandes dimensiones. Otras especies comúnmente registradas fueron el jabalí,

el zorro y los lagomorfos (conejos y liebres), aunque también se detectaron otras especies de interés como la garduña, la gineta o el lobo ibérico.

Esta experiencia piloto muestra, por un lado, la efectividad del ecoducto de estudio para la permeabilidad faunística y, por otro, la eficacia de la utilización de los sistemas de videovigilancia para el seguimiento faunístico en las estructuras de paso.

## **Introducción**

La vigilancia de la efectividad de las medidas de protección ambiental que se implementan en el proceso de evaluación de impacto ambiental es uno de los aspectos clave para mejorar dicho procedimiento. El seguimiento de las medidas en la fase de explotación de una infraestructura lineal de transporte requiere una cantidad notable de recursos económicos por lo que es necesario explorar nuevas metodologías basadas en técnicas novedosas.

En lo que respecta a la fauna, el proceso de vigilancia ambiental es fundamental para la protección de la misma, especialmente cuando hablamos de los posibles impactos en las especies y poblaciones provocados por las Infraestructuras Lineales de Transporte (ILT). Esto se debe no sólo a la propia mortalidad causada por las propias ILT, sino porque pueden suponer además una causa importante en la fragmentación de hábitats y en el aislamiento de las poblaciones de fauna.

En el caso de infraestructuras ferroviarias, una de las medidas para evitar esa fragmentación consiste en la construcción de estructuras de paso de fauna. Para lograr una efectividad adecuada en este tipo de medidas, es fundamental que durante todo el periodo de toma de decisiones (fase de diseño, fase de construcción y fase de explotación) se produzca una adecuada coordinación y transmisión de la información. Este aspecto se torna imprescindible durante la vigilancia ambiental en la fase de explotación, cuyo objetivo consiste en la verificación de la efectividad de las medidas ejecutadas.

El seguimiento faunístico en la fase de explotación de una ILT requiere una cantidad notable de recursos económicos y logísticos, siendo mayor en el caso de grandes estructuras de paso para la fauna como los ecoductos (pasos superiores específicos para la fauna, de grandes dimensiones, con una anchura mínima de 80 m). Este tipo de pasos de fauna puede aumentar mucho la conectividad ecológica de las poblaciones, pero requiere de un buen diseño y ubicación. Como hándicaps tiene un mayor coste económico, así como una mayor complejidad en lo que a construcción se refiere.

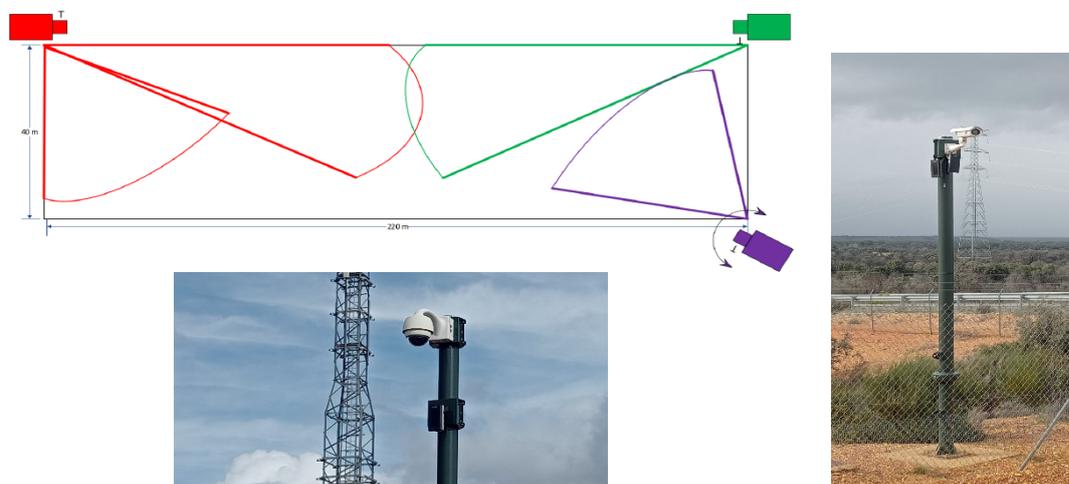
Los métodos de muestreo más empleados para el seguimiento faunístico en estructuras de paso son el fototrampéo (cámaras que capturan imágenes con el movimiento) y la utilización de bandas de marmolina para registrar huellas. Sin embargo, estos métodos conllevan una importante cantidad de recursos (tiempo, dinero, logística...), especialmente si se instalan en estructuras tan grandes como

los ecoductos. Adicionalmente, estos métodos suelen tener poco alcance: las cámaras de fototrampeo dependen de sus especificaciones técnicas (habitualmente 20-25 m de alcance efectivo) y se necesitarían grandes cantidades de marmolina (3-4 toneladas) para cubrir grandes estructuras de paso como los ecoductos, además de otros problemas logísticos como el almacenamiento de materiales, así como su posible inutilización debido a causas meteorológicas (lluvia).

Por ello, resulta necesario explorar nuevas metodologías basadas en técnicas novedosas. De este modo, ADIF Alta Velocidad ha desarrollado una experiencia piloto aplicando la tecnología existente en los sistemas de seguridad basados en videovigilancia para el seguimiento de fauna. Estos sistemas registran los movimientos con un largo alcance, a medio-largo plazo tienen una inversión de recursos menor y, además, pueden controlarse remotamente.

### **Material y Métodos**

En este contexto, se procedió a la instalación de un sistema de videovigilancia para el seguimiento de la fauna en un ecoducto de la Línea de Alta Velocidad Zamora – Pedralba, el cual se encuentra actualmente en funcionamiento. Concretamente, el ecoducto, de 135 m de anchura por 78 m de longitud, se sitúa cerca de la localidad zamorana de Otero de Bodas. En el mismo se instalaron dos cámaras de infrarrojo (para detectar movimientos nocturnos) enfrentadas, así como una cámara DOMO dinámica, que realiza seguimiento (y enfoque) de cualquier movimiento (Figura 1). Registran todo el tiempo, mediante un sistema de grabación automática, que marca y registra eventos al detectar movimientos. Además, existe una interconexión del sistema, de modo que, si las cámaras de infrarrojo detectan un movimiento, envían la señal a la cámara DOMO para que realice el seguimiento del mismo.



*Figura 1. Esquema del sistema de videovigilancia instalado en un ecoducto de la LAV Zamora – Pedralba para el seguimiento faunístico en fase de explotación. El sistema consta de dos cámaras de infrarrojo (cámaras roja y verde en el esquema de arriba y fotografía de la derecha) y una cámara DOMO dinámica (cámara morada en el esquema y fotografía de abajo).*

A pesar del seguimiento de forma continuada, el sistema sólo es capaz de almacenar los vídeos grabados durante un mes. De este modo, desde noviembre de 2022, se realiza una visita mensual al lugar donde se encuentra el sistema de control remoto, dando tiempo a revisar un número variable de días en cada visita (habitualmente entre 3 y 6 días, dependiendo de la cantidad de eventos registrados a analizar). En general se anota, además de la fecha y hora del evento registrado (movimientos de individuos o grupos), la especie o grupo identificado, el número de ejemplares, la dirección y si cruza el ecoducto o no, así como cualquier otro tipo de observación relevante como las relacionadas con el comportamiento.

## Resultados

Desde noviembre de 2022 hasta febrero de 2024 se revisaron los vídeos de 67 días, en los cuales se contabilizaron casi 2000 registros. Entre ellos, se identificaron al menos 9 especies (ciervo rojo, corzo común, jabalí, zorro rojo, tejón europeo, garduña, conejo europeo, liebre ibérica y lobo ibérico), además de 5 grupos taxonómicos (lagomorfos, cánidos, otros mesocarnívoros que no incluyen al zorro, micromamíferos y aves), así como bastante actividad antrópica (paso de coches y personas). En la figura 2 se muestran varios ejemplos de las imágenes captadas de las grabaciones realizadas por el sistema de videovigilancia.

Excluyendo los registros de actividad antrópica (120 de coches y 21 de personas a pie), más del 94% de los eventos registrados pertenecen a 4 especies o grupos taxonómicos (Figura 3): ciervos (más del 57%), lagomorfos (más del 28%, sobre todo conejos), zorro (más del 5%) y jabalí (más del 3,5%). En cuanto al número de individuos (más de 4700 registros de individuos de especies de fauna), fueron registrados más de 3600 ejemplares de ciervos (aproximadamente el 77% del total de individuos registrados en esos 67 días), habiéndose registrado también 585 individuos de lagomorfos, 286 de jabalíes y 101 de zorros.



Figura 2. Imágenes obtenidas del sistema de videovigilancia instalado en el ecoducto. Las imágenes de la izquierda (ciervos macho arriba y zorros abajo) se obtuvieron con la cámara dinámica DOMO y las de la derecha (ciervas arriba y lobo ibérico abajo) con las cámaras de infrarrojo.

En lo que respecta a los ciervos, el registro medio según los días de revisión de vídeos (67 días) es de aproximadamente 55 ejemplares/día. Se comprobó además que la inmensa mayoría de ellos cruzaban el ecoducto, registrándose de este modo una frecuencia de cruce aproximada de 51 ejemplares al día.

Adicionalmente, la realización de seguimiento faunístico mediante sistemas de videovigilancia permitió obtener información sobre la etología o comportamiento de las especies. Así, se comprobó

que, en general, la fauna hace uso del ecoducto como parte integral del territorio en el que habitan (por ejemplo, comportamientos de búsqueda de alimento o relaciones interespecíficas), y no como una estructura de paso.

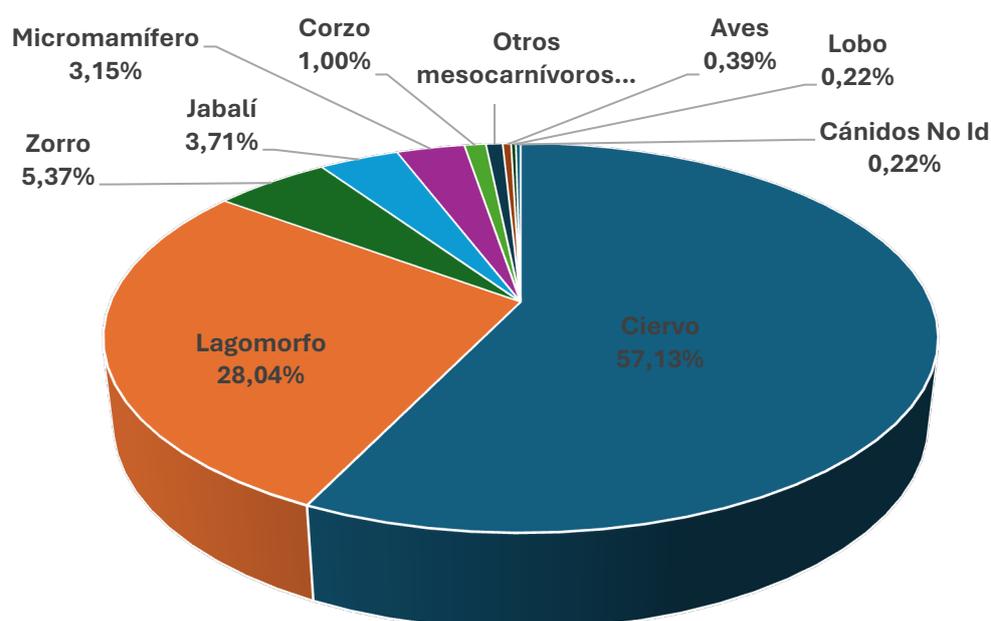


Figura 3. Porcentaje de eventos registrados en función de las especies o grupos taxonómicos identificados.

### Discusión y conclusiones

Los resultados obtenidos de la experiencia piloto de seguimiento de la fauna por parte de Adif Alta Velocidad en el ecoducto de Otero de Bodas, muestran, por un lado, la efectividad del ecoducto en cuanto a estructura paso para fauna, pudiéndose concluir su correcto diseño, ubicación y construcción. Así lo corrobora el registro de más de 4700 registros de individuos de, al menos, 9 especies identificadas en los 67 días analizados, siendo especialmente llamativo el caso de los ciervos. En este caso, es posible concluir que este ecoducto supone una medida muy efectiva de desfragmentación de hábitat por ILT, especialmente para ungulados, aunque también para otras especies de interés como el lobo ibérico.

Por otro lado, también se comprueba una efectividad de la nueva metodología que se está implementando para el seguimiento de fauna dentro de la vigilancia ambiental en fase de explotación ferroviaria: los sistemas de videovigilancia suponen un método efectivo de seguimiento faunístico, el

cual prevé una menor inversión de recursos a medio-largo plazo, y donde el esfuerzo de muestreo será comparativamente menor al realizado con otras metodologías. Además, se puede acceder remotamente (visualización y revisión de vídeos), permitiendo adicionalmente la realización de un seguimiento más continuo de la fauna.

La efectividad tanto del ecoducto (como estructura de paso de fauna) como del seguimiento faunístico mediante sistemas de videovigilancia se refleja especialmente en el registro de las poblaciones de ciervo que habitan en la zona. A pesar de que no existen disponibles muchos datos de cruces de ciervos a través de ecoductos, los resultados obtenidos son significativamente superior a los de los registrados en otros trabajos con datos de la especie en otra tipología de estructuras de paso para fauna de características similares (aunque obtenidos mediante otra metodología); por ejemplo, a modo comparativo, se registró una frecuencia de cruce de 0,7 ejemplares de ciervo al día entre octubre y noviembre de 2001 con marmolina y fototrampeo en un Paso Superior Específico (PSE) para fauna de la carretera A-52 [1]. En ese mismo estudio, pero en otro PSE de la A-52, se registraron frecuencias de cruce de 0,3 ciervos al día entre febrero y abril de 2003 (sólo registrado con fototrampeo) y de 0,4 entre junio y septiembre de 2002 (sólo registrado con marmolina). Otros estudios realizados con especies similares arrojan cifras de frecuencias de cruce de magnitudes similares a la anterior; por ejemplo, en un trabajo de monitoreo continuo del cruce de alces y corzos por un ecoducto de Suecia mediante fototrampeo [2], entre marzo de 2002 y junio de 2005 (1056 días de registro) fue estimada una frecuencia de cruce de 0,41 y 0,09 ejemplares al día de corzo y alce respectivamente. Con respecto a otros ungulados, en otro estudio llevado a cabo por ADIF se registró una frecuencia de cruce máxima de 4,4 jabalíes al día durante la primavera de 2016 en el PSE de Hostalric (de 60 m de anchura) [3].

Si bien queda demostrada la efectividad tanto de la estructura como de la metodología empleada para el seguimiento de ciervos, también queda reflejada en otras especies registradas, como el jabalí. Los 286 registros de individuos de esta especie promedian una frecuencia de cruce de 4,3 ejemplares de jabalí al día. Estos datos son muy similares a los obtenidos en otro estudio llevado a cabo por ADIF, en el cual se registró una frecuencia de cruce de 4,4 jabalíes al día durante la primavera de 2016 en el PSE de Hostalric (de 60 m de anchura) [3]. A pesar de la similitud de los resultados, es necesario resaltar que los datos del estudio mencionado son relativos a una época de alta actividad faunística general (primavera), mientras que los obtenidos en el ecoducto provienen del promedio de más de un ciclo anual completo.

La importancia del ecoducto como paso de fauna y de los sistemas de videovigilancia como medida de vigilancia ambiental también queda patente en el alto número de registros de otros grupos faunísticos como mesocarnívoros (zorros, tejones u otros mustélidos) o lagomorfos, y de otras posibles especies de interés, como el caso del lobo ibérico.

Adicionalmente, la metodología empleada para el seguimiento faunístico permite profundizar en el análisis del comportamiento de las diferentes especies e individuos durante los eventos de cruce; así, actualmente se está analizando la posible reacción de los individuos cuando se aproxima un tren, lo que puede aportar información sobre el grado de disturbio que la circulación ferroviaria (fase de explotación) provoca en estas especies.

Sin embargo, el éxito de esta experiencia piloto en el seguimiento de fauna en fase de explotación requiere de una expansión y 'popularización', de modo que pueda ser implementado en otras estructuras, de igual tipología o diferente. Mediante la comparación de los resultados obtenidos será posible mejorar no sólo las medidas adoptadas en los planes de vigilancia ambiental, si no todas aquellas referentes a la protección de la fauna incluidas en cualquier fase de los proyectos constructivos, ya sea redacción y revisión, construcción y explotación.

### Referencias / Bibliografía:

- [1] Estacio, C. M. (2007). *Utilización por vertebrados terrestres de los pasos de faunas y otras estructuras transversales de dos autovías del centro-noroeste peninsular* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Madrid).
- [2] Olsson, M. P., Widén, P., & Larkin, J. L. (2008). *Effectiveness of a highway overpass to promote landscape connectivity and movement of moose and roe deer in Sweden*. *Landscape and urban planning*, 85(2), 133-139.
- [3] ADIF Alta Velocidad (2016-2018). *Seguimiento del estado y eficacia de las medidas preventivas y correctoras para la fauna en la LAV Madrid-Zaragoza-Barcelona-frontera francesa. Tramo: Barcelona-frontera francesa*. (Inédito).

## **MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y REPRODUCCIÓN EX SITU DE FLORA AMENAZADA. TAXÓN ASTRÁGALUS DEVESAE**

*Carretero Julián, M.<sup>1</sup>, Matas Lopez, R.M.<sup>2</sup>, Siller Fernández, J.M.<sup>2</sup>, Cuenca Lozano, J.<sup>1</sup>, Abelaira Rey, J.E.<sup>3</sup>, González Díez, G.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>INECO, [monica.carretero@ineco.com](mailto:monica.carretero@ineco.com), Madrid, España. <sup>2</sup>ADIF; [rmmatas@adif.es](mailto:rmmatas@adif.es), Madrid, España.

<sup>3</sup> PROINTEC-INDRA, [jeabelaira@prointec.es](mailto:jeabelaira@prointec.es), Madrid, España.

### **Palabras clave**

Seguimiento flora; Efectividad de medidas; Traslocación; Reproducción exsitu, Infraestructura ferroviaria; Dirección ambiental de obra.

### **Resumen**

Como parte de los trabajos de mejora de la línea ferroviaria convencional Ávila – Salamanca encomendados por el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (en adelante ADIF), se localizó una población del taxón amenazado *Astragalus devevae*, endemismo abulense catalogado como En Peligro Crítico (CR) en la Lista Roja de la Flora Vasculare Española <sup>[1]</sup> y legalmente protegido a través de su inclusión, bajo la categoría de “Especie en Peligro de Extinción”, en el Catálogo de Flora Protegida de Castilla y León <sup>[3]</sup>.

En la presente comunicación, se detallan los trabajos de protección y refuerzo de poblaciones llevados a cabo por ADIF, a través de su Dirección Ambiental de Obra, junto a la empresa especialista Biosfera <sup>[2]</sup> y en coordinación con la Junta de Castilla y León. Así mismo, se exponen los resultados obtenidos, así como las principales conclusiones extraídas de esta experiencia entre la que resalta la gran importancia del seguimiento ambiental incluso en obras no sometidas al trámite de Evaluación Ambiental.

## **Introducción**

El proyecto constructivo del sistema de suministro de energía 2.000 V-3.000 V y tendido de fibra óptica en el trayecto de la red convencional (ancho ibérico) entre Ávila y Salamanca se desarrolla entre ambas provincias, a lo largo de una longitud aproximada de 111 km.

Este trayecto es coincidente en su recorrido con dos espacios protegidos Red Natura 2000: ZEPA “Campos de Alba” (ES0000359) en la provincia de Salamanca y ZEC-ZEPA “Encinares de los ríos Adaja y Voltoya” (ES4110103; ES0000190) en la provincia de Ávila.

Las actuaciones de proyecto consisten principalmente en la realización de zanjas y canalizaciones, se llevan a cabo en zonas alteradas por la presencia de la línea convencional, apartaderos y estaciones, las cuales carecen de vegetación de interés y no implican la ocupación de nuevos terrenos, más allá del dominio público ferroviario. Por lo tanto, en principio no era previsible ningún impacto sobre la vegetación, pues no se desarrolla actividad de obra fuera del dominio público ferroviario y de las estructuras que salvan los cruces sobre los cursos de agua.

No obstante, para controlar las labores de obra, dentro de estos espacios, se aplicaron varias medidas preventivas a fin de que los valores de los espacios naturales de mayor valor no resultasen afectados. Entre ellas, se incluyó la realización de una prospección botánica que consistió en un recorrido previo a desbroces y en fase de replanteo por un técnico de medio ambiente especialista sobre todas las zonas coincidentes con espacios naturales protegidos, así como las áreas de interés florístico.

Este estudio fue llevado a cabo en julio de 2022, antes del inicio de las labores de obra, por personal con experiencia acreditada (consultora Biosfera) que constató la presencia de la especie *Astragalus devevae*, en el ZEC/ZEPA “Encinares de los ríos Adaja y Voltoya”. Se trata de un endemismo abulense catalogado como En Peligro Crítico (CR) en la Lista Roja de la Flora Vasculosa Española<sup>[1]</sup> y legalmente protegido a través de su inclusión, bajo la categoría de “Especie en Peligro de Extinción”, en el Catálogo de Flora Protegida de Castilla y León (Decreto 63/2007, de 14 de junio, BOCyL 119)<sup>[3]</sup>.

## **Material y Métodos**

La colonia localizada, de unos 100 individuos concentrados en unos 40 m<sup>2</sup>, se encontraba en el propio talud de la vía férrea, algo al norte de su p.k. 23, en el paraje conocido como Dehesa del Montecillo, en el término municipal de Monsalúpe (Ávila). La mayor parte de la colonia se encontraba a menos de 10 m de la vía férrea.

Las medidas adoptadas en inicio fueron la comunicación a la empresa constructora y la dirección de obra, quienes, siguiendo las indicaciones de la Dirección Ambiental de Obra, informaron al órgano gestor del espacio y procedieron al jalonamiento estricto de la zona de la colonia.

Adicionalmente de conformidad con el Servicio Territorial de Medio Ambiente de Ávila, se ejecutó un vallado definitivo tipo talanquera, así como la recolección de semillas para la posterior producción “*ex situ*” de planta, con el objetivo de reforzar la colonia recientemente localizada.

Como método más adecuado para la producción *ex situ* se propuso la retirada de frutos maduros para la extracción de semillas de una cierta proporción de los ejemplares de la población con el objetivo de llegar a reforzar la colonia con un mínimo de 100 plántulas.

La metodología empleada para la producción *ex situ* de plantas de *Astragalus devease*, se articuló en las siguientes fases:

#### Fase 1. Extracción de semillas

La extracción de semillas se produjo mediante medios mecánicos, conservándose según los protocolos estándar. La recogida de estas se realizó el 29 de septiembre de 2022.



Figura 1. Recogidas de semillas en la colonia localizada.

#### Fase 2. Germinación e incubación

Las semillas, fueron sometidas a escarificación química, para ser a continuación aclaradas con agua desionizada y colocadas en placas Petri que fueron introducidas en una cámara de germinación.

La tasa global de germinación alcanzada sumando todos los tratamientos fue del 73,28 % (es decir, germinaron 650 de las 887 semillas sembradas). La siembra se realizó en las instalaciones del laboratorio de la consultoría medioambiental BIOSFERA con sede en Oviedo y se llevaron a cabo a lo largo de varias semanas durante el mes de febrero de 2023.



*Figura 2. Desarrollo de semillas en cámara de germinación.*

### Fase 3. Desarrollo en vivero

Una vez germinadas, las plántulas fueron transferidas a alvéolos con una mezcla que incluía arena arcósica, recogida en la inmediata vecindad de la población fuente, con el fin de proveer elementos que pudiesen revelarse necesarios o al menos convenientes para el crecimiento, como es la proporción de una textura adecuada para el desarrollo de esta especie.

Las bandejas de alveolos se mantuvieron en invernadero para maximizar su supervivencia por un periodo de entre 10 y 14 semanas, al cabo del cual seguían vivas 560 de las 650 plántulas. El desarrollo de las plántulas tuvo lugar entre marzo y mayo en un vivero experimental que la empresa dispone en la localidad de Gijón (Asturias).



*Figura 3. Plántulas de Astragalus deveesae en alveolos durante la fase de desarrollo en vivero.*

#### Fase 4. Plantación en el medio natural

Los días 22, 23 y 24 de mayo de 2023, se realizaron las labores de plantación. Un total de 503 plantas de *Astragalus deveesae* fueron implantadas en la naturaleza, distribuidas en 16 colonias a lo largo del terraplén de la vía, en zonas cercanas a la colonia existente.

Los 57 restantes se mantienen en el laboratorio como reserva para reforzar las plantaciones, fuente de futuras semillas que no comprometa las poblaciones naturales y posible uso en programas de divulgación.

#### **Resultados**

Tras un periodo de adaptación, se realizaron dos revisiones para evaluar el estado de las plantaciones, determinar la tasa de supervivencia y realizar un mantenimiento consistente básicamente en riego.

La primera revisión se llevó a cabo el 14 de Julio de 2023 y se observó que la mayoría de ejemplares estaban en perfectas condiciones. A continuación, se procedió a regar todos los individuos plantados.



*Figura 4. Individuos de Astragalus deveesae plantados sobre el terraplén ferroviario tras su desarrollo ex situ.*

Finalmente, se hizo una última revisión en el 10 de octubre de 2023 llevándose a cabo un conteo de todos los individuos plantados en las colonias para obtener un porcentaje de supervivencia. Los resultados fueron los siguientes:

	TOTAL EJEMP. PLANTADOS	TOTAL EJEMP. VIVOS	% SUPERVIVENCIA
Colonia 1	32	13	40,6
Colonia 2	28	14	50
Colonia 3	14	10	71,4
Colonia 4	31	22	70,9
Colonia 5	17	14	82,3
Colonia 6	122	102	83,6
Colonia 7	39	25	64,1
Colonia 8	27	5	18,5
Colonia 9	14	4	28,6
Colonia 10	27	5	18,5
Colonia 11	12	0	0
Colonia 12	28	16	57,1
Colonia 13	41	23	56
Colonia 14	32	12	37,5
Colonia 15	13	11	84,6
Colonia 16	26	8	30,7
<b>TOTAL</b>	<b>503</b>	<b>284</b>	<b>56,4 %</b>

*Tabla 1. Porcentaje de supervivencia de la especie Astragalus deveesae tras la producción ex situ e implantación en la naturaleza.*

## Discusión y Conclusiones

La ejecución de obras en entornos de gran riqueza vegetal o próximas a estos supone un gran desafío puesto que, parte de las actividades a desarrollar, conlleva la remoción del terreno, con la consiguiente amenaza sobre las especies que lo componen.

Para tratar de minimizar las afecciones que se pueden derivar de la ejecución de las obras, ADIF implementa una serie de medidas preventivas, correctoras, y en caso necesario, compensatorias.

El seguimiento ambiental es una labor imprescindible para poder asegurar una mínima afección de las obras sobre el medio ambiente, incluso en obras no sometidas a Declaración de Impacto Ambiental o Informe de impacto ambiental. La figura del Dirección Ambiental de Obra (DAO) o el Vigilante Ambiental de Obra (VAO) es clave para asegurar un correcto seguimiento de las medidas preventivas y correctoras, asegurar su efectividad y evitar la aparición de impactos no previstos.

Por ello, en los proyectos a ejecutar en zonas de alta sensibilidad ambiental, tales como espacios Red Natura 2000, independiente de la magnitud de estas, disponen de directores y vigilantes ambientales de obra que cuentan con nombramiento específico para cada proyecto a ejecutar formando así parte de la Dirección Facultativa de la obra.

Adicionalmente, los proyectos de ADIF a ejecutar en zonas sensibles recogen la necesidad de llevar a cabo labores específicas tales como las prospecciones florísticas por parte de personal especialista a fin de asegurar que los resultados que se obtengan son representativos de la realidad botánica del ámbito de afección de la obra.

También recogen el planteamiento a seguir para que, en caso de hallazgo, se desarrollen medidas de trabajos de protección y refuerzo de poblaciones de especies que presentan un elevado grado de amenaza.

Un ejemplo de ello lo constituye la especie *Astragalus Devesae*, adscrita a la categoría “en peligro de extinción” y considerada “en peligro crítico” por conocerse tan solo cuatro poblaciones de la especie a nivel mundial.

Así en el marco de los trabajos de mejora de la línea convencional Ávila-Salamanca se detectó un rodal de esta especie en el talud de la plataforma ferroviaria. Para asegurar su protección, en coordinación con la Junta de Castilla y León, se dispusieron medidas para salvaguardar estos ejemplares del proceso constructivo y se realizó una labor de recolección de semillas, reproducción “*ex situ*” (en vivero) y refuerzo poblacional mediante plantación tanto del talud ferroviario como de zonas aledañas a éste.

La efectividad de la medida implementada se puede valorar a través de los resultados obtenidos, cuatriplicándose el número total de individuos vivos plantados tras el desarrollo “*ex situ*” respecto a los individuos que componen la colonia original.

Esta experiencia pone de manifiesto como la ejecución de una obra puede propiciar situaciones que contribuyen no solo a detectar un taxón en peligro crítico, sino también a mejorar el estado de conservación de este.

El proceso llevado a cabo no solo ha salvaguardado la colonia existente de la especie endémica *Astragalus devesae*, sino que la ha reforzado con nuevas colonias a través de un proceso de plantación “*ex situ*” que ha concluido con éxito.

### Referencias / Bibliografía:

- [1] BAÑARES, Á., G. BLANCA, J. GÜEMES, J.C. MORENO & S. ORTIZ, eds. 2008. Atlas y Libro Rojo de la Flora Vasculare Amenazada de España. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino)-Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas. (2008).
- [2] Carlón Ruiz, L. Creso León, S. & Fernández González, A. 2023. BIOSFERA Consultoría Medioambiental S.L. *“Informe final producción, desarrollo, plantación y revisión de la especie Astragalus devesae en la provincia de Ávila”*. (2023). (inédito)
- [3] DECRETO 63/2007, de 14 de junio, por el que se crean el Catálogo de Flora Protegida de Castilla y León y la figura de protección denominada Microrreserva de Flora. Junta de Castilla y León. (B.O.C.yL. núm. 119, 20 junio 2007).

# BLOQUE 4

---

## TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO

## **ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA DE LA PLAYA DE NAVIA PARA EL PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO DE DRAGADO DE MANTENIMIENTO DE CALADOS DE LA RÍA (ASTURIAS)**

*Gómez de la Torre, V.<sup>1</sup>; Montes Cabrero, E.<sup>1</sup>; Rodríguez García, J.<sup>1</sup>; Granero Castro, J.<sup>1</sup>; Martínez Naveira, R.<sup>2</sup>*

1. Taxus Medio Ambiente, S.L., [vgomez@taxusmedioambiente.com](mailto:vgomez@taxusmedioambiente.com), Oviedo, España
2. GRAVITAS ESTUDIO TOPOGRÁFICO, Oviedo, España

**Palabras clave:** Topografía; Evolución morfodinámica; Sistema dunar; Vuelo fotogramétrico; Vigilancia ambiental; Dragados.

### **Resumen**

Dentro del ámbito del Plan de Vigilancia Ambiental del Proyecto de Dragado del Canal de la Ría de Navia (Asturias), se vienen realizando levantamientos topográficos periódicos de la parte emergida de la playa de Navia con el objeto de comprobar la evolución morfodinámica del sedimento. La captura de datos se realiza mediante vuelos UAV con apoyo de campo RTK para la georreferenciación de los resultados. Para comprobar la variación en la topografía se ha calculado el desplazamiento entre dos superficies (datos topográficos de dos campañas). La diferencia de superficie se construye utilizando triangulación de Delaunay restringida. Finalmente, se obtiene una imagen en la que se pueden observar zonas de ganancia de material y zonas de pérdida de material ( $m^3/m^2$ ).

### **Introducción**

El canal principal del estuario del Navia tiene un complejo de desembocadura formado por diferentes unidades morfosedimentarias y dinámicas propias de la transición entre los ámbitos marino y fluvial [1]. Una de esas unidades es una barra arenosa confinante representada por la playa de Navia (en la margen oriental). La playa de Navia depende de la acción de los oleajes y con menor participación de mareas y vientos. Las dunas por su parte se construyen por la deflación de las poblaciones arenosas de menor tamaño, con el transporte eólico hasta las áreas de postplaya.

Tanto en condiciones naturales, como después de la escollización total del estuario del Navia, los frentes de oleaje incidente entran oblicuamente en la concha y generan una corriente de deriva generalizada sobre la playa somera, desde la banda de rompiente del oleaje hasta su conexión con el campo dunar, que circula de este a oeste [2]. Debido a la entrada de sedimentos arenosos desde el borde costero y a la aportación de los procedentes desde el propio sistema fluvial, la navegabilidad de la ría (en la que se encuentra un astillero y un puerto pesquero) se ve comprometida. De este modo, con el objetivo de mantener un calado mínimo que permita el tránsito de embarcaciones por la misma, se hace necesaria la ejecución de dragados de mantenimiento periódicos.

Por otro lado, desde hace varios años se observa un retroceso de los sistemas dunares de la playa de Navia (Asturias), mostrando un balance negativo del material sedimentario que la conforma, aspecto que preocupa a las autoridades competentes.

Con el objeto de comprobar la evolución morfodinámica del sedimento de la playa de Navia, dentro del alcance del Plan de Vigilancia Ambiental del proyecto de dragado de mantenimiento de calados de la ría de Navia desarrollado en 2022 [3] se han realizado una serie de levantamientos topográficos de la parte emergida de la playa.

### Material y Métodos

El estudio topográfico llevado a cabo abarca un área de 88.888,11 m<sup>2</sup>. En la figura siguiente (Figura 1) se muestra el área estudiada.

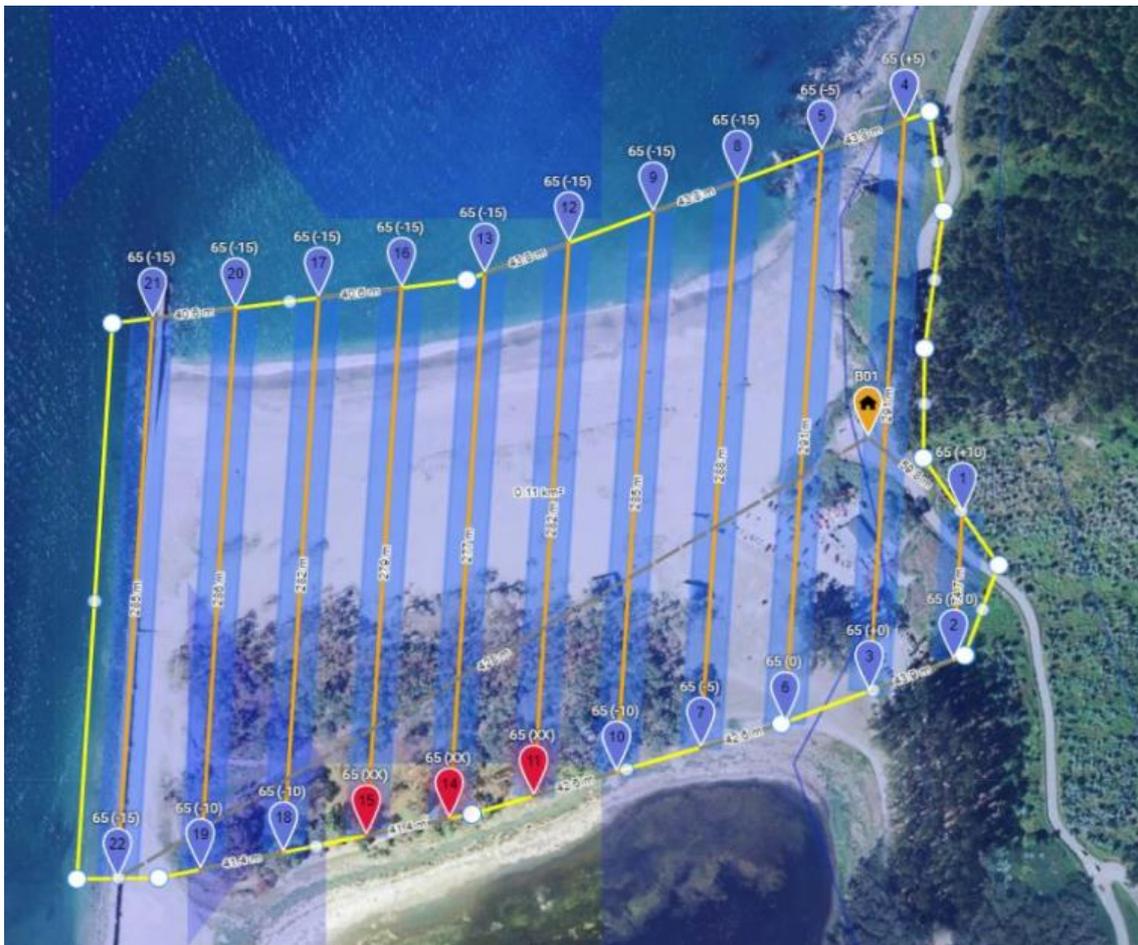


Figura 1. Delimitación de la zona sometida a estudio

El levantamiento topográfico de la parte emergida de la playa se ha realizado en el mes de junio de 2022 y se ha repetido en diciembre de ese mismo año.

La operativa para la obtención de los datos brutos origen de los productos cartográficos consiste en la realización de un vuelo mediante vehículo aéreo no tripulado (UAV) con apoyo de campo RTK para la georreferenciación de los resultados.

El vuelo fotogramétrico es realizado mediante el empleo de un dron modelo Phantom 4 Pro, gestionado mediante una controladora en la que se han planificado las trayectorias de las correspondientes pasadas, capturando imágenes de forma automatizada, a una altura media de 60 metros, obteniendo una media de 450/500 imágenes por misión de vuelo.



*Figura 2. Trayectorias de las correspondientes pasadas del dron*

El apoyo en campo se realiza con un equipo GNSS Leica Viva GS08plus, mediante el que se consiguen incertidumbres de posicionamiento inferiores a los 3 cm, tomándose al menos 20 puntos de apoyo distribuidos de manera uniforme por la zona de interés, con coordenadas georreferenciadas por tratarse de levantamiento con tecnología GNSS/RTK y visibles en las fotografías aéreas gracias a dianas de referencia, tanto fijas como móviles.

A partir de las imágenes capturadas en cada sesión de vuelo, se realiza un ajuste en bloque de las mismas, mediante aerotriangulación, corrigiendo los desplazamientos en las coordenadas iniciales de los focos, así como las distorsiones de la lente de la cámara del dron y la determinación precisa de la focal.

A partir de estos fotocentros se realiza un procesado para la determinación de la nube densa de puntos, a partir de los cuales generar tanto el modelo digital del terreno origen de los subproductos topográficos como la orografía de la zona objeto de estudio.

Una vez obtenida y georreferenciada la nube de puntos, esta se trata mediante software topográfico para el cálculo de la superficie y curvado.

El proceso de cálculo del modelo de superficie se lleva a cabo usando como método de filtrado una interpolación kriging con una toma de puntos sobre la nube, para la conformación de la triangulación, cada 1,50 metros. Sobre la superficie ya generada se establece una máscara de contorno para la zona de interés, que permite aligerar el peso del archivo final, y se trazan las curvas maestras con una separación altimétrica de 0,50 metros y las ordinarias cada 0,25 metros.

Para comprobar la variación en la topografía de la parte emergida de la playa se calcula el desplazamiento entre dos superficies (datos topográficos de dos campañas de muestreo diferentes), de modo que se determina si una de ellas está por encima, por debajo o al mismo nivel que la otra superficie. Esta diferencia de superficie funciona al realizar una comparación geométrica entre los triángulos de dos superficies de entrada. Los triángulos de la primera superficie se clasifican como completamente por encima, por debajo o en intersección de la segunda superficie (referencia). Cuando se detectan intersecciones, los triángulos se subdividen en partes que se clasifican como por encima, por debajo o coplanar de la otra superficie. Los triángulos contiguos y partes de triángulos que tienen la misma clasificación se agrupan en polígonos y sus contribuciones volumétricas se suman para proporcionar un total para cada uno de estos polígonos. Entonces, esta información se escribe en la clase de entidad poligonal de salida.

La diferencia de superficie se construye utilizando triangulación de Delaunay restringida mientras se realiza la comparación geométrica entre dos superficies de entrada. Los valores Z de esta superficie representan la diferencia de altura entre las superficies de entrada. Los valores Z de 0,0 ocurren donde las superficies de entrada tienen valores coincidentes. Los valores positivos denotan las áreas en las que la primera superficie está por encima de la segunda superficie (referencia) y valores negativos reflejan áreas donde la primera superficie está por debajo de la segunda.

## **Resultados**

Los estudios topográficos realizados durante los meses de junio y diciembre de 2022 muestran un rango de elevaciones comprendido entre los - 0,25 m y los 48 m, correspondiéndose la zona más elevada a la parte oriental del área estudiada. En las figuras siguientes se presentan las curvas de nivel obtenidas y el modelo digital del terreno obtenido tras el procesado de la nube de puntos, así como el modelo digital tridimensional de la topografía.

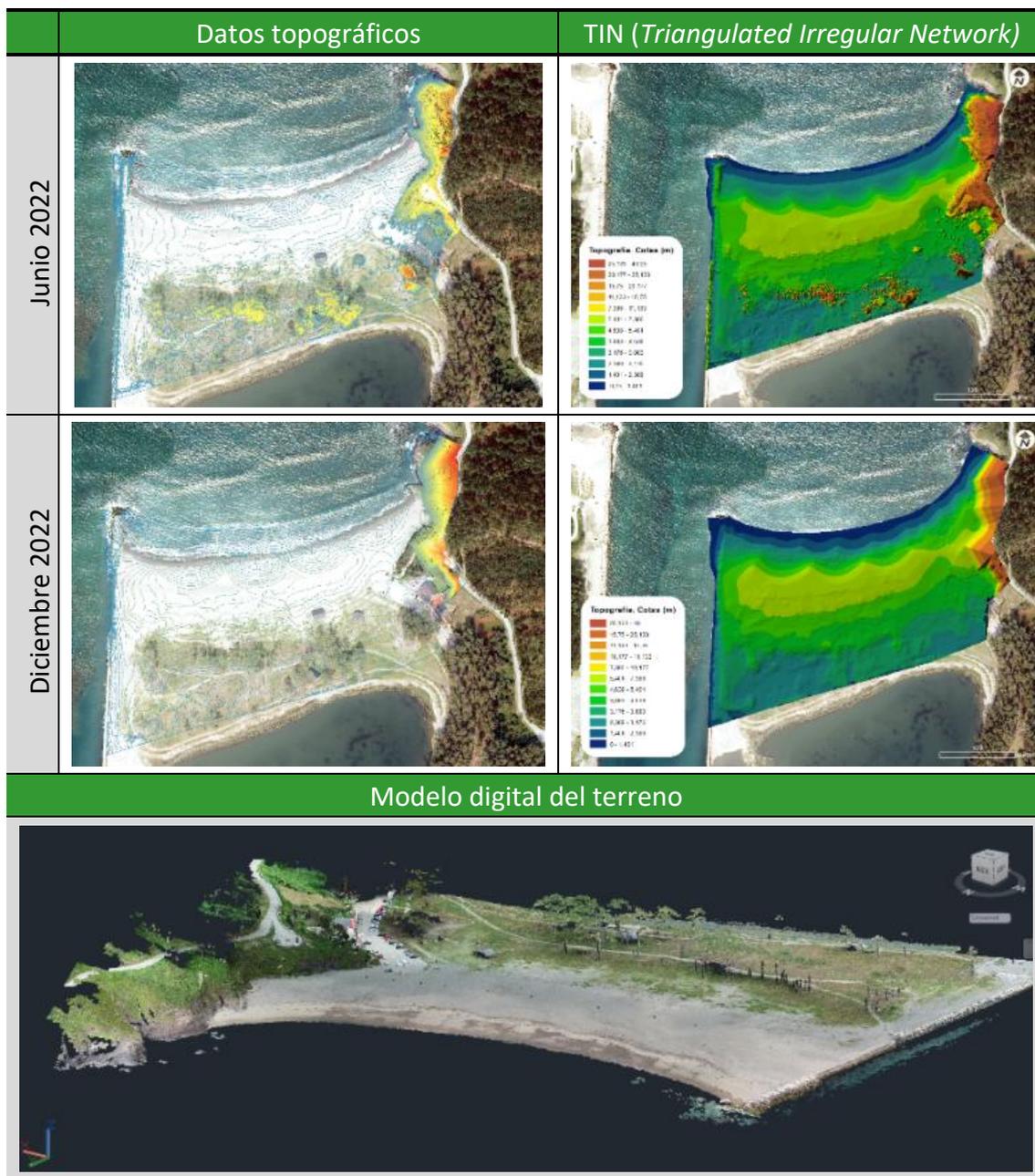


Tabla 1. Comparativa de los datos topográficos y modelos digitales tridimensionales obtenidos en junio y diciembre de 2022 (parte superior); modelo digital del terreno (parte inferior)

Con el objeto de comprobar la variación a lo largo del tiempo, se han comparado los resultados obtenidos en ambas campañas de muestreo. En la figura siguiente se muestran aquellas zonas en las que los datos topográficos obtenidos en diciembre se encuentran por encima de los correspondientes al mes de junio (ganancia de material), y viceversa (pérdida de material). Las distintas categorías representadas indican la cantidad de metros cúbicos (m<sup>3</sup>) por metro cuadrado de superficie (m<sup>2</sup>) de

variación de los datos topográficos. Para una mejor comprensión de los datos, se ha diferenciado la tonalidad de colores entre la ganancia de material y la pérdida del mismo.

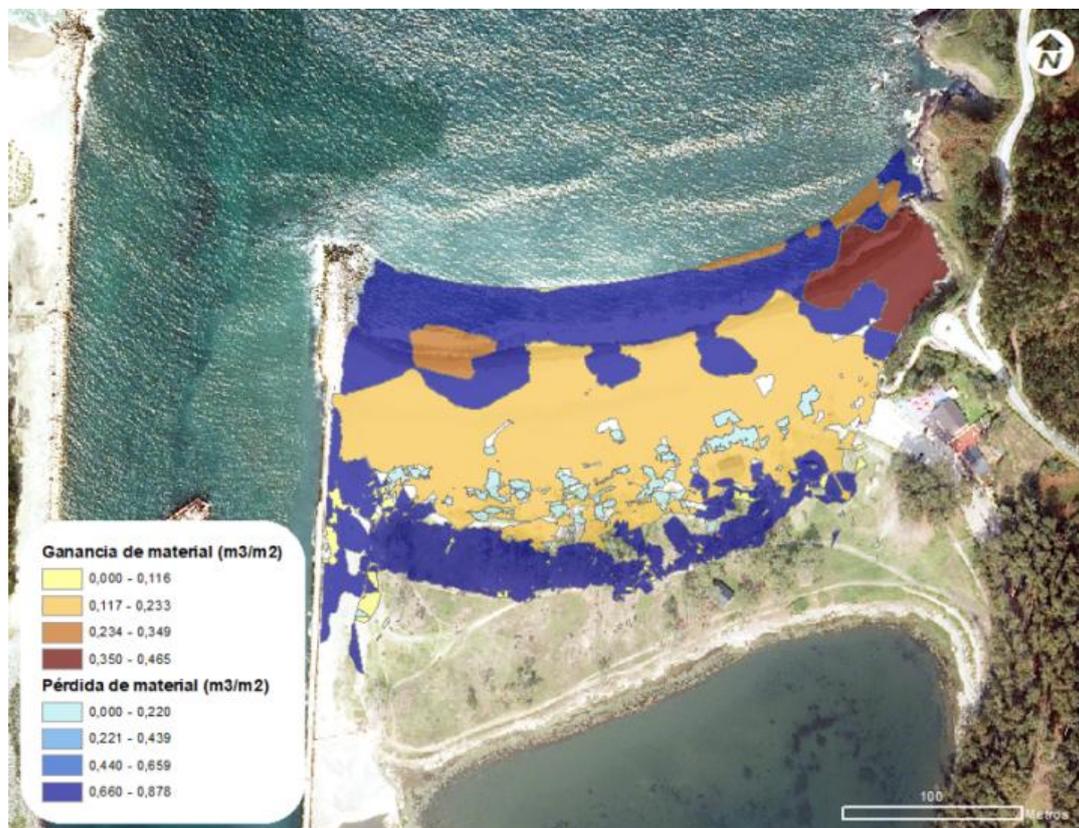


Figura 3. Diferencia de superficie entre los datos topográficos de junio y diciembre de 2022. Ganancia de material frente a la pérdida de material.

Tal y como se puede observar en la figura anterior, la franja arenosa de la playa que se encuentra siempre emergida presenta ganancia de material, siendo el volumen algo mayor en la esquina oriental de la playa. Por el contrario, la franja de la playa que compone la zona intermareal ha sufrido pérdida de material arenoso con respecto a la primera campaña llevada a cabo. Igualmente, la zona más interna situada al sur también ha sufrido esta pérdida.

Así pues, según los resultados obtenidos, parece que el material arenoso de la zona se desplaza activamente, tendiendo a acumularse en la zona central de la playa.

#### Discusión y conclusiones

Los resultados indican que la franja central de la playa ha ganado material durante el segundo semestre del 2022, observándose una mayor cantidad de sedimentación en la zona este de la playa. Por el contrario, la parte más profunda de la playa en la que se encuentra la duna más madura ha ido perdiendo material progresivamente.

El seguimiento de la evolución morfodinámica se seguirá realizando, al menos, hasta completar el año 2024, pudiendo observar en un futuro la dinámica dunar que presenta la zona, comprobando si la ganancia/pérdida de material observada en 2022 continúa a lo largo del tiempo o fluctúa en función de las anualidades estudiadas.

**Referencias / Bibliografía:**

- [1] Consejería de Fomento, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, 2011. Estudio Geológico Ambiental de los dragados a efectuar en la dársena y un segmento del canal en el estuario del Navia y su vertido.
- [2] G. Flor. Departamento de Geología, 2002. Estudio básico de dinámica litoral en el estuario del Navia para la realización de dragados periódicos.
- [3] TAXUS MEDIO AMBIENTE, 2023. Plan de Vigilancia Ambiental del Proyecto de dragado del canal de la ría de Navia (año 2022).

## **CONSIDERACIONES DEL SEGUIMIENTO AMBIENTAL DEL MEDIO MARINO RECEPTOR DEL EFLUENTE DE LA EDAR DE GIJÓN ESTE**

*Gómez de la Torre, V.; Sánchez Arango, M.; Villazán Peñalosa, B.; Granero Castro, J. <sup>1</sup>; Arduengo  
Sánchez, J.*

Taxus Medio Ambiente, S.L., [vgomez@taxusmedioambiente.com](mailto:vgomez@taxusmedioambiente.com), Oviedo, España

**Palabras clave:** Seguimiento ambiental; Medio marino; EDAR; Efluente; DMA; Estado ecológico.

### **Resumen**

Desde la puesta en funcionamiento de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Gijón Este se ha venido desarrollado un Plan de Vigilancia Ambiental diseñado en base a lo dispuesto en los distintos requerimientos administrativos actualmente vigentes, entre los que se encuentran la Declaración de Impacto Ambiental y la Autorización de Vertido. Uno de los aspectos fundamentales que ha de cumplirse en la ejecución de un correcto seguimiento ambiental en el medio marino es el estudio en el tiempo de diversos parámetros fisicoquímicos y de las distintas comunidades biológicas que se desarrollan en la zona, tanto planctónicas como bentónicas, pudiendo analizar y comprobar si las acciones de origen antrópico, como puede ser el vertido del efluente proveniente de la EDAR, generan una afección a corto, medio o largo plazo sobre el ecosistema marino.

### **Introducción**

El sistema de saneamiento de la zona este de Gijón contemplaba, desde principios del pasado siglo, un bombeo de aguas residuales al acantilado de Peñarrubia para su vertido directo al mar Cantábrico. A principios de los años 90 ese bombeo fue remodelado y dotado de un pretratamiento, resultando una estación de pretratamiento de aguas residuales (EPAR) en El Pisón (conocida como EPAR La Plantona). Ese tratamiento de aguas residuales era insuficiente, por lo que para dar cumplimiento a la Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas [1] era necesario construir una nueva estación de aguas residuales con una línea de proceso de acuerdo a las directivas comunitarias. Así pues, a mediados del año 2022 se pone en marcha una nueva estación depuradora de aguas residuales (EDAR) en Gijón, con una capacidad de 150.000 habitantes equivalentes.

Según lo establecido en la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, este tipo de proyectos está sometido a Evaluación de Impacto Ambiental Ordinaria, por lo que previamente a su puesta en marcha, ha seguido el proceso de tramitación ambiental correspondiente. En este sentido, con fecha 15 de noviembre de 2019, se emite Resolución por la que se formula la declaración de impacto ambiental del proyecto relativo a la EDAR de Gijón Este, en la que se establecen las condiciones ambientales, incluidas las medidas preventivas y correctoras que resultan de la

evaluación ambiental practicada, en las que se debe desarrollar el proyecto para la adecuada protección del medio ambiente y los recursos naturales. Por otro lado, con fecha 11 de octubre de

2021, se emite resolución autorizando el vertido al Dominio Público Marítimo-Terrestre del efluente procedente de la EDAR, indicando su correspondiente condicionado. Finalmente, cabe mencionar que, por resolución de 22 de diciembre de 2021, se emite autorización como Actividad Potencialmente Contaminadora de la Atmósfera a la EDAR, estableciendo un condicionado ambiental de aplicación.

En base a todo lo anterior, durante la explotación de las instalaciones de la EDAR de Gijón Este, ha de llevarse a cabo un Plan de Vigilancia Ambiental que dé cumplimiento a todos los condicionados ambientales impuestos en las distintas resoluciones y autorizaciones, de modo que se asegure una correcta protección del medio ambiente y los recursos naturales. De forma resumida, los seguimientos que incluye el Plan de Vigilancia Ambiental son: el seguimiento de la calidad atmosférica, el seguimiento de la emisión de olores, el seguimiento de afecciones a la fauna, el seguimiento y control de especies vegetales invasoras, el seguimiento de la calidad acústica, el seguimiento del mantenimiento de la estructura del emisario, el seguimiento y control de los vertidos, y el seguimiento de la calidad del medio receptor del efluente. A su vez, este último seguimiento incluye el control de la calidad de la columna de agua, de la evolución de la comunidad fitoplanctónica, de los sedimentos en el entorno del emisario, de la evolución de las comunidades bentónicas, de la bioacumulación en organismos indicadores y de la calidad de las aguas de baño de las playas localizadas en el entorno del emisario submarino. En este caso particular se tendrá en consideración únicamente el seguimiento de la calidad del medio receptor del efluente, exponiendo brevemente la metodología utilizada para su ejecución y la evolución del medio observada desde la puesta en funcionamiento de la EDAR.

## **Material y Métodos**

Para el seguimiento de la calidad del medio receptor se han establecido una serie de estaciones de muestreo distribuidas de tal manera que se obtengan resultados de la zona en la que se ubica la traza del emisario, de la zona situada al este y de la zona ubicada al oeste del mismo, pudiendo evaluar así la extensión de la posible pluma de contaminación. Asimismo, se ha definido una estación como “referencia” por estimarse que la conducción de vertido no tiene influencia sobre ella.

En cuanto a la periodicidad de los muestreos y parámetros a analizar en cada caso, se han seguido los siguientes condicionantes:

- Seguimiento de la calidad de la columna de agua: muestreos en primavera, verano y otoño (dos campañas para cada periodo), en al menos 9 puntos de muestreo. Se analizan *in situ* distintos parámetros fisicoquímicos a lo largo de la columna de agua mediante sonda multiparamétrica YSI EXO 2: Tª, pH, salinidad, STD, potencial redox, conductividad, turbidez, oxígeno disuelto y saturación del mismo. De forma complementaria, se toman muestras de agua en superficie y fondo (mediante botella oceanográfica tipo Niskin) sobre las que se

analizará la concentración de sólidos en suspensión, de nutrientes (amonio, nitrato, nitrito, fosfato y silicato), y de indicadores de contaminación fecal (*E.coli* y enterococos intestinales).

- Seguimiento de la calidad del sedimento: muestreos trimestrales en al menos 3 puntos de muestreo. Para ello se toman muestras de sedimento superficial mediante draga Van Veen, sobre las que se analizará su granulometría, concentración de metales (Al, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn), carbono orgánico total (COT), nitratos y nitritos solubles, NTK y potencial redox.
- Seguimiento de la comunidad fitoplanctónica: muestreos en primavera, verano y otoño (una campaña para cada periodo), en al menos 9 puntos de muestreo. Para su estudio se toma una muestra de agua (fijada con Lugol) sobre la que posteriormente se realizará un análisis taxonómico y cuantitativo de los diferentes organismos fitoplanctónicos detectados siguiendo el método Uthermöhl (1958) [2]. De forma complementaria, se mide *in situ* la concentración de clorofila 'a' mediante fluorómetro portátil AlgaeTorch bbe.
- Seguimiento de comunidades bentónicas: control trimestral de macroinvertebrados en al menos 3 puntos de muestreo y control anual (durante el verano) de macroalgas en al menos 3 puntos de muestreo. Para el análisis de la población de macroinvertebrados se toman muestras de sedimento superficial mediante draga Van Veen, que serán posteriormente tamizadas y revisadas mediante estereomicroscopio, recolectando todos los individuos detectados e identificándolos hasta nivel específico. En cuanto a la comunidad de macroalgas, en cada zona establecida se realizaron 3 transectos perpendiculares a la costa en condiciones de bajamar, cubriendo la zona comprendida entre el intermareal medio y el inferior. De forma complementaria, se procedió al raspado del interior de una cuadrícula de 0,25x0,25 m, realizando una primera separación de especies en campo y un posterior secado de las muestras en laboratorio.
- Seguimiento de bioacumulación en organismos indicadores: control anual en al menos 3 puntos de muestreo. Para su control se recogen ejemplares de lapas (*Patella sp.*) vivos, evitando individuos de pequeño tamaño, sobre los que se analizará la concentración de metales pesados (Hg, Cd, Pb, Cr, Zn, Cr, Ni, As).
- Seguimiento de la calidad de las aguas de baño: campañas quincenales durante la temporada de baño (de mayo a septiembre) en al menos 5 estaciones de muestreo. Para su valoración, se toman muestras de agua superficial desde embarcación sobre las que se analiza la presencia de enterococos intestinales y *E. coli*.

En la figura siguiente se muestra la localización de las estaciones de muestreo consideradas, así como los controles realizados en cada una de ellas.

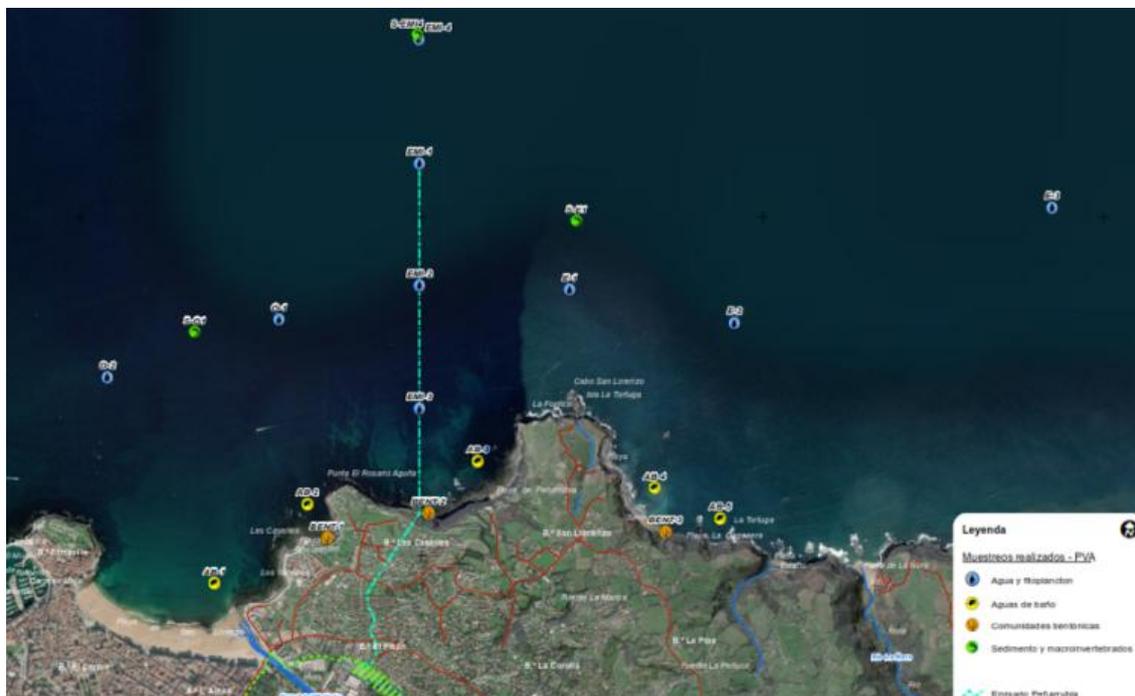


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo para el control del medio receptor

## Resultados

El seguimiento de la calidad de la columna de agua muestra unos valores fisicoquímicos acordes con la tipología de masa de agua en la que se encuentran los puntos de muestreo (aguas costeras atlánticas del cantábrico oriental expuestas sin afloramiento), observándose variaciones esperables en función de la época en la que se han realizado los distintos muestreos. Concretamente, cabe destacar que la columna de agua muestra en todo momento una muy buena oxigenación y transparencia, obteniéndose saturaciones de oxígeno superiores al 73% (límite inferior establecido para un estado Muy Bueno [3]), y una turbidez inferior a 5 NTU (límite superior establecido para un estado Muy Bueno [3]). En cuanto a la concentración de nutrientes, se han obtenido concentraciones bajas de nitratos y fosfatos, estando en todos los casos por debajo de los límites establecidos para la consideración de un estado Muy bueno de la masa de agua [3]. No obstante, no es así para el caso de la concentración de amonio, cuyos valores superan en alguna ocasión los límites establecidos para un estado bueno, presentando un estado moderado en varias ocasiones. En este sentido, destaca igualmente que, de manera general, la concentración de amonio muestra unos valores ligeramente más elevados en las estaciones de muestreo situadas en la traza del emisario. En cuanto a la concentración de sólidos en suspensión, los resultados obtenidos muestran valores similares en todos los puntos de muestreo, sin detectarse una tendencia clara, ni temporal ni espacial. De manera general, se han obtenido concentraciones comprendidas entre los 2 y los 10 mg/l. Finalmente, cabe

destacar que el análisis de la presencia de indicadores de contaminación fecal en la columna de agua (*E. coli* y enterococos intestinales) indica en la mayoría de casos una calidad Excelente del agua [4].

El seguimiento de la calidad del sedimento presente en el entorno del emisario submarino muestra granulometrías bastante estables en todos los puntos de muestreo, con una dominancia clara de la fracción arenosa (más del 90%). En cuanto al carbono orgánico total (COT), se observan valores ligeramente mayores en el punto de muestreo situado al norte del emisario submarino. No obstante, a lo anterior, cabe mencionar que en muchos casos se ha obtenido un porcentaje inferior al límite de cuantificación (COT < 0,25%). En el caso de los sedimentos, no existe normativa en la legislación europea ni en la española aplicable a este tipo de estudios. La única norma que se establece con carácter general es la de que la concentración de las sustancias no debe aumentar significativamente en el tiempo (Ley 42/2007 [5]). Así pues, los resultados correspondientes al análisis de metales se han comparado, de manera orientativa, con los límites establecidos en las Directrices elaboradas por la CIEM en 2021 [6], así como con los criterios ecotoxicológicos de OSPAR [7]. La concentración de metales registrada indica que en todos los casos se trata de un Sedimento No Peligroso, que en la mayoría de casos no supera el Nivel de Acción A (Directrices CIEM) ni el Nivel Mínimo de Efectos (OSPAR).

En cuanto al seguimiento de la comunidad fitoplanctónica llevado a cabo, en ninguna de las campañas de muestreo realizadas se han obtenido valores que indiquen la existencia de un *bloom*, obteniéndose una abundancia celular inferior a 750.000 cél/l en todos los casos. La clorofila por su parte muestra un patrón esperable, con concentraciones más bajas en otoño y más elevadas en primavera y verano [8]. Para la valoración de los resultados obtenidos se ha calculado el índice denominado “*Spanish Phytoplankton Tool*” (SPT), indicador establecido para la evaluación de la calidad de la comunidad fitoplanctónica para masas de agua costeras [9]. En este sentido, tal y como se puede observar en la Figura 2, en todos los casos se han obtenido valores superiores a 0,76 (límite inferior para el estado muy bueno), indicando por tanto que la comunidad fitoplanctónica de la zona presenta un estado muy bueno.

El seguimiento de la población de macroinvertebrados bentónicos presenta igualmente variación en la abundancia y riqueza de especies en función de la campaña de muestreo, aunque en este caso no se observa un patrón de comportamiento claro. Para la valoración de este tipo de comunidades se utiliza el índice M-AMBI, indicador establecido para la evaluación de la calidad de la comunidad de macroinvertebrados para masas de agua costeras [9]. El cálculo de este índice a lo largo de las distintas campañas muestra una población de macroinvertebrados con ciertas alteraciones, que oscila entre un estado bueno y moderado. No obstante, tal y como se observa en la Figura 3, parece apreciarse una ligera tendencia hacia el buen estado.

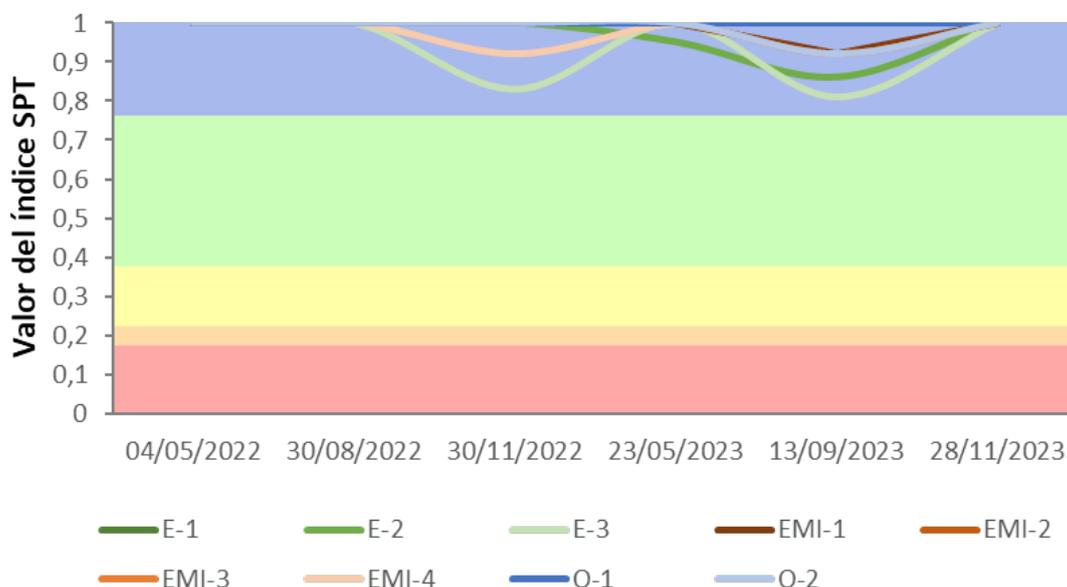


Figura 2. Evolución del valor que toma el índice SPT a lo largo de las campañas de muestreo llevadas a cabo

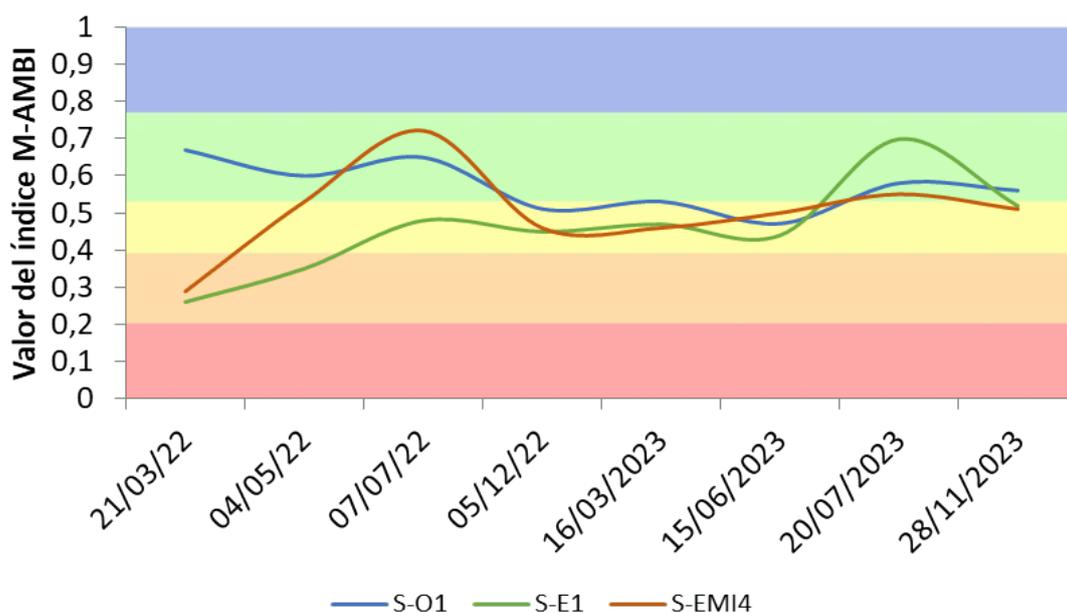


Figura 3. Evolución del valor que toma el índice M-AMBI a lo largo de las campañas de muestreo llevadas a cabo

En lo relativo al seguimiento de las comunidades de macroalgas, los resultados indican que se trata de comunidades bien establecidas, cuyo mayor desarrollo ocurre en la época estival (mayor desarrollo de las especies características de la costa Cantábrica frente a especies oportunistas). En este caso el indicador de referencia es el índice CFR (Calidad de Fondos Rocosos) [9], representando en la Figura 4 los valores obtenidos para cada punto de muestreo en las dos campañas de muestreo realizadas hasta la fecha. En este caso no se dispone de datos suficientes para poder hacer un correcto análisis de la tendencia.

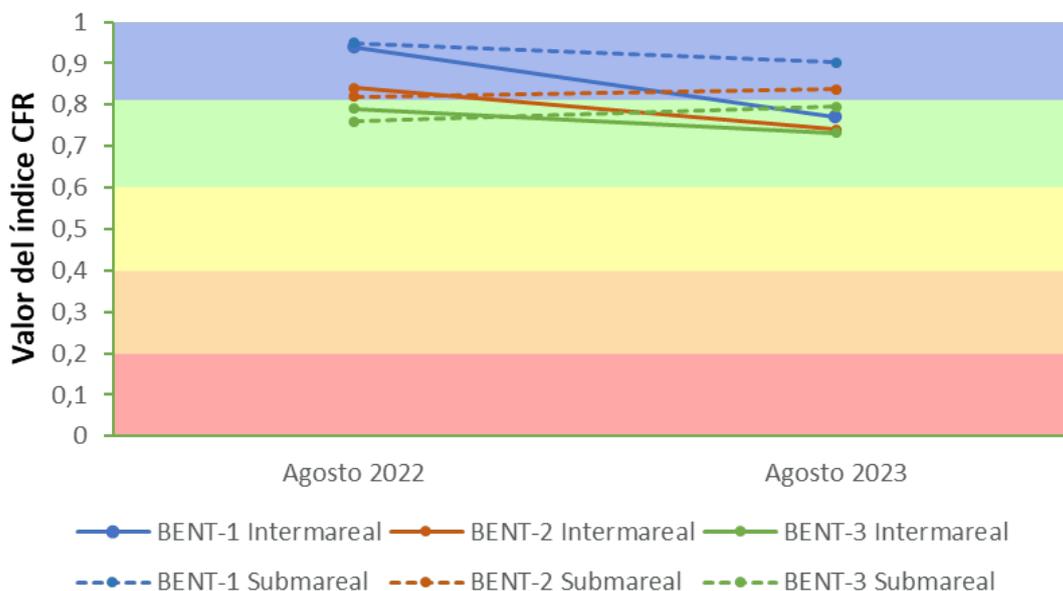


Figura 4. Evolución del valor que toma el índice CFR a lo largo de las campañas de muestreo llevadas a cabo

Finalmente, en el seguimiento de bioacumulación en organismos indicadores se observan valores similares en las tres zonas analizadas. En este caso, los valores obtenidos se han comparado con diferentes reglamentos europeos que hacen referencia a las normas exigidas en los procesos y en el control de calidad con productos de origen animal destinados a consumo humano [10][11][12]. En relación a lo anterior, en todos los casos se han obtenido niveles que permiten clasificar las tres zonas como Zona A: aquella cuyos moluscos presentan menos de 230 NMP de *E.coli* en 100 g de carne, siendo zonas aptas para el cultivo y marisqueo y los productos de dichas zonas pueden destinarse al consumo humano directo.

### Discusión y conclusiones

Se ha diseñado un Plan de Vigilancia Ambiental en base a los condicionantes establecidos en las distintas Resoluciones y Autorizaciones emitidas durante todo el proceso de tramitación ambiental de la EDAR de Gijón Este, incluyendo la Declaración de Impacto Ambiental, la Autorización de Vertido al Dominio Público Marítimo-Terrestre y la Autorización como Actividad Potencialmente Contaminadora de la Atmósfera.

En concreto, el seguimiento de la calidad del medio receptor del efluente ha permitido comprobar el estado en el que se encuentra en cada momento la masa de agua receptora, constatando que la gran mayoría de parámetros fisicoquímicos y biológicos analizados indican que la masa presenta un estado, al menos, bueno. Es el caso concreto de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y la concentración de amonio en la columna de agua, se observan valores que indican un estado moderado en algún caso puntual. No obstante, y aunque se necesita un periodo de tiempo más amplio para corroborar las previsiones, parece que la tendencia es hacia el estado bueno.

La realización de este tipo de estudios a lo largo del tiempo permite determinar el nivel de impacto generado por el nuevo proceso de tratamiento del efluente de la EDAR sobre el medio receptor, permitiendo plantear mejoras o medidas correctoras con el objeto de optimizar el funcionamiento de las instalaciones y permitir el cumplimiento de los objetivos ambientales de forma coherente con lo requerido por la Directiva Marco del Agua. De igual forma, sirve como estudio del estado básico de la zona frente a una situación indeseable, ya sea de parada o mal funcionamiento de las instalaciones o de rotura de alguno de sus elementos, de modo que se podría evaluar el posible impacto que dicha situación tendría sobre el medio.

**Referencias / Bibliografía:**

- [1] Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- [2] Uthermöhl, H. (1958). *Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton methodick. Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.*, (9):39.
- [3] Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro.
- [4] Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.
- [5] Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
- [6] CIEM, Comisión Interministerial de Estrategias Marinas, 2021. Directrices para la Caracterización del Material Dragado y su Reubicación en Aguas del Dominio Público Marítimo-Terrestre.
- [7] Comisión OSPAR, 2013. *Levels and trends in marine contaminants and their biological effects – CEMP Assessment report 2012*.
- [8] Cognetti, G.; Sarà, M.; Magazzù, G. (1999). *Biología Marina*. Ed. Ariel. Barcelona.
- [9] Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.
- [10] Reglamento N° 853/2004 de 29 de abril de 2004 por el que se establecen normas específicas de higiene de los alimentos de origen animal.
- [11] Reglamento N° 854/2004 de 29 de abril de 2004 por el que se establecen normas específicas para la organización de controles oficiales de los productos de origen animal destinados al consumo humano.
- [12] Reglamento 2073/2005 de 15 de noviembre de 2005 relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios.

# BLOQUE 5

---

## PLANIFICACIÓN Y TERRITORIO

## **CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE BAJAS EMISIONES EN CIUDADES EUROPEAS: ANÁLISIS DE SU EFICACIA Y ASPECTOS A CONSIDERAR EN SU DISEÑO E IMPLANTACIÓN**

Martínez-Orozco, J.M.; Cabana Cumare, R.

Universidad Europea de Madrid, [jmiguel.martinez@universidadeuropea.es](mailto:jmiguel.martinez@universidadeuropea.es), Madrid.

**Palabras clave:** Contaminación atmosférica; Diseño; Eficacia; Implantación; Zona de bajas emisiones

### **Resumen**

En la presente comunicación se exponen los resultados de la caracterización realizada a una muestra representativa de las zonas de bajas emisiones implantadas en ciudades europeas. Esta caracterización se fundamenta en un conjunto de descriptores relativos al diseño, implantación y seguimiento de dichas zonas. Se realiza asimismo una revisión de los resultados obtenidos en diversos estudios relativos a su eficacia en distintas ciudades, de los cuales se pueden deducir los principales aspectos que determinan su buen funcionamiento. Los resultados obtenidos se emplean para identificar unos mínimos a considerar en el diseño e implantación de las zonas de bajas emisiones en España.

### **Introducción**

La contaminación atmosférica constituye uno de los problemas ambientales más relevantes a los que se enfrentan las sociedades humanas, en particular en las áreas urbanas. En la Unión Europea (UE), pese a los esfuerzos realizados, es considerado el problema ambiental con mayor afección sobre la salud de la población europea [1], siendo muy destacable la exposición actual a altos niveles de contaminación del aire. De acuerdo con los estándares recientemente revisados por la Organización Mundial de la Salud [2], actualmente el 97% de la población de las ciudades europeas está expuesta a niveles nocivos de partículas en suspensión finas ( $PM_{2,5}$ ), un 94% se expone a altos niveles de ozono ( $O_3$ ), y un 90% a concentraciones de dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) potencialmente peligrosas [1].

Las consecuencias de la contaminación sobre nuestra salud y bienestar son múltiples. La exposición a niveles altos tiene unos costes sociales inaceptables, y es causa de numerosas enfermedades que se concretan en un descenso de la esperanza de vida [3]. Solo en la Unión Europea (UE) se calculan unas 600.000 muertes prematuras al año por la contaminación del aire [4]. En términos económicos,

se estima que la pérdida de capital humano y la disminución de la esperanza de vida derivados de la contaminación atmosférica suponen en unos costes anuales de 1,37 mil billones de dólares [5].

Entre las iniciativas que se están impulsando para reducir los niveles de contaminación se encuentran las zonas de bajas emisiones (ZBE), que se definen como el ámbito delimitado por una Administración pública en el que se aplican restricciones de acceso, circulación y estacionamiento de vehículos para mejorar la calidad del aire, conforme a la clasificación de los vehículos por su nivel de emisiones. Se trata de una más del conjunto de actuaciones implantadas en la UE para dar cumplimiento a las directivas europeas sobre calidad del aire (Directivas 2008/50/EC y 2004/107/EC).

Las primeras ZBE europeas se proponen en las ciudades suecas de Estocolmo, Gotemburgo y Malmö a finales de la década de los 90 con el nombre de “zonas ambientales” [6]. Le siguieron diversas ciudades en Alemania, Francia e Italia. En la actualidad, existen varios centenares de ZBE implantadas o en proceso de implantación en Europa.

España se ha incorporado de manera tardía a este proceso, contándose, hasta tiempo reciente, solo con las iniciativas pioneras de Madrid (ZBE implantada en 2018) y Barcelona (2020). La Ley 7/2021, de Cambio Climático y Transición Energética (y su desarrollo posterior en el Real Decreto 1052/2022), supone un cambio importante al establecer la obligación de que los municipios de más de 50.000 habitantes (o de más de 20.000 habitantes cuando se superen los valores límite regulados) y los territorios insulares adopten antes de 2023 planes de movilidad urbana sostenible que incluyan ZBE. Como consecuencia, al menos 151 ciudades españolas quedan obligadas a su implantación. Sin embargo, en el momento actual, la mayoría de las ZBE continúan en tramitación: según datos de abril de 2024, solo 23 ciudades cuentan con una ZBE en vigor; en el otro extremo, otras 24 aún no han comenzado su delimitación y diseño (Figura 1).



## **Material y Métodos**

Para la caracterización de las ZBE existentes en Europa se ha realizado una selección de una muestra representativa de las distintas tipologías actuales, en relación con:

- Su delimitación, seleccionando ejemplos de ZBE que abarcan ciudades enteras o bien solo partes de la ciudad o determinadas áreas sensibles, y distintas morfologías (núcleo, anillo, etc.).
- Su diseño, en relación con el tipo de tráfico restringido, la naturaleza de las restricciones, su vigencia temporal, el tipo de documentación requerida o el control del cumplimiento.
- Su vigencia, seleccionando ciudades con experiencia de al menos 10 años y otras de implantación reciente.

De acuerdo con los criterios anteriores, se han seleccionado las ciudades de Berlín, Múnich, Ámsterdam y París al tratarse de urbes con larga trayectoria en la implantación de una ZBE en toda o buena parte de la ciudad, la ciudad de Milán debido a la división de la ZBE en zonas, y Copenhague debido a la presencia de una amplia zona de emisión cero. Se ha seleccionado asimismo el caso de Londres, que representa un caso singular ya que incorpora una zona de “ultrabajas emisiones”. Finalmente se han seleccionado ejemplos de ciudades con implantación reciente, como Madrid o Lisboa.

La información para la caracterización de estas zonas se ha buscado en los departamentos competentes de las administraciones locales correspondientes, así como algunos sitios web de información sobre ZBE. Esta caracterización se ha realizado mediante un conjunto de descriptores que pueden determinar la eficacia de las mismas. En particular:

- La existencia de marco legal regulatorio, en cualquier nivel de la Administración (nacional, regional, local).
- La delimitación y morfología de la ZBE, incluyendo la existencia de zonas de emisión cero (ZEZ).
- La tipología de vehículos con restricción.
- El tipo de limitación horaria.
- El régimen de excepciones.
- El tipo de documentación requerida a los vehículos.
- Los mecanismos de control del cumplimiento.
- El régimen sancionador.
- El periodo de vigencia de la ZBE, los plazos de implantación de la ZBE, y los posibles cambios durante el mismo.

La información anterior ha permitido un análisis comparado de la situación en las distintas ciudades estudiadas, que se ha complementado con una valoración de su eficacia en la reducción de la contaminación atmosférica mediante la revisión de la literatura científica reciente sobre la cuestión

referida, en lo posible, a las ciudades analizadas. Como conclusión del trabajo, se exponen una serie de elementos que pueden ser de utilidad en el actual proceso de diseño y puesta en marcha de las ZBE en España.

## Resultados

### 1) Estudio comparado de las ZBE

Los resultados obtenidos (Tabla 1) permiten deducir algunas semejanzas, pero también importantes diferencias en las ZBE analizadas. En general, la normativa que regula las ZBE es de ámbito nacional, si bien ocurre, en muchos casos, que esta norma es posterior a la propia implantación de la ZBE en la ciudad. Se identifican también notables similitudes en el control del acceso de vehículos, en relación con el régimen de excepciones (limitadas en general a vehículos de personas discapacitadas y otros vehículos especiales, con la llamativa excepción de Madrid, que no limita el acceso de vehículos turísticos salvo que carezcan de distintivo ambiental), la verificación de acceso (en general, mediante sistemas de reconocimiento automático de matrículas, salvo en las ciudades con ZBE más antiguas, como Berlín o Múnich, que continúan empleando el control policial), o el tipo de documentación exigida a los vehículos (en general, registro previo y distintivo visible).

Existe cierto predominio de las ZBE con limitación temporal permanente al acceso de vehículos, si bien existen ejemplos de aplicación únicamente a los días laborables (Milán, Lisboa), o al periodo diurno (París, Londres, Milán, Lisboa). En general, el régimen sancionador está ejerciendo, por las cuantías establecidas, un claro carácter disuasorio, siendo destacable la importancia de las sanciones en Londres o Copenhague, que pueden alcanzar o incluso superar los 1.000€.

En general, el proceso de implantación de las ZBE ha sido gradual, con una aplicación progresiva de las restricciones que ha afectado en su inicio a los vehículos pesados y también a los diésel, para luego extenderse al resto de vehículos. Solo en ocasiones se ha contado con una fase previa de difusión e información pública a la ciudadanía y colectivos afectados (Fase 0).

Las diferencias más destacadas en las ciudades estudiadas se refieren a aspectos esenciales del diseño de las ZBE, como son su tamaño y morfología, o el tipo de vehículo restringido. Así, existen ejemplos de ZBE que abarcan ciudades enteras (Copenhague, Londres) o amplias áreas del interior (Berlín, Munich, París), o bien zonas muy reducidas en las que se aplican mayores restricciones (Lisboa, Madrid). La ZBE puede estar constituida por uno o varios núcleos, y en torno a ellos se establece en ocasiones un anillo periférico en el que las restricciones son más laxas (siendo el caso más llamativo el de la Zona de Ultra Bajas Emisiones de Londres). Son, por otro lado, escasos los ejemplos de ampliación de la ZBE aplicados hasta el momento.

Existe asimismo una gran heterogeneidad en los tipos de vehículos restringidos. Así, existen ejemplos de limitación de vehículos diésel Euro 5 e incluso Euro 6 en ciudades alemanas, Ámsterdam o Copenhague, que contrastan con la laxitud de otras como Lisboa o Madrid, que limitan solo hasta los Euro 3. En general, se puede afirmar que estos aspectos determinantes del diseño de la ZBE no parecen estar siempre justificados por la importancia del problema de la contaminación.

## **2) Eficacia de las ZBE**

La implantación de las ZBE muestra resultados dispares en relación con la reducción de la contaminación. Los estudios revisados evidencian que, si bien se han logrado reducciones significativas en ciertos contaminantes, otros no han experimentado cambios sustanciales (Tabla 2). En el caso de Berlín y Múnich, por ejemplo, se ha observado una disminución en las concentraciones de PM<sub>10</sub>, pero no se ha registrado una reducción notable en los niveles de NO<sub>2</sub> [14], y se sugiere que las estrategias de reducción de emisiones pueden necesitar ajustes específicos para abordar diferentes tipos de contaminantes de manera eficaz.

En Londres, una ciudad que ha tenido históricamente altos niveles de contaminación, la ZBE ha contribuido a una reducción significativa de la contaminación del aire [5, 9]. Esta mejora viene determinada no solo por la gran extensión de la ZBE, sino también por su correcta planificación y ejecución gracias a la integración de la ZBE en las políticas de transporte y urbanismo para maximizar su efectividad.

	Berlín	Múnic	Ámsterdam	París	Londres	Milán	Copenhague	Lisboa	Madrid
Regulación (1)	N	N	N, L	N	N, L	R, L	N	L	N, L
Límites, morfología (2)	1 núcleo 88 km2 (10%)	1 núcleo 44 km2 (14%)	2 núcleos (ZBE, CAZ) ZEZ (2025)	1 núcleo (ZFE) 1 anillo (ZPA, París A86 dentro, París A86 fuera)	1 núcleo 1 anillo (ULEZ) 1600 km2	1 núcleo (Zona C) 1 anillo (Zona B)	1 núcleo 178 km2 (98%)	1 núcleo 1 anillo	2 núcleos (Madrid Centro, Plaza Elíptica: 5 km2) 1 anillo
Restricciones vehículos (3)	VL-D: Euro 4 (*) VL-G: Euro 1	VL-D: Euro 6 VL-G: Euro 1	VL-D: Euro 4 VP-D: Euro 6 Pago peaje (VP)	VL, VP-D: Euro 6	VL, VP-G: Euro 3 Pago por peaje	VL, VP-D: Euro 5 VL, VP-G: Euro 2 Pago por peaje	VL, VP-D: Euro 5	VL, VP-D: Euro 3 VL, VP-G: Euro 3	VL, VP-D: Euro 3 VL, VP-G: Euro 2
Limitaciones horarias (3)	Permanente	Permanente	Permanente	VL: L-V, 8:00-20:00 VP: L-D, 8:00-20:00	L-D, 7:00-22:00	L-V, 7:30-19:30 (15 abr. - 15 oct.)	Permanente	L-V, 7:00-21:00	Permanente
Excepciones	V. discapacitados	Residentes Reparto	V. discapacitados V. especiales	V. discapacitados V. especiales	V. discapacitados ULEZ: Residentes	Ciclomotores V. discapacitados V. especiales	Excepción temporal limitada (6 veces, 24 h/año) V. discapacitados	V. discapacitados V. especiales	Residentes V. discapacitados V. turísticos
Documentación	Registro, identificador	Registro, identificador	A partir del registro nacional vehículos	Identificador	Registro	-	Registro (solo v. antiguos)	Registro, identificador	Registro, identificador
Control (4)	Control policial	Control policial	ANPR	ANPR (2024)	ANPR	ANPR	ANPR	Control policial	ANPR
Régimen sancionador (3)	Sin identificación: 80 €	Sin identificación: 80 €	VL: 120€ VP: 300€	VL: 68€ VP: 135-450€	VP: 500-1000 €	VL, VP: 75-450€	VL: 200€ VP: 1700€	VL, VP: 120€	VL, VP: 200€
Ampliaciones (2)	-	-	2019 - CAZ	2017 - ZPA 2019 - París A86 D 2019 - París A86 F	2019 - ULEZ 2023 - ampl. ULEZ	-	2025 - expansión	-	-
Fases	2004/06 - Fase 0 2008 - Fase 1 2010 - Fase 2	2005-07 - Fase 0 2008 - Fase 1 2010 - Fase 2 2012 - Fase 3	2008 - Fase 0 2009 - Fase 1 2020 - Fase 2 2022 - Fase 3 2025 - Fase 4 2030 - Fase 5	2015 - Fase 1 2016 - Fase 2 2017 - Fase 3	2008 (feb.)-Fase 1 2008 (jul.)-Fase 2 2012 - Fase 3 2015 - Fase 4	2011 - Fase 1 2019 - Fase 2	2008 - Fase 1	2011 - Fase 1 2012 - Fase 2	2018 - Fase 1 2022-Reinicio fase 1 2023 - Fase 2 2024 - Fase 3 2025 - Fase 4

(1) N=nacional; R=regional; L=local  
 (2) CAZ=Clean Air Zone; ZFE=zone à faible émission; ZPA=Zona de protección atmosférica; ULEZ= Ultra Low Emission Zone  
 (3) VL=vehículo ligero; VP=vehículo pesado; D=diesel; G=gasolina  
 (4) ANPR= Automatic Number Plate Recognition  
 (\*) Hasta 2022, diésel Euro 6.

Tabla 1. Síntesis de los resultados obtenidos para los descriptores empleados en la caracterización de las ZBE europeas.

En París, la implementación de la ZBE ha beneficiado no solo a los residentes dentro de la zona, sino también a los de áreas circundantes [10], lo que subraya la importancia de considerar el impacto regional de estas políticas. La mejora en la calidad del aire en estas regiones puede atribuirse a la reducción del tráfico contaminante y a la promoción de medios de transporte más sostenibles. Madrid, por su parte, ha implementado restricciones de tráfico que han mostrado ser efectivas en la reducción de niveles de NO<sub>2</sub>, aunque el grado de éxito ha variado dependiendo de factores como la intensidad y la aplicación de las restricciones [15].

Al analizar los tiempos de implantación, se observa que las ciudades que han adoptado un enfoque gradual y adaptado a sus condiciones locales han tenido más éxito en la reducción de la contaminación. Por ejemplo, en Berlín y Múnich, la implementación gradual permitió realizar ajustes en función de los resultados obtenidos, incrementando la eficacia de las medidas [14]. En contraste, ciudades que, como Madrid, aplicaron restricciones de manera abrupta encontraron mayor rechazo por parte de la ciudadanía y otros grupos de interés [16].

Los estudios llevados a cabo hasta el momento acreditan que las ZBE son más efectivas cuando se combinan con otras políticas de movilidad sostenible. En París, la integración de las mejoras en el transporte público y la promoción de alternativas de movilidad, como el uso de bicicletas, han amplificado los beneficios de la ZBE [10]. En Londres, la expansión de la red de transporte público ha sido determinante en la reducción del uso del vehículo privado [5].

*Tabla 2. Reducciones de contaminantes alcanzadas en algunas ciudades europeas.*

	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
Alemania	15% - 21%	10%
Londres	11% - 13%	5,50%
Madrid	23% - 34%	-

## Conclusiones

No se observan factores claramente determinantes en el diseño e implantación de las ZBE. Las experiencias actuales se acomodan a realidades locales que son ambiental, socioeconómica y políticamente únicas. Existen, no obstante, aspectos a tener en consideración en el diseño e implantación de las ZBE:

- Debe evitarse la importación de modelos de ZBE de otras ciudades. El tamaño, la forma y el alcance de la ZBE debe basarse en la problemática local. En este sentido, buena parte del éxito de los planteamientos actuales reside en su definición ad hoc.

- Las ZBE no deben centrarse exclusivamente en la restricción del tráfico más contaminante, sino orientarse hacia un modelo de movilidad más sostenible que incluya medidas como la mejora de la red de transporte público, la implantación de carriles de transporte público o carriles bici, la regulación y tarifas de estacionamiento, actuaciones de calmado del tráfico o la gestión de la distribución de mercancías.
- En la planificación de la ZBE, es importante contar con una fase informativa previa suficientemente amplia, que permita obtener y mantener un mandato popular para actuar.
- La implantación debe ser progresiva, en plazos de tiempo adecuados a la realidad local en función de los niveles de contaminación, la calidad de la red de transporte público o la edad del parque de vehículos. A medio y largo plazo, la evolución de las ZBE debe dirigirse hacia zonas de emisión cero.
- El seguimiento de las ZBE debe incluir la medición de la exposición de la población a los contaminantes, asegurando que las políticas implementadas realmente mejoren la calidad del aire y la salud pública.

## Referencias / Bibliografía:

- [1] EEA, 2023. Europe's air quality status 2023. European Environment Agency. Copenhagen.
- [2] WHO, 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization.
- [3] Heutel G., Ruhm C.J., 2016. Air pollution and procyclical mortality. *J. Assoc. Environ. Res. Econ.*, 3(3):667–706.
- [4] WHO, 2015. Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: clean air, health and wealth. World Health Organization, Copenhagen.
- [5] Zhai M., Wolff H., 2021. Air pollution and urban road transport: evidence from the world's largest low-emission zone in London. *Environ. Econ. Policy Stud.*, 23: 721-748.
- [6] Holman C., Harrison R., Querol X., 2015. Review of The efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European Cities. *Atmos. Environ.*, 111:161-169.
- [7] MITECO, 2024. Zonas de bajas emisiones de España. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/movilidad.html>. Consultado 1 abril 2024.
- [8] Panteliadis P., et al., 2014. Implementation of a low emission zone and evaluation of effects on air quality by long-term monitoring. *Atmos. Environ.*, 86: 113–119.
- [9] Font A., Guiseppin L., Blangiardo M., Ghersi V., Fuller G.W., 2019. A tale of two cities: is air pollution improving in Paris and London? *Environmental Pollution*, 249: 1-12.
- [10] Poulhès A., Proulhac L., 2021. The Paris Region low emission zone, a benefit shared with residents outside the zone. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 98: 102977.
- [11] Wolff H., 2014. Keep your clunker in the suburb: low-emission zones and adoption of green vehicles. *Econ. J.*, 124: 481–512.
- [12] Malina C., Scheffler, F., 2015. The impact of Low Emission Zones on particulate matter concentration and public health. *Transport. Res. Part A: Policy Practice*, 77: 372-385.
- [13] Gehrsitz M., 2017. The effect of low emission zones on air pollution and infant health. *J. Environ. Econ. Manage.*, 83: 121-144.
- [14] Gu J., et al., 2022. Low emission zones reduced PM<sub>10</sub> but not NO<sub>2</sub> concentrations in Berlin and Munich, Germany. *J. Environ. Manage.*, 302: 114048.
- [15] Salas R., Perez-Villadoniga M.P., Prieto-Rodriguez J, Russo A., 2021. Were traffic restrictions in Madrid effective at reducing NO<sub>2</sub> levels? *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, 91: 102689.

## **ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE SISTEMAS PORTUARIOS: CÓMO HA SIDO AFRONTADO EL RETO EN ASTURIAS**

*Sánchez Arango, M.; Gómez de la Torre, V.; Rodríguez García, J.; Granero Castro, J.*

Taxus Medio Ambiente, S.L., [msanchez@taxusmedioambiente.com](mailto:msanchez@taxusmedioambiente.com), Oviedo

**Palabras clave:** Cambio climático; Evaluación ambiental estratégica; Resiliencia; Vulnerabilidad; Puerto; Costa.

### **Resumen**

La costa asturiana constituye el subsistema regional más sensible a los impactos del Cambio Climático, debido a la abundancia de villas costeras, así como a la presencia de espacios protegidos y áreas de alto valor ecológico.

Ello hace necesaria la adopción de estrategias enfocadas a reducir su vulnerabilidad e incrementar su resiliencia ante los distintos escenarios climáticos esperados.

El trabajo desarrollado por TAXUS MEDIO AMBIENTE analiza la forma en que el Gobierno de Asturias ha resuelto este reto, así como la información obtenida de los distintos agentes implicados en el procedimiento de Evaluación Ambiental Estratégica del Plan de Adaptación al Cambio Climático de los Puertos Autonómicos; el cual, según determina la Oficina Española de Cambio Climático: “implicará un impacto positivo sobre el litoral, la franja costera y socioeconomía, siendo adecuado a la estrategia en la lucha contra el Cambio Climático”.

### **Introducción**

Ante la necesidad de reducir la vulnerabilidad de la costa asturiana ante el Cambio Climático e incrementar su resiliencia ante los distintos escenarios climáticos esperados, el **Gobierno del Principado de Asturias** desarrolló el **Plan de Adaptación al Cambio Climático de los Puertos Autonómicos**; el cual fue sometido al procedimiento de Evaluación Ambiental Estratégica, en aplicación de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental.

El ámbito territorial sujeto a las determinaciones del **Plan** está constituido por las zonas de servicio de las 24 instalaciones portuarias de la Red Autónoma (**Figura 1**), abarcando una superficie total de 3.038.164 m<sup>2</sup>:



*Figura 1. Distribución de los Puertos Autónomos del Principado de Asturias*

Para cada una de dichas instalaciones el **Plan** incluye la descripción de sus características actuales, el análisis de su exposición al Cambio Climático, la valoración de los indicadores de impacto del Cambio Climático vinculados a precipitación, temperatura, viento y subida del nivel medio del mar; la descripción del riesgo percibido, la evaluación del riesgo presente, la evolución previsible del riesgo futuro, y una propuesta de medidas de adaptación con su efecto en la mejora de la capacidad adaptativa.

Dichas medidas han sido jerarquizadas en función de su urgencia de desarrollo (**Tabla 1**):

- Medidas a implementar en el Corto Plazo (CP): Medidas tendentes a recuperar las condiciones de diseño de cada puerto para el clima presente.
- Medidas a implementar en el Medio/Largo Plazo (MLP): Medidas encaminadas a mantener niveles de riesgo aceptables ante diferentes escenarios de emisiones y horizontes temporales.

Para ello han sido consideradas las proyecciones climáticas vinculadas a los siguientes escenarios de emisiones establecidos por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) en su Quinto Informe de Evaluación[1]:

- RCP4.5: escenario moderado con concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEIs) que se estabilizan antes del año 2100.
- RCP8.5: escenario pesimista con altas concentraciones de GEIs.

Sistema portuario	Reparación/reconstrucción/mejora de diques	Dragado	Mejora de atraques y amarres	Conservación/mejora de instalaciones o equipamientos	Reubicación de instalaciones hacia el interior
Vegadeo				CP / MLP	
Castropol				CP / MLP	
Figueras	CP / MLP	CP / MLP		CP / MLP	
Tapia de Casariego	CP / MLP	CP / MLP		CP / MLP	MLP
Viavéz	CP / MLP		MLP	CP / MLP	
Ortiguera				CP / MLP	
Navia	CP / MLP			CP / MLP	
Puerto de vega	CP / MLP			CP / MLP	
Luarca	CP / MLP			CP / MLP	
Oviñana				CP / MLP	
Cudillero	CP / MLP			CP / MLP	
San Esteban de Pravia	CP / MLP	CP / MLP		CP / MLP	MLP
San Juan de la Arena	CP / MLP	CP / MLP		CP / MLP	
Llumeres	MLP			MLP	
Bañugues	MLP	CP / MLP	MLP	CP / MLP	MLP
Luanco	CP / MLP			CP / MLP	
Luanco viejo	MLP			CP / MLP	
Candás	CP / MLP	CP / MLP		CP / MLP	MLP
Tazonés	MLP			CP / MLP	MLP
El puntal		CP / MLP		CP / MLP	
Lastres	CP / MLP	CP / MLP		CP / MLP	
Ribadesella	MLP	CP / MLP	MLP	CP / MLP	
Niembro				CP / MLP	
Llanes	CP / MLP	CP / MLP	MLP	CP / MLP	
Bustio		CP / MLP	MLP	CP / MLP	

*Medidas a Implementar: en el Corto Plazo (CP) Vs en el Medio/Largo Plazo (MLP)*

*Tabla 1. Medidas a implementar en cada uno de los sistemas portuarios asturianos según el Plan de Adaptación al Cambio Climático de los Puertos Autonómicos*

## Material y Métodos

El **Estudio Ambiental Estratégico (EsAE)** del Plan, desarrollado por TAXUS MEDIO AMBIENTE:

- Identifica y describe qué actuaciones y previsiones del Plan van a incidir sobre las Directrices, Planes Sectoriales y Territoriales de aplicación en el Principado de Asturias:
  - PLANES Y ESTRATEGIAS RELATIVOS AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS QUE SE FUNDAMENTA EL PLAN DE ADAPTACIÓN CONSIDERADO
    - Plan Nacional de adaptación al Cambio Climático (PNACC)
    - Plan de Impulso al Medio Ambiente de Adaptación de la costa española (PIMA Adapta Costas)
    - Estudio sobre la Adaptación al Cambio Climático de la Costa del Principado de Asturias C3E Asturias
    - Estrategia para la Adaptación de la Costa al Cambio Climático
  - OTROS PLANES Y ESTRATEGIAS RELATIVOS AL CAMBIO CLIMÁTICO
    - Estrategia Integrada de Gestión Portuario-Litoral de Asturias (EIGPLA)
    - Estrategia Española de Economía Circular
  - DIRECTRICES Y PLANES TERRITORIALES
    - Directrices Regionales de Ordenación del Territorio de Asturias (DROT)
    - Directrices Subregionales de Ordenación del Territorio de la Franja Costera (DSOTFC)
    - Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Asturias (PORN A)
    - Catálogos regionales de especies amenazadas de flora y fauna
    - Plan Territorial Especial de Ordenación del Litoral asturiano (POLA)
    - Reglamento de Ordenación del Territorio y Urbanismo del Principado de Asturias (ROTU) y Texto Refundido de las Disposiciones Legales Vigentes en el Principado de Asturias en Materia de Ordenación del Territorio y Urbanismo (TROTU)
    - Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental
  - PLANES SECTORIALES
    - Directrices Sectoriales de Equipamiento Comercial (DSEC)
    - Directrices Sectoriales de Ordenación del Territorio para el Aprovechamiento de la Energía Eólica (DSOTEE)
    - Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda 2012-2024 (PITVI) y Plan Director de Infraestructuras para la Movilidad de Asturias 2015-2030
- Recoge los principales objetivos ambientales establecidos en el ámbito internacional, nacional y regional que guardan relación con el Plan, y la manera en la que estos se relacionan con las medidas propuestas:
  - Convenio Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)
  - Estrategia Marina para la Demarcación Noratlántica

- Plan de Ordenación del Espacio Marítimo
- Plan Estratégico Nacional para la Protección de la Costa Española considerando los efectos del Cambio Climático
- Analiza la adecuación del Plan a la zonificación y normativa establecida en los Instrumentos de Gestión de los Espacios Protegidos en los que se incluyen los distintos sistemas portuarios, así como los planes de gestión y protección de fauna de aplicación en la franja costera asturiana.
- Analiza y valora los impactos ambientales previsibles del Plan en su conjunto y de cada una de las medidas de adaptación proyectadas. Para ello emplea los conceptos técnicos incluidos en la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, caracterizando cada impacto detectado como *Compatible, Moderado, Severo o Crítico*. Analiza igualmente la potencial incidencia conjunta de varias actuaciones desarrolladas simultáneamente, según la definición establecida por dicha Ley para los *Efectos Acumulativos o Sinérgicos*.

## Resultados

Los análisis desarrollados en el **Estudio Ambiental Estratégico** han permitido concluir, que:

- La implementación de las medidas contempladas para el Corto Plazo tiene una baja incertidumbre, considerándose por tanto prioritaria. Ello no implica necesariamente el descarte de las medidas contempladas en el Medio/Largo Plazo, si bien su nivel de priorización y su marco temporal de implementación deberán ser evaluados considerando los diferentes escenarios posibles, su efectividad y coste de implementación y mantenimiento, en un marco con mayor incertidumbre.
- El Plan está en consonancia con los objetivos ambientales establecidos en el ámbito internacional, nacional y regional que guardan relación con el Plan, ya que establece la necesidad de mejorar el aislamiento térmico de las instalaciones portuarias, así como el empleo de energías renovables y de bajas emisiones, lo cual contribuirá a reducir la emisión de gases de efecto invernadero.
- No son esperables implicaciones directas sobre Directrices, Planes Sectoriales y Territoriales de aplicación en el Principado de Asturias a consecuencia de la aprobación o desarrollo del Plan.
- El impacto ambiental global del Plan es netamente positivo sobre el medio ambiente y la población local del entorno de los puertos sobre los que se pretende actuar, implicando un impacto global positivo indirecto sobre la franja costera y su socioeconomía.
  - Su objetivo final es ajustar, remodelar o adaptar las actuales instalaciones de forma que sigan siendo funcionales a lo largo del tiempo.

- La mejora de las instalaciones y, más específicamente, la reducción del riesgo y vulnerabilidad de cada puerto de forma individual, mejorará la calidad de vida de la población de las villas más próximas: disminuyendo el riesgo de inundaciones tanto en el puerto como en las propias villas, minimizando el riesgo de ocurrencia de pérdidas materiales, personales e incluso del patrimonio cultural ubicado en las inmediaciones de las masas de agua, mejorando la situación actual del sector primario (pesca) y terciario (embarcaciones de recreo) directamente dependientes de la funcionalidad de las instalaciones portuarias, etc.
  - Prevé el empleo preferente de energías renovables y renovación de sistemas e instalaciones con el fin de reducir la huella de carbono de los puertos y su actividad (instalaciones y elementos con menor mantenimiento, menores necesidades de sistemas de refrigeración, etc.). Ello redundará en beneficios para la población en general.
- Las medidas especificadas en el Plan son eficientes y eficaces para reducir los niveles de riesgo para cada puerto en los distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. **Estas medidas habrán de concretarse en proyectos específicos** de acuerdo con la planificación de inversiones de la Consejería competente; **y en su caso, deberán ser sometidos al procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental establecido en la Ley 21/2013, de 9 de diciembre; analizándose específicamente sus posibles repercusiones sobre los elementos protegidos de su entorno.**

Para el desarrollo de dicha evaluación, el EsAE establece la necesidad de llevar a cabo **estudios de detalle, fundamentados en muestreos y prospecciones de campo específicos (Tabla 2).**

Elementos afectados	Descripción de la afección	Estudios complementarios
Hidrología	Aquellas actuaciones incluidas en el Anexo I del Real Decreto 79/2019 [2], deberán documentar su compatibilidad con las Estrategias Marinas	<b>Informe de compatibilidad con la Estrategia Marina de la Demarcación Marina Noratlántica</b>
	El dragado y depósito de materiales en el mar implicará la alteración de la calidad del agua por turbidez, riesgo de solubilización o lixiviación de compuestos químicos, nutrientes y/o materia orgánica contenida en el sedimento	<b>Caracterización del material dragado Estudio de Usos Productivos</b> según Directrices CIEM [3]
Dinámica sedimentaria	Las nuevas instalaciones a ubicar en el medio marino (diques, pantalanés, etc.) llevarán asociado el riesgo de modificación de la dirección y/o velocidad de las corrientes en su entorno próximo	<b>Estudio Básico de Dinámica Litoral</b> según Artículo 93 de Real Decreto 876/2014 [4]
Espacios Protegidos	Todas las actuaciones a desarrollar dentro de espacios protegidos son susceptibles de afectar, directa o indirectamente, a las especies de fauna o flora que condicionaron su delimitación y protección: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eliminación de especies vegetales</li> <li>- Alteración de la producción primaria por afección al fitoplancton</li> <li>- Alteración de biotopos (turbidez, solubilización de compuestos) o destrucción de los mismos</li> <li>- Afección a su desarrollo o evolución por la instalación de nuevas infraestructuras (diques, pantalanés, etc.) sobre hábitats de interés comunitario</li> </ul>	<b>Estudio de Afecciones sobre Red Natura 2000</b> según metodología del MITERD [5],[6],[7]
Patrimonio Cultural	Toda actuación llevará asociado un riesgo de afección a elementos del patrimonio cultural no detectados previamente. Será necesario corroborar la ausencia de estos en el área de actuación	<b>Estudio de afecciones sobre el Patrimonio Cultural</b>

*Tabla 2. Estudios específicos a desarrollar en cada puerto, para la evaluación de los impactos asociados a cada proyecto de adaptación al Cambio Climático.*

## Discusión y Conclusiones

El Plan de Adaptación al Cambio Climático de los Puertos Autonómicos obtuvo **Declaración Ambiental Estratégica [8]** por Resolución de 9 de noviembre de 2022, de la Consejería de Administración Autonómica, Medio Ambiente y Cambio Climático, en la cual se corroboran las conclusiones obtenidas en el Estudio Ambiental Estratégico.

Específicamente, el informe emitido al efecto por:

- La Oficina Española de Cambio Climático determina que “el Plan implicará un impacto positivo sobre el litoral, la franja costera y socioeconomía, siendo adecuado a la estrategia en la lucha contra el Cambio Climático”
- La Comisión de Urbanismo y Ordenación del Territorio del Principado de Asturias (CUOTA) concluye que “el Plan presentado (...) está en consonancia con la normativa aplicable a la franja litoral”.

## Referencias / Bibliografía:

- [1] IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- [2] Decreto 79/2019, de 22 de febrero, por el que se regula el informe de compatibilidad y se establecen los criterios de compatibilidad con las estrategias marinas, deberán documentar su compatibilidad con las Estrategias Marinas.
- [3] CIEM, Comisión Interministerial de Estrategias Marinas, 2021. Directrices para la Caracterización del Material Dragado y su Reubicación en Aguas del Dominio Público Marítimo-Terrestre.
- [4] Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas.
- [5] European Communities, 2002. Assessment of plans and projects significantly affecting Natura 2000 sites Methodological guidance on the provisions of Article 6(3) and (4) of the Habitats Directive 92/43/EEC
- [6] MAPAMA, 2018. Recomendaciones sobre la información necesaria para incluir una evaluación adecuada de repercusiones de proyectos sobre red natura 2000 en los documentos de evaluación de impacto ambiental de la A.G.E. Madrid.
- [7] MITECO, 2019. Guía metodológica de evaluación de impacto ambiental en Red Natura 2000 Criterios utilizados por la Subdirección General de Biodiversidad y Medio Natural para la determinación del perjuicio a la integridad de Espacios de la Red Natura 2000 por afección a Hábitats de interés comunitario.
- [8] Resolución de 9 de noviembre de 2022, de la Consejería de Administración Autonómica, Medio Ambiente y Cambio Climático, por la que se formula la declaración ambiental estratégica del Plan de adaptación al Cambio Climático de los puertos autonómicos del Principado de Asturias. (BOPA nº 230 de 30/09/2022).

## **REFLEXIONES SOBRE EL PROCEDIMIENTO, PRÁCTICA Y PERTINENCIA DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL URBANÍSTICA: TÓPICOS Y REALIDADES**

*Diez de Revenga Martínez, E.; Martínez Pedrero, M.; Ruiz Sánchez, M.*

Ambiental, S.L., [emilio.diezderevenga@ambiental-sl.es](mailto:emilio.diezderevenga@ambiental-sl.es), Murcia, España

**Palabras clave:** Planes urbanísticos, Proyectos de urbanización, Evaluación ambiental.

### **Resumen**

En el ámbito autonómico y, sobre todo, municipal, la evaluación ambiental de planes está casi totalmente protagonizada por los distintos instrumentos de ordenación urbanística (planes generales, parciales, especiales, etc.) y sus modificaciones. Tras la modificación de los anexos de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, mediante Real Decreto 445/2023, de 13 de junio, es de esperar que este protagonismo se extienda igualmente –ya sólo en el ámbito municipal- a los proyectos urbanísticos o de obras de urbanización, no sin ciertas resistencias en parte atribuibles a una deficiente comprensión de las decisiones que se adoptan en estos últimos y del alcance ambiental de las mismas.

### **Introducción**

Recientemente, tras 8 años de expediente abierto tras las cartas de emplazamiento en 2015 y 2017, a las que siguió en 2021 el correspondiente Dictamen motivado previo a la demanda ante el Tribunal de Justicia de la Unión Europea, la Comisión Europea ha obligado a España a trasponer correctamente la Directiva 2014/52/UE (1), que entró en vigor el 15 de mayo de 2014, pues consideraba que el legislador español había establecido algunos umbrales no suficientemente justificados en los epígrafes del anexo II de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre (2). Dicha trasposición se ha realizado mediante el Real Decreto 445/2023, de 13 de junio, por el que se modifican los anexos I, II y III de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental (3).

En concreto, en los supuestos del Grupo 7 (Proyectos de infraestructuras) del Anexo II:

- El supuesto a) queda redactado como sigue: “Proyectos de zonas industriales”, eliminando pues el criterio de “urbanización” y cambiando “polígonos industriales” por “zonas industriales”. La redacción es pues ahora exactamente igual a la de la Directiva.
- El supuesto b) queda redactado como sigue: “Proyectos de urbanizaciones, incluida la construcción de centros comerciales y aparcamientos” eliminándose pues el criterio “situados fuera de áreas

urbanizadas” y el umbral de 1 hectárea en superficie antes existentes. La redacción es pues ahora exactamente igual a la de la Directiva.

Por otra parte, el supuesto de la letra k) del Grupo 9 (Otros Proyectos), queda redactado como sigue: “Urbanizaciones turísticas y complejos hoteleros fuera de las zonas urbanas, y construcciones asociadas”, adoptándose también la redacción de la Directiva vigente, ya que en la redacción anterior se refería a “Urbanizaciones de vacaciones” y “suelo urbanizado”.

Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECORD) (4), se consideró que lo más conveniente era suprimir los umbrales en aquellos proyectos respecto de los que no se ha encontrado justificación normativa, sobre todo en las normas sectoriales nacionales, o científico-técnica. Así pues, en gran parte de los supuestos (incluidos los antes mencionados), se ha optado por adecuar el tenor literal de los epígrafes de la norma española a la redacción de la Directiva y, en concreto, se han eliminado aquellos umbrales no justificados por alguna normativa sectorial, que habían sido cuestionados por la carta de emplazamiento. Así, según el MITECORD, se incrementa la garantía de la protección ambiental, al quedar sometidos, algunos proyectos, en todo caso, a una evaluación de impacto ambiental simplificada.

Curiosamente, estas modificaciones (eliminando criterios y/o umbrales) no han afectado al supuesto análogo de EIA ordinaria para proyectos que se desarrollen en Espacios Naturales Protegidos, Red Natura 2000 y Áreas protegidas por instrumentos internacionales, manteniéndose la redacción de la Ley 21/2013, Anexo I, Grupo 9, letra a), número 13: “Proyectos que requieran la urbanización del suelo para polígonos industriales o usos residenciales que ocupen más de 5 ha; Construcción de centros comerciales y aparcamientos, fuera de suelo urbanizable y que en superficie ocupen más de 1 ha; Instalaciones hoteleras en suelo no urbanizable.”

## **Material y Métodos**

Se ha revisado de forma sistemática la documentación disponible sobre el expediente de infracción de la Comisión Europea 2015/2041 y la documentación de la información pública sobre el Proyecto de Real Decreto de modificación de los anexos I, II y III de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, así como la bibliografía disponible en la web de la Comisión Europea.

## **Resultados**

La obligación de someter a EIA todos los proyectos que requieran la urbanización del suelo para polígonos industriales o usos residenciales, sin más criterio ni umbral, no está exenta de polémica en su aplicación. La confusa (cabe pensar que deliberadamente, dada la resistencia a cambiarla) anterior redacción de los supuestos de uso residencial sin duda ha promovido que muchos proyectos no hayan sido evaluados (tampoco muchos industriales, a pesar de la claridad de la anterior redacción), pero la nueva redacción puede sorprender al someter este tipo de proyectos, en todo caso, a una evaluación de impacto ambiental simplificada.

Desde el punto de vista jurídico, no hay ninguna duda de que plan y proyecto poseen características muy distintas, comenzando por que unos no son materialmente ejecutables, y los segundos, si, disponiendo las normas europeas un esquema de evaluación propio para cada categoría de decisiones. Como siempre sucede cuando la especie humana se resiste a actuar en contra de sus deseos, se ha acudido en ocasiones al socorrido argumento de que haya proyectos (como, por ejemplo, las autovías) que se evalúen como proyectos en una fase informativa sobre el trazado, pero no el proyecto constructivo propiamente dicho. Esto es en parte cierto, y tienen por tanto razón quienes lo argumentan, pero en el sentido contrario al que defienden. Por otro lado, esta controversia tampoco es exclusiva de la gran obra pública (sucede también por ejemplo en las plantas fotovoltaicas, para las cuales sus normas sectoriales distinguen entre la autorización administrativa previa con un proyecto básico, y la autorización de construcción, con un proyecto ejecutivo). Cabe rematar esta cuestión señalando que, en muchas ocasiones, los evaluadores públicos exigen con razón que los anteproyectos informativos o proyectos básicos sean completados, a efectos ambientales, con aquellos aspectos concretos de la ejecución de la obra (por ejemplo, los movimientos de tierras) necesarios para una correcta evaluación en este ámbito.

En primer lugar, hay que desmentir tajantemente que en la redacción dada por el Real Decreto 445/2023, de 13 de junio, haya ningún error de traducción, ya que precisamente se ha optado por parte del MITECORD a transcribir literalmente la dicción de la Directiva en su versión en castellano, que es la versión oficial aplicable en este Reino. Si lo que se pretende es que la Directiva en castellano es una versión de otros idiomas, hay que decir que el español es lengua oficial de la Unión Europea, de modo que los actos jurídicos están disponibles en todas las lenguas oficiales de la UE: no hay nada que traducir.

En segundo lugar, se ha planteado la idea de que en España sea suficiente la evaluación ambiental (estratégica) de los planes urbanísticos de desarrollo (Planes parciales, Planes especiales, etc.), dado que estos ya califican pormenorizadamente el uso del suelo, y diseñan con todo detalle el esquema de ciudad (calles, equipamientos, zonas verdes, etc.). Esta tesis defiende que la EIA de los proyectos de urbanización es una mera repetición, sin utilidad alguna, de la EAE del plan que le precede (lógicamente, en el caso de que se haya realizado la evaluación del plan previo). Otra tesis defiende que, en realidad, los planes de desarrollo urbanístico en España (planes parciales, especiales, etc.) son, por sus características, auténticos proyectos, por lo que son dichos planes (y no los proyectos de urbanización) los que sólo deberían ser sometidos a EIA (esta tesis, que tuvo cierto predicamento en las leyes de algunas comunidades, como Asturias y Murcia, ha fracasado ante la evidencia de la muy distinta naturaleza jurídica de unos y otros, así como una jurisprudencia aclaratoria en este sentido, en cuanto a la diferencia entre la EAE y la EIA).

Pues bien, no podemos estar más en desacuerdo, por varios motivos. Para empezar, el régimen jurídico de las Directivas no deja lugar a dudas de que no sólo la evaluación estratégica no excluye la evaluación de impacto, sino que es la evaluación de impacto la que desencadena la evaluación estratégica, es decir, justo al contrario de la percepción general sobre el asunto (Tribunales incluidos), por más que la EAE preceda en el tiempo a la EIA. Afirmar que un proyecto no sea evaluado por que ya lo ha sido con resultado “favorable” el plan que proporciona su marco es ignorar totalmente el sistema legal europeo y su lógica.

En nuestra opinión, existen dos motivos para esta confusión: una deficiente comprensión del alcance y contenido de la evaluación estratégica urbanística, y un deficiente conocimiento de las decisiones que adoptan en España los planes y proyectos urbanísticos.

En cuanto a la evaluación de los planes urbanísticos, aún es muy frecuente encontrar evaluaciones que ignoran la trascendencia ambiental de la calificación pormenorizada del suelo (la principal decisión de estos planes), desde el punto de vista por ejemplo de los impactos acústicos según la sensibilidad del uso del suelo (no es lo mismo un uso deportivo que una zona verde estancial o un equipamiento escolar), o bien según la distribución de los volúmenes de edificación. Así, con frecuencia, la evaluación se centra exclusivamente en valorar la posible pérdida de los valores naturales del medio, olvidando por tanto el marco que la ordenación urbanística establece, es decir, las decisiones que adopta. Si en una EAE las acciones que se valoran son por ejemplo la producción de polvo por las obras de urbanización, es que no se ha entendido cual es la verdadera finalidad de la evaluación del plan urbanístico.

En cuanto a las decisiones que adoptan los proyectos urbanísticos, en absoluto carecen de trascendencia ambiental, ya que por mucho que las obras de urbanización estén constreñidas en su localización por la ordenación previamente adoptada, poseen un margen muy amplio para la toma de decisiones (es verdad que muy novedosa en nuestro país, quizás de ahí la incompreensión) en cuanto a: uso de materiales sostenibles, tipo de drenajes urbanos, redes de saneamiento y depuración, adaptación y mitigación del cambio climático (incluyendo el cálculo de la huella de carbono de las obras de urbanización), la iluminación, etc. En el caso, no infrecuente, de que el ámbito de las obras requiera conexiones o servicios externos (que no forman parte propiamente de la ordenación urbanística evaluada en su caso en la fase estratégica), es necesario valorar la repercusión del trazado del suministro eléctrico, los sistemas de depuración y las características en su caso del vertido, etc.

Se ha argumentado también para rebatir la necesidad de la EIA de las obras de urbanización que éstas, por su propia naturaleza, carezcan de alternativas, sin embargo, esto tampoco es cierto, no debiendo confundirse que en España haya desgraciadamente poca experiencia de planteamientos alternativos de obras de urbanización, por ejemplo, en cuanto a distintos sistemas o esquemas para el drenaje urbano sostenible. Claro que hay maneras distintas de diseñar y ejecutar una obra de urbanización; cosa distinta es que en España aún no haya una cultura técnica desarrollada a este respecto, siendo en este sentido comprensibles las resistencias pues las innovaciones siempre son costosas tanto en términos económicos como de esfuerzo intelectual por parte de los agentes concernidos.

Finalmente, no debemos olvidar que la Unión Europea es un mercado único en el cual la Comisión garantiza que no existan Estados que apliquen las normas ambientales de forma menos estricta que el común denominador establecido en las Directivas. En este sentido, el derecho blando (“soft law”) de la Unión Europea considera (5) que, en efecto, los proyectos urbanos constituyen un área donde los solapamientos potenciales entre las Directivas EIA y EAE pueden ocurrir con más frecuencia que en otras áreas (no es una polémica pues exclusiva de nuestro país), recomendando por ello estudiar la aplicación de procedimientos conjuntos para ambos tipos de evaluación (que ya existen en algunas comunidades autónomas), pero advirtiendo expresamente que “para cumplir con la ley, los Estados

miembros deben asegurarse de responder los requisitos de ambas directivas cuando ambas sean aplicables”.

### **Discusión y conclusiones**

El sistema urbanístico español no tiene excusa para evaluar sistemáticamente tanto los planes (lo cual ya se cumple) como los proyectos urbanísticos, tanto industriales, como residenciales y comerciales, ciudades de vacaciones o “resorts” y equipamientos, con independencia de la clase, categoría y calificación del suelo, ya sea urbano (como advierte reiterada jurisprudencia europea), urbanizable o no urbanizable.

Valga como ejemplo de todo ello la reciente sentencia C-575/21 del TJUE (6), señalando que la Directiva 2011/92/UE se opone a una normativa nacional que supedita la realización de una evaluación ambiental de algunos «proyectos de urbanización» que superen determinados umbrales de superficie ocupada, ya que “incluso un proyecto de dimensión reducida puede tener efectos significativos en el medio ambiente”. En este caso, la normativa nacional supeditaba la realización de una evaluación de impacto ambiental de «proyectos de urbanizaciones», por una parte, a que se superen los umbrales de superficie ocupada de al menos 15 hectáreas y de superficie construida bruta superior a 150 000 m<sup>2</sup> y, por otra parte, a que se trate de un proyecto de desarrollo para la construcción de un conjunto multifuncional que comprenda al menos edificios de viviendas y oficinas, que incluya las calles y las instalaciones de suministro al efecto y que disponga de una zona de influencia que trascienda de la zona que cubre. Esta sentencia fue suscitada por un proyecto en el centro histórico de Viena, consistente en la demolición de un hotel y la construcción en la zona de varios edificios para usos hoteleros, comerciales, viviendas y de oficinas, en una superficie de tan sólo 1,55 hectáreas. En definitiva, la evaluación de impacto ambiental de estos proyectos de urbanización y construcción no puede depender solo de su tamaño (7). Saquemos conclusiones.

### Referencias / Bibliografía:

- (1) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:02011L0092-20140515>
- (2) <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-12913>
- (3) <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2023-14047>
- (4) MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. Memoria de Análisis de Impacto Normativo del Proyecto de Real Decreto por el que se modifican los Anexos I y II de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. [https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacion-ambiental/mainprdmofifley21\\_2013\\_tcm30-531323.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacion-ambiental/mainprdmofifley21_2013_tcm30-531323.pdf)
- (5) Commission européenne, Direction générale de l'environnement, Interprétation des définitions des catégories de projets énumérées aux annexes I et II de la directive EIE, Publications Office, 2015, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/41388>
- (6) SENTENCIA DEL TRIBUNAL DE JUSTICIA (Sala Segunda) de 25 de mayo de 2023. Asunto C-575/21. <https://curia.europa.eu/juris/document/document.jsf?jsessionid=B908F976838B6CEF4264DC8260C84204?text=&docid=274102&pageIndex=0&doclang=ES&mode=lst&dir=&occ=first&part=1&cid=88462>
- (7) <https://spanish.vlexblog.com/el-tjue-senala-que-la-evaluacion-de-impacto-ambiental-de-proyectos-de-urbanizacion-no-puede-depender-solo-de-su-tamano/>

## **EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN POR LLUVIAS TORRENCIALES EN LA CIUDAD DE CALATAYUD (ZARAGOZA)**

*Revuelto Gimeno, C.<sup>1</sup>; Pueyo Anchuela, Ó.<sup>2</sup>; López Julián, P.L.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Geoscan Consultoría SLP, [creuelto@geoscan.es](mailto:creuelto@geoscan.es), Zaragoza. <sup>2</sup>Grupo Beagle. Instituto Universitario en Ciencias Ambientales de Aragón ([opueyo@unizar.es](mailto:opueyo@unizar.es); IUCA-Unizar; Zaragoza). <sup>3</sup> Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia-Unizar ([pllopez@unizar.es](mailto:pllopez@unizar.es); Zaragoza)

**Palabras clave:** Inundabilidad; Flujo superficial; Lluvias torrenciales; Peligrosidad; IBER.

### **Resumen**

La problemática de las inundaciones en el casco urbano de Calatayud ha sido objeto de distintas actuaciones para minimizar los impactos de lluvias torrenciales. Desde inicios del siglo XX, se han construido varios túneles que desaguan las aguas procedentes de la Sierra de Armantes y que desvían los flujos fuera del casco urbano. En mayo de 2022 se produjo una nueva inundación que afectó al casco urbano sin intervención de las aguas procedentes de la sierra próxima que habían sido desviadas. Se realiza en esta comunicación un análisis de inundabilidad para dos situaciones diferenciadas: considerando la contribución de dichos barrancos y, de forma alternativa, teniendo en cuenta únicamente el agua precipitada en el propio casco urbano. Los resultados se comparan con las zonas inundadas durante dicha tormenta y las afecciones producidas dentro del casco urbano de la localidad.

### **Introducción**

La evaluación de la peligrosidad, y el riesgo, por inundación es habitual tanto en los planes de ordenación urbana como también en los estudios de evaluación de impacto ambiental. Este análisis se realiza para la búsqueda de alternativas, acomodación de las infraestructuras para reducir la vulnerabilidad, o bien para la construcción de nuevas que permitan reducir la exposición y la vulnerabilidad.

El uso de modelos matemáticos, a partir del análisis histórico de caudales y de la topografía de un determinado contexto, permite establecer las zonas afectadas por las inundaciones, su calado, como también los periodos de retorno.

En el caso de contextos donde se han desarrollado construcciones y modificaciones históricas la predicción del comportamiento entre las lluvias, escorrentía e inundaciones se complica. En estos contextos, el objetivo no es evaluar la peligrosidad, sino en caracterizar el fenómeno para la búsqueda de soluciones que permitan articular una disminución del riesgo.

En este trabajo se analiza el caso del casco urbano de la ciudad de Calatayud (Zaragoza). El emplazamiento de la ciudad, de origen romano, ha ido progresando y ampliando su extensión hacia la vega del río Jalón y al pie de los escarpes de la Sierra de Armantes (altura máxima de 973 m s.n.m); localizados al N de la localidad. La Sierra de Armantes representa un escarpe topográfico neto que representa una diferencia de altura de unos 400 metros y que se desarrolla sobre materiales evaporíticos de la cuenca Neógena de Calatayud (arcillas, margas y yesos, con escaso desarrollo de suelos de tipo aridisol y una vegetación general de tipo estepario).

La ciudad de Calatayud se enclava sobre un abanico aluvial que se interdigita y superpone a la llanura de inundación del río Jalón. El abanico se desarrolla en la confluencia de varios barrancos (Pozas, Soria, Moros y Bartolina) que coalescen en el límite norte de la ciudad, y cuyo desagüe entra en el propio casco urbano. La ciudad se acomoda a los antiguos cauces intermitentes y algunas calles, por ejemplo, de la Rúa representan un trazado desde el inicio del abanico, con una pendiente y alcance del río Jalón al S de la localidad; o en el límite occidental de la ciudad, extramuros de la antigua muralla, ronda del Puente Seco.

Los problemas de inundaciones del casco urbano, asociados a lluvias torrenciales, en las que hay una muy baja infiltración en las cabeceras de los barrancos, y escaso desarrollo vegetativo, producen un bajo tiempo de respuesta. La ciudad de Calatayud tiene unas precipitaciones medias anuales entre los 300 y 350 mm anuales. En algunos casos, se producen lluvias asociadas a tormentas que pueden presentar precipitaciones de hasta 15 litros por metro cuadrado en menos de 15 minutos, que producen la aparición de agua dentro del casco urbano en tiempos muy limitados de tiempo respecto al momento de estas lluvias de elevada intensidad.

Como curiosidad histórica, una de las primeras actuaciones desarrolladas por lo que sería posteriormente la Confederación Hidrográfica del Ebro, fue la construcción de una obra subterránea de derivación de las aguas del barranco de Soria, para que a través de un túnel bajo la montaña, el agua procedente de uno de los barrancos terminara desaguando fuera de la ciudad. Una placa conmemorativa de 1928 en el casco urbano reza: “Don Rafael Benjumea y Burín ingeniero de caminos, conde de Guadalhorce, siendo ministro de fomento creó la Confederación Hidrográfica del Ebro, libró de un peligro constante a Calatayud desviando el barranco de Soria”.

En los últimos años, se planteó la realización de una nueva obra hidráulica para derivar las aguas del barranco de Las Pozas. Una infraestructura capaz de derivar 90 m<sup>3</sup>/s y que se desarrolló a través de un túnel subterráneo bajo la montaña para derivar las aguas, en este caso, al Jalón en un punto aguas arriba de la ciudad de Calatayud.

En 2022 con motivo de una charla que se iba a desarrollar en Calatayud (<https://www.youtube.com/watch?v=XGyAchJjV0A>) se realizaron varios modelos que evaluaban tanto las afecciones que pudieran producirse por las inundaciones torrenciales, como también la eficiencia de las infraestructuras construidas. Unos días antes de dicha charla, se produjeron lluvias que afectaron al casco urbano y que sirvieron como comprobación de los resultados obtenidos de la modelización matemática realizada (tormenta del 26 de abril de 2022).

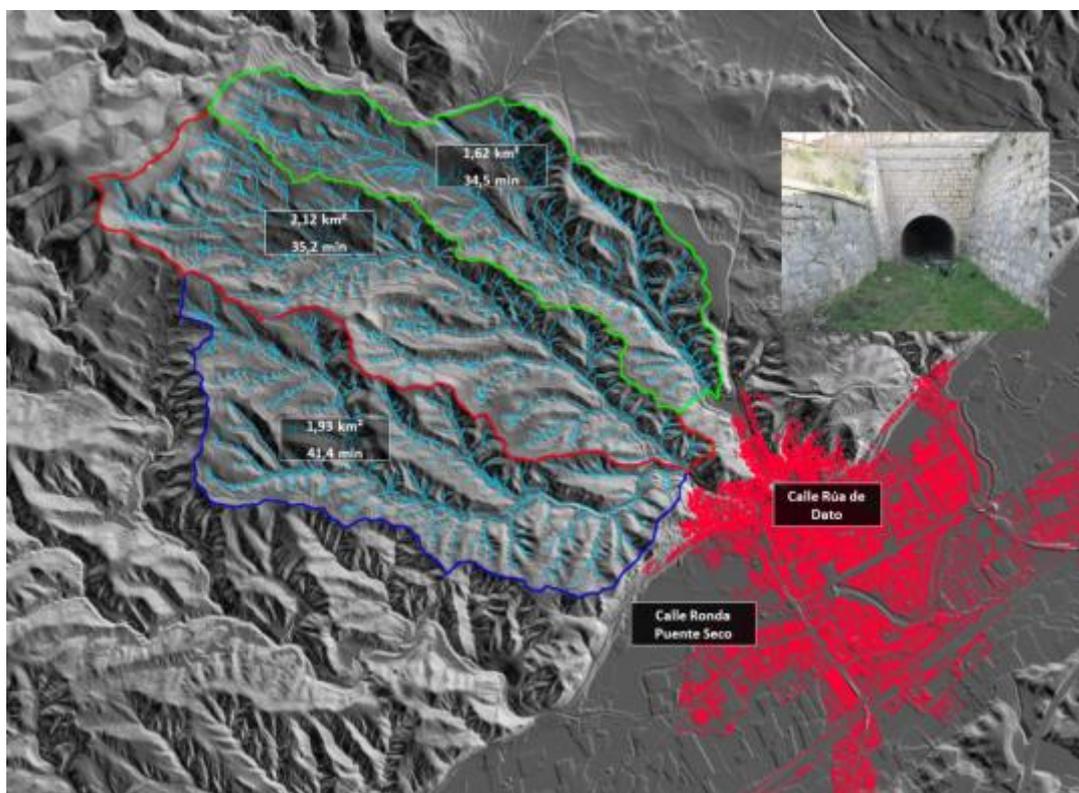


Figura 1. Modelo topográfico de la zona de estudio, donde se recoge tanto la extensión de las zonas de recarga de los barrancos y el casco urbano de la localidad de Calatayud. Se incluye una pequeña fotografía de uno de los túneles subterráneos que derivan las aguas del barranco de Soria antes de la entrada al casco urbano. Se incluye referencia a las dos vías naturales, hoy dentro del casco urbano, de las aguas derivadas de los distintos barrancos.

## Material y Métodos

Para el análisis se ha partido de un modelo topográfico (a partir de un modelo digital del terreno IGN (PNOA\_MDT05\_ETRS89\_HU30\_0409\_LID) de 5 m de resolución con el que se generó una malla de cálculo de más de 330.000 triángulos) de 5 m de lado. Las simulaciones se han realizado mediante el programa IBER [1] (herramienta de modelización matemática desarrollada por el CEDEX, Ministerio de Fomento, que mediante la aplicación del Método de Volúmenes Finitos, resuelve las ecuaciones de Saint Venant de flujo superficial en dos dimensiones). Iber incorpora además un modelo hidrológico distribuido acoplado al modelo hidráulico que permite simular las precipitaciones, así como su transformación en escorrentía superficial y el recorrido de ésta. Para la simulación de la transformación de lluvia en escorrentía se ha utilizado el método del Número de Curva [4] del SCS de los Estados Unidos. Las precipitaciones se introdujeron en forma de hietogramas de diseño calculados

mediante el método de los bloques alternados a partir de las curvas IDF de la Instrucción de Drenaje Superficial [5].

Se han realizado tres simulaciones. La primera con las condiciones previas a la construcción de las obras de drenaje, la segunda incluyendo las obras de desvío de los barrancos y la tercera considerando únicamente la lluvia caída sobre el casco urbano. En las dos primeras se ha utilizado un hietograma sintético a partir de la lluvia correspondiente al periodo de retorno de 100 años (T100) con 3 horas de duración, siendo el tiempo de simulación total de 5 horas para cada una de las dos. En la tercera se ha simulado la lluvia acontecida en el año 2022 de acuerdo con los datos que se hicieron públicos en ese momento: intensidad de 150 mm/h en 15 minutos y con una duración total de la simulación de 1,5 horas (precipitación + escorrentía superficial generada).

## Resultados

Los modelos realizados permiten identificar un periodo de permanencia de las aguas en los barrancos limitada, con una rápida escorrentía y escasa reducción por infiltración. Los mayores calados se producen en zonas que presentan depresiones topográficas internas y donde los calados pueden alcanzar alturas de entre 1.5 y 2 metros (Figura 2). El modelo realizado considerando los drenajes de los barrancos localizados en la parte septentrional de la localidad permite identificar una reducción drástica del calado de las aguas dentro del casco urbano, alcanzando cotas máximas de entre 0.40 a 0.62 m. El análisis comparado entre los modelos sin obras de drenaje (Figura 2) y con obras de drenaje (Figura 3) permite identificar una coincidencia general entre las zonas afectadas con mayores calados y que se relacionan con las zonas de acumulación de aguas en contextos de menor cota topográfica interna dentro del casco urbano.

En algunos casos se puede identificar como no existe un desagüe directo de las aguas de escorrentía al Jalón de manera directa. La construcción de motas (contexto sobreelevado de la carretera que circula con orientación SW-NE por el centro de la localidad pone de manifiesto ese impedimento de drenaje directo que se ha paliado parcialmente a partir de la construcción de grandes desagües que atraviesan por debajo de dicha carretera y permite el desagüe directo al Jalón (por ejemplo en el sector Plaza del Fuerte; ver figura 5A). Estos resultados plantean la situación de que incluso con drenajes de los barrancos septentrionales sigue desarrollándose una inundación del interior del casco urbano que implicaría, a partir de las condiciones del modelo, que las propias precipitaciones sobre el caso urbano, ocasionan zonas de acumulación e inundación dentro del casco urbano focalizado en sectores de concentración (baja cota topográfica) como de ausencia de desagüe de las mismas hacia el río Jalón.

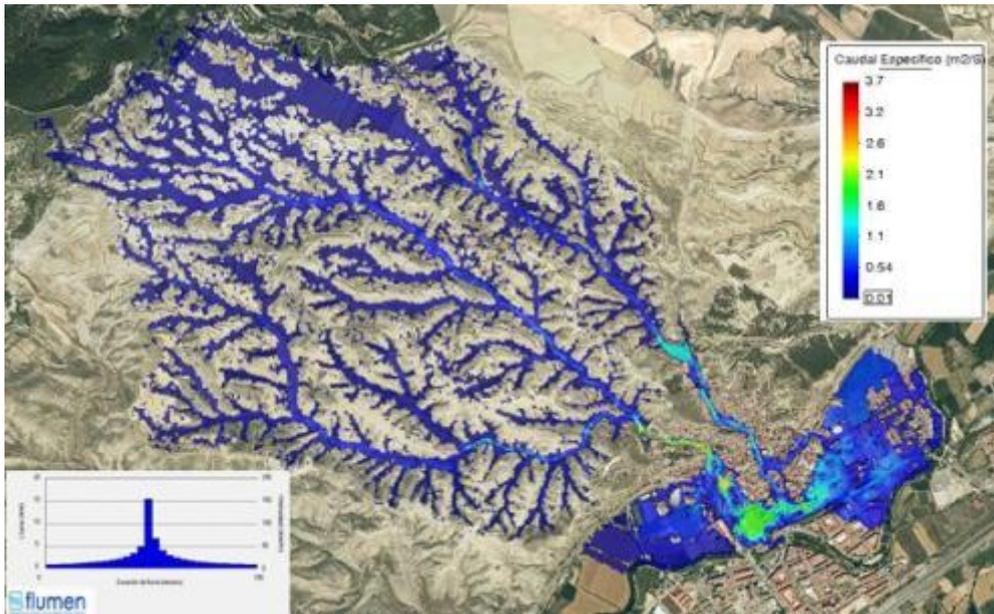


Figura 2. Simulación de inundación 1. Régimen natural sin obras de drenaje).

El tercero de los modelos realizados modeliza la tormenta de 2022, en la que no se evalúan las obras de drenaje como tal, sino que se excluyen directamente las aguas cuya precipitación se produce fuera del casco urbano. Este modelo (Figura 4) plantea una coincidencia de nuevo de las mismas zonas de inundación (con rango entre los 0.33 y 0.54 de media) y coincidente con los mismos sectores que aparecían en los modelos pre-drenajes y post-drenajes.

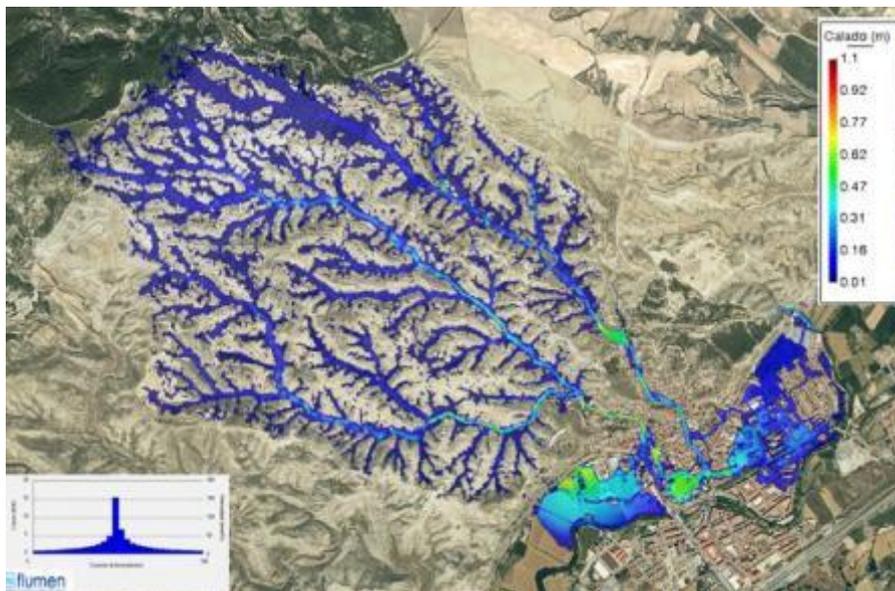


Figura 3. Simulación de inundación 2. Incorporando las obras de drenaje existentes.

La comparación de las fotografías de la inundación de 2022 con los modelos permite comprobar el rango de inundabilidad tanto en zonas como en calados para poder contrastar el modelo realizado y

su significado. Las zonas afectadas como los calados observados (Figura 5) permiten comparar los calados desarrollados en el entorno de la Puerta de Terror (modelo 0.54-0.64; inundación 0,70m; avenida de la Policía Nacional (modelo 0.30-0.40, inundación 0.20 m) o la plaza del Fuerte (modelo 0.43-0.54; inundación 0.30 m).

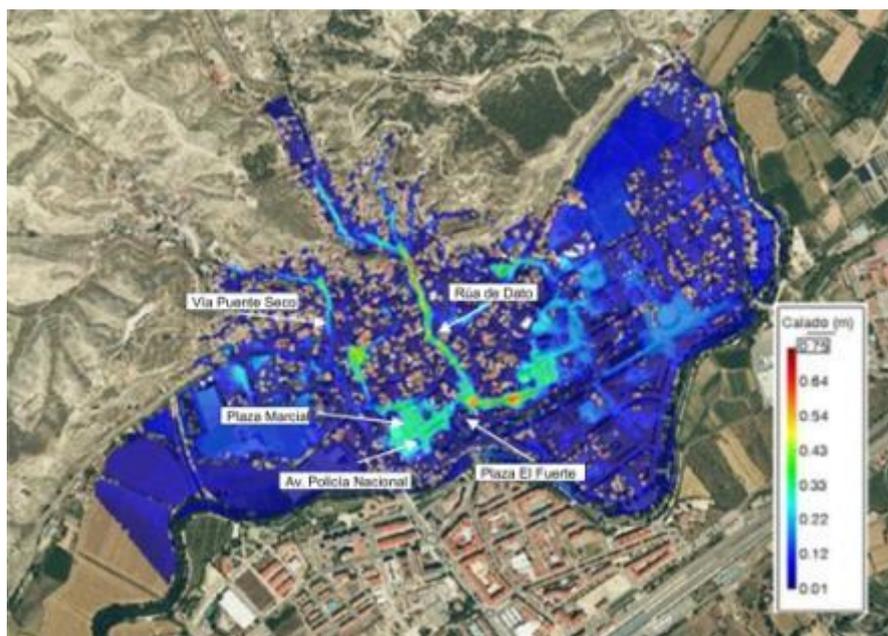


Figura 4. Simulación de inundación 3. Lluvia de 150 mm/h en 15 minutos. Duración de la simulación 1.5 horas. Inundación asociada a las propias precipitaciones sobre el casco urbano (drenaje completo de los barrancos fuera del casco urbano).



Figura 5. Fotografías de las inundaciones de 2022. A Plaza del Fuerte, B Avenida Policía Nacional, C. Parte posterior de la Puerta de Terror.

## **Discusión y Conclusiones**

Las inundaciones torrenciales en la ciudad de Calatayud están relacionadas con eventos de lluvias de elevada intensidad, con un periodo de retardo muy limitado asociado a la baja infiltración del terreno y la rápida escorrentía superficial que afecta al casco urbano. También influye el desarrollo urbano sobre un abanico aluvial que presenta la coalescencia de varios barrancos con un área de recarga conjunta de 5,67 km<sup>2</sup> y un tiempo de concentración de entre 34 y 41 minutos.

Las obras hidráulicas de derivación existentes en los cauces que confluyen en la población muestran en las simulaciones la reducción de las afecciones que se desarrollan en el caso urbano respecto a la situación previa a su construcción. Considerando un modelo topográfico general y sin considerar la topografía detallada dentro del casco urbano, se han obtenido resultados comparables tanto en las zonas afectadas como en los calados comprobados en la inundación del año 2022. Esta comparación de los modelos y las zonas afectadas pone de manifiesto que el alcantarillado y la red de drenaje no son capaces de evacuar las aguas durante las lluvias, pudiendo provocar incluso que algunos sectores de la propia red de pluviales entren en carga, agravando el calado de esas zonas posteriormente a la finalización de las lluvias.

Este aspecto puede analizarse también a partir de la simulación de las aguas de precipitación desarrolladas en el propio casco urbano, en las que la exclusión completa de los aportes de los barrancos localizados al N de la localidad configura las mismas consecuencias de zonas afectadas y de calados. La comprobación sobre el terreno no pudo realizarse de manera continua, por lo que se tienen datos de tendencia general de los calados desarrollados durante las lluvias. Sin embargo, presentan una buena coincidencia tanto espacial como de calados, con diferencias en los sectores con obras de desagüe específicas al río Jalón (no incluidas en la simulación) como se da en el caso de la Plaza del Fuerte de la localidad.

Los resultados obtenidos se pueden complementar con un registro histórico de inundaciones, el empleo de un modelo topográfico más detallado y en el que se pueda incorporar la red de drenaje y alcantarillado (las nuevas versiones de IBER ya lo permiten) para evaluar retornos y la eficiencia de dichas infraestructuras. Sin embargo, pone de manifiesto que la exclusión del acceso de las aguas procedentes de la Sierra de Armantes en el casco urbano, no solventa la problemática. Estas actuaciones reducen el calado, pero ponen de manifiesto la persistencia de un problema de alcantarillado y drenaje interno que, ante la exclusión completa de las aguas, persiste y que fue constatado durante las lluvias analizadas del 26 de abril de 2022.

La definición de la problemática y de la situación descrita, considerando tanto las precipitaciones en las áreas de cabecera como en el propio casco urbano, suponen un problema que no puede acometerse únicamente a partir de desviar la entrada de las aguas en el casco urbano. En este contexto se pone de manifiesto la necesidad de reconsiderar la distribución, capacidad y entradas a la red de alcantarillado. En este sentido, se plantea como continuidad de los trabajos un análisis detallado de la topografía que permita desarrollar modelos precisos que incorporen tanto la distribución urbana como del mobiliario, el análisis del dimensionamiento de la red de drenaje

considerando su capacidad y las entradas al mismo, y plantear un rediseño de la red a partir de los resultados que se obtengan de los análisis propuestos.

### Referencias /Bibliografía

- [1] Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., Coll, A., (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, Volume 30, Issue 1, 2014, Pages 1-10,
- [2] Bladé, E., Sanz-Ramos, M., Amengual, A., Romero, R., Roux, H., Savatier, J., Cherriere, M., 2018. Gestión integrada del riesgo de inundación y de los recursos hídricos empleando modelización integrada meteorológica, hidrológica e hidráulica. In proceedings of XI Jornadas Españolas de Presas, June 26-29, León, Spain.
- [3] Cea, L., Bladé, E., (2015). A simple and efficient unstructured finite volume scheme for solving the shallow water equations in overland flow applications. Water Resources Research, 51, 5464-5486.
- [4] McCuen, R.H. (1982). A Guide to Hvdrologic Analysis using SCS Methods. Prentice-Hall. 110 pp
- [5] Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras.
- [6] Pueyo Anchuela, Ó., Revuelto Gimeno, C., (2022) Geología activa de Calatayud. Conociendo los procesos naturales para comprenderlos. <https://www.youtube.com/watch?v=XGyAchJjV0A>.
- [7] Pueyo, Ó., López, P.L., Revuelto, C., Gracia, J., Ramajo, J., Martín, J., Sanz, E., Pocoví, A., Simón, L.J. (2022) Calatayud: del fondo del lago a la vega del Jalón. Geolodía Zaragoza 2022. Colección Geolodia 22. 8 páginas.  
[https://sge.usal.es/archivos\\_pdf/geolodia22/guias\\_geolodia22/gdia22guia\\_zaragoza.pdf](https://sge.usal.es/archivos_pdf/geolodia22/guias_geolodia22/gdia22guia_zaragoza.pdf).

## **ZONAS DE ACCELERACIÓN PARA PROYECTOS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA A PARTIR DE MAPAS DE CAPACIDAD DE ACOGIDA EN EXTREMADURA**

*Sánchez García, A. (1); Pajares, J.M. (3); Baazaoui, W. (3); García, M.S. (1); Abad, J.M. (3); Granado, E. (3); Cano Montés, E. (3); Palomero, J. (3); Cortazar, G. (3); Martínez, C. (3); Crespo Carretero, F. (2); Fernández López, E. (2); García, M. (2); Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental (4).*

- 1.- Dirección General de Sostenibilidad. Junta de Extremadura. [angel.sanchezga@juntaex.es](mailto:angel.sanchezga@juntaex.es), Mérida, España.
- 2.- Red Eléctrica de España. [fcrespo@ree.es](mailto:fcrespo@ree.es), Madrid, España
- 3.- Medio Natural. GPEX. [Jose.abad@gpex.es](mailto:Jose.abad@gpex.es), Mérida, España.
- 4.- Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental. [info@eia.es](mailto:info@eia.es); [www.eia.es](http://www.eia.es), Madrid, España

**Palabras clave:** Zonas de aceleración; Renovables; Fotovoltaica; Capacidad de acogida.

### **Resumen**

En el presente trabajo se presenta una propuesta metodológica para conocer si, a partir de los mapas de capacidad de acogida a la energía solar fotovoltaica disponible en Extremadura, pueden establecerse zonas de aceleración de renovables, tal y como establece la Directiva 2023/2413 de la UE, en colaboración con dos instituciones relacionadas con la transición energética, contando con los datos sobre biodiversidad y los criterios técnicos de acogida de la JUNTA DE EXTREMADURA y las herramientas digitales de geo-análisis de RED ELÉCTRICA.

En primer lugar, para la elaboración del Mapa de Capacidad de Acogida a la energía solar fotovoltaica, se utiliza como base la información ambiental sobre biodiversidad. Así, se utilizan las áreas críticas de uso, obtenidas por radioseguimiento, para varias especies amenazadas como sisón, avutarda, ganga ortega, ganga ibérica, alcaraván, grandes rapaces, cigüeña negra, etc. Además, se emplean ocho variables ambientales que fueron evaluadas a criterio experto, de forma diferente en cada caso, con sus correspondientes valores georreferenciados y ponderados para obtener valores homogéneos y comparables.

Los mapas obtenidos son de uso orientativo y cada proyecto debe someterse a Evaluación de Impacto Ambiental caso a caso, previa obtención de datos de uso del espacio por las especies afectadas.

Con posterioridad se procede a aplicar los criterios establecidos en la Directiva 2023/2413, de aceleración de las renovables, en cuanto a los criterios para calcular las zonas de aceleración, con objeto de conocer si es posible utilizar los objetivos de la Unión Europea de poder establecer zonas

de aceleración de renovables. El resultado fue que, para la energía solar fotovoltaica, en las zonas con muy alta y alta capacidad de acogida en los mapas y con las adecuadas normas de construcción y explotación, podrían establecerse zonas de aceleración de renovables en una superficie de más de 225.000 ha, que supone el 5% de la región, todo ello en un contexto de distancia inferior a 25 km de los nudos de evacuación con capacidad de acogida a energías renovables.

## Introducción

La Unión Europea tiene objetivos muy ambiciosos en el proceso de neutralidad climática, lo cual requiere una transición energética justa que no deje atrás a ningún territorio, ni a ningún ciudadano, un aumento de la eficiencia energética, y una proporción significativamente mayor de energías renovables (Pacto Verde Europeo).

La energía renovable desempeña un papel fundamental en la consecución de estos objetivos, dado que el sector de la energía es responsable actualmente de más del 75% de las emisiones totales de gases de efectos invernadero.

La excesiva duración de los procedimientos administrativos de concesión de autorizaciones es uno de los principales obstáculos para las inversiones en proyectos de energías renovables y sus infraestructuras de evacuación. Dichos obstáculos incluyen la complejidad de las normas aplicables en relación con la selección de emplazamientos y las autorizaciones administrativas de dichos proyectos, la complejidad y la duración de los procedimientos de evaluación del impacto ambiental y las redes de energía relacionadas, los problemas de conexión a la red, las limitaciones para adaptar las especificaciones tecnológicas durante el procedimiento de concesión de autorizaciones y los problemas relativos al personal de las autoridades que conceden las autorizaciones o de los operadores de red. A fin de acelerar el ritmo de despliegue de dichos proyectos, es necesario adoptar normas que simplifiquen y acorten los procedimientos de concesión de autorizaciones, teniendo en cuenta la amplia aceptación pública del despliegue de energías renovables.

Por todo ello, la Unión Europea ha tomado importantes medidas legislativas para potenciar el desarrollo de las energías renovables, en resumen, son: el **Reglamento (UE) 2024/223 del Consejo**, emitido el **22 de diciembre de 2023**, que modifica el **Reglamento (UE) 2022/2577** para establecer un marco que acelere el despliegue de energías renovables, cuyo objetivo es mitigar los efectos de la crisis energética y reforzar la seguridad del suministro de la Unión, introduciendo medidas específicas para agilizar los procedimientos de concesión de autorizaciones aplicables a tecnologías y proyectos específicos de energías renovables con alto potencial de despliegue rápido; y la **Directiva (UE) 2023/2413**, que modifica la **Directiva (UE) 2018/2001** y también contribuye al despliegue de energías renovables. Aunque algunas medidas del **Reglamento (UE) 2022/2577** se incorporaron a esta Directiva, no reflejaba todas las medidas excepcionales del reglamento anterior. La Directiva (UE)

2023/2413 establece un régimen permanente y a largo plazo para acelerar los procedimientos de concesión de autorizaciones, con plazos de aplicación más extensos.

En resumen, la UE está comprometida con el aumento de la proporción de energías renovables en su consumo energético total hasta el 42,5% para 2030, con un complemento adicional indicativo del 2,5% para alcanzar el 45%. Los Estados miembros deben considerar la necesidad de desplegar energías renovables de manera acelerada y rentable, de acuerdo con sus planes nacionales integrados de energía y clima. Esto obliga a los Estados miembros de la UE a declarar, antes del 21 de febrero de 2026, Zonas de aceleración renovable, a más tardar el 21 de febrero de 2026, y velarán por que las autoridades competentes adopten uno o varios planes que designen, como subconjunto de las zonas a que se refiere el artículo 15 ter, apartado 1, zonas de aceleración renovable para uno o más tipos de fuentes de energía renovable.

## **Material y métodos**

Extremadura es una región del suroeste de la Península Ibérica muy destacada por los valores de biodiversidad que alberga y, que desde 2018, formó una Unidad de Evaluación Ambiental para la evaluación de los proyectos de energía renovables. En este trabajo, contando con todos los datos sobre biodiversidad de la región, en colaboración de técnicos de análisis de datos georreferenciados a través de Sistemas de Información Geográfica y, partiendo de los Mapas de Capacidad de Acogida (MCA) a la energía solar fotovoltaica [1] y [2], se ha analizado la viabilidad ambiental del desarrollo de las zonas de aceleración de energías renovables establecidas por la Directiva 2413/2023 para las tecnologías eólica y fotovoltaica, teniendo en cuenta que en la región existe una escasa disponibilidad de recurso eólico y una elevada biodiversidad de quirópteros y aves, así como una elevado recurso solar.

La JUNTA DE EXTREMADURA está trabajando en una herramienta que permite identificar las áreas del territorio que presentan mejores condicionantes ambientales para la implantación de estos proyectos, mediante un modelo territorial que agrupa los principales factores ambientales, cuyo resultado ha sido una cartografía en la que se refleja la capacidad de acogida ambiental de proyectos de energías renovables del territorio extremeño.

RED ELÉCTRICA ha colaborado en la ejecución de los análisis geográficos, empleando su herramienta geográfica INGEOIN. Esta herramienta, entre otras cuestiones, permite generar mapas de capacidad de acogida para nuevos proyectos de la Red de Transporte. RED ELÉCTRICA desarrolló esta aplicación y la utiliza en los ámbitos de estudio de sus nuevos proyectos para localizar, en las zonas de mayor capacidad de acogida ambiental del territorio, sus nuevas instalaciones.

Los MCA obtenidos, a pesar de su escala regional, cuentan con una información ambiental de gran precisión y actualización (resultados de censos y seguimientos de especies amenazadas entre 1986 y 2023, así como radioseguimiento de cientos de ejemplares de especies amenazadas) y permiten identificar aquellas zonas de alta y baja capacidad de acogida de nuevos proyectos, tal y como ha sido indicado por los científicos que trabajan con estos grupos de especies amenazadas [3] y [4]. Para

alcanzar los objetivos marcados, se ha analizado no solo la distribución de las especies, sino índices de favorabilidad e idoneidad del hábitat.

Las **fuentes de información utilizadas** para elaborar estos MCA han sido:

- Instituto Geográfico Nacional:
  - Modelo Digital del Terreno.
  - Núcleos de población.
- Banco de Datos de la Naturaleza del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico:
  - Red hidrográfica, Embalses.
  - Espacios protegidos, paisajes protegidos, hábitats de interés comunitario.
- Red Eléctrica:
  - Red de Transporte eléctrico nacional.
- Consejería de Cultura, Turismo, Jóvenes y Deportes:
  - Elementos BIC y yacimientos.
- Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Sostenible:
  - Formaciones forestales amenazadas.
  - Fauna y avifauna crítica:
    - Resultados de los censos y seguimientos de especies amenazadas de Extremadura (Información precisa georreferenciada sobre ubicación de nidos y áreas críticas, así como su problemática) de águila imperial ibérica, águila real [5], águila perdicera [6], milano real, buitre negro [7], buitre leonado, cigüeña negra, avutarda, y sisón.
    - Home-range del 50 % y 95 % obtenido por radioseguimiento de buitre negro, alimoche, águila imperial, águila real, águila perdicera, milano real, sisón, ganga ortega, ganga ibérica, alcaraván, etc.
    - Idoneidad del hábitat para el sisón.
    - Home-range del 50 % y 95 % del lince ibérico en Extremadura.
    - Bibliografía específica: Elkadem, et al., 2024.

Los **factores ambientales incluidos en el geoproceso** para el cálculo del MCA a la energía solar fotovoltaica son los siguientes:

1. Orografía (pendiente del terreno).
2. Hidrología (red hidrográfica).
3. Espacios Naturales Protegidos (todos los rangos de protección incluidos).
4. Vegetación de mayor interés (Formaciones Forestales Amenazadas).
5. Hábitats de interés comunitario (prioritarios y no prioritarios).
6. Fauna crítica (datos más recientes de rapaces, esteparias, necrófagas, lince y quirópteros, especialmente especies amenazadas).
7. Paisajes Protegidos.

8. Distancia a instalaciones de la Red de Transporte (actuales o en la propuesta de planificación 21-26. Cuanto más lejos más impacto en las líneas de evacuación).

Los **factores de exclusión** en el análisis han sido los siguientes:

1. Zonas de regadíos públicos.
2. Embalses, zonas inundables.
3. Núcleos de población (incluido buffer protección de 500m).
4. Patrimonio Cultural: BIC y yacimientos (incluido buffer protección de 200m).

Una vez identificados los factores que intervienen, se realizó un **tratamiento** de dicha información geográfica. Esta labor de tratamiento fue especialmente intensa para aquellos factores continuos (como la orografía) o aquellos en los que la distancia hace que tengan mejor capacidad de acogida (como la avifauna). Para estos factores se marcaron umbrales graduales de distancia para que, a menor distancia de avifauna crítica o patrimonio cultural, tuviera una peor capacidad de acogida y, según la distancia aumente, la capacidad de acogida fuera mayor.

Otros factores no continuos como Espacios Naturales Protegidos, hábitats de interés comunitario, vegetación o hidrología no requirieron este tratamiento, ya que su influencia en la capacidad de acogida de una instalación fotovoltaica es más sencilla de transponer al geoproceso, al depender menos de la distancia.

Una vez tratada espacialmente cada capa geográfica, se pasó a la asignación numérica para cada capa de sus umbrales de capacidad de acogida. Para cada capa geográfica se definió la capacidad de acogida relativa a una planta solar de 0 a 10, siendo 0 indicador de una gran capacidad de acogida del territorio para una instalación fotovoltaica y 10 una muy mala capacidad de acogida.

Para las zonas alrededor de avifauna de interés, se considera que instalar nuevos parques solares fotovoltaicos supone un impacto mucho mayor, por lo que su capacidad de acogida en este punto tiene valor 10. Para las zonas intermedias, el valor de acogida baja exponencialmente en función de la distancia a las zonas de avifauna de interés o de quirópteros.

Zonas de avifauna de interés	Capacidad de acogida
zonas a menos de 1000m	10
zonas entre 1000-1500m	8
zonas entre 1500-2000m	4
zonas entre 2000-2500m	2
zonas a más de 2500m	0

*Tabla 1.- Pesos ponderados para cada factor ambiental, según criterio experto*

En el geoproceso de generación del MCA hay factores ambientales más importantes que otros a la hora de condicionar la ubicación óptima de un parque solar fotovoltaico. Antes de ejecutar el geoproceso, se definieron los pesos ponderados, a criterio experto, entre los distintos factores, tal y como se indica a continuación: Orografía 12%; Hidrología 3%; Espacios Naturales

Protegidos 19%; Vegetación de mayor interés 16%; Hábitats de interés comunitario 13%; Fauna crítica 20%; Paisaje Protegido 6%; Distancia a instalaciones de la Red de Transporte 11%. Se consideran áreas prohibidas: Zonas de regadíos públicos, Embalses, Zonas inundables (T=10años), Núcleos de población (incluido buffer protección de 500m) y Patrimonio Cultural: BIC y yacimientos (incluido buffer protección de 200m).

El geoproceso consiste básicamente en dos pasos:

1. Los 8 factores ambientales indicados anteriormente, con su valor de 0 a 10 de capacidad de acogida relativa, se sumaron geográficamente y de forma ponderada entre los diferentes factores. Este geoproceso de superposición ponderada de rasters supone que, para cada píxel, la herramienta GIS calcula su valor como la suma ponderada de todos los valores de 0 a 10 de capacidad de acogida que se localicen en ese píxel por el peso ponderado del aspecto al que pertenece dicha capa. El geoproceso de superposición ponderada continúa por cada píxel del mapa. A continuación, se muestra un ejemplo de cómo funciona el geoproceso para calcular el valor de MCA.

PIXEL 1	Capacidad de acogida de cada factor para una PE (0-10)		Importancia relativa de cada temática para acoger una nueva PE	Resultado
Pendiente 10-20%	1	X	12%	0,12
vegetación de mayor interés	10	X	16%	1,6
Puntos singulares de avifauna a más de 2500m	4	X	18%	0,72
Zonas a más de 25km de subestaciones	6	X	11%	0,66
<b>Resultado MCA píxel 1</b>				<b>3,1</b>

2. Los factores de exclusión son extraídos del MCA porque se considera que son zonas en las que, por normativa, no se puede instalar un parque solar fotovoltaico.

Factor		Capacidad de acogida de cada factor para una PFS (0-10)
OROGRAFÍA		
Pendiente	pend<10%	0
	pend 10-20%	1
	pend 20-60%	10
	pend>60%	10

<b>HIDROGRAFÍA</b>		
Red hidrográfica		10
Zonas Inundables asociadas a períodos de retorno	ZI frecuente (T=50 años)	10
	ZI media u ocasional (T=100 años)	6
	ZI baja prob (T=500 años)	2
<b>ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS</b>		
intersecta 1 figura ENP		8
superposición de 2 figuras ENP		9
superposición de 3 o más figuras ENP		10
<b>VEGETACIÓN</b>		
vegetación de mayor interés (zonas forestales amenazadas)		10
<b>FAUNA CRÍTICA</b>		
Zonas de alta sensibilidad esteparias (avutarda y sisón)		10
Puntos singulares de avifauna (águila imperial, perdicera, real, milano real y cigüeña negra)	zonas a menos de 1000m	10
	zonas entre 1000-1500m	8
	zonas entre 1500-2000m	4
	zonas entre 2000-2500m	2
	zonas a más de 2500m	0
<b>HÁBITATS</b>		
Hábitats de interés comunitario	HIC prioritario	10
	HIC no prioritario	5
<b>PAISAJE</b>		
Paisajes protegidos	zonas a menos de 500m	10
	zonas entre 500-1000m	8
	zonas entre 1000-1500m	6
	zonas entre 1500-5000m	1
	zonas a más de 5000m	0
<b>DISTANCIA RED DE TRANSPORTE ELÉCTRICO</b>		
Subestaciones actuales y proyectadas	Zonas a menos de 25 km	0
	zonas a más de 25km	8

*Tabla 2.- Valoración de la capacidad de acogida y pesos ponderados para cada factor ambiental, según criterio experto*

Para calibrar y dar por válidos los umbrales de capacidad de acogida de las capas y los pesos relativos de los aspectos, se utilizaron como contraste plantas solares fotovoltaicas evaluadas ambientalmente recientemente (estos territorios han sido estudiados con el más alto grado de detalle y se conoce perfectamente qué zonas tienen mayor o menor capacidad de acogida para la implantación de proyectos fotovoltaicos). Esta información permitió calibrar los valores de todo el geoproceso hasta obtener en esas zonas control el resultado ajustado a lo que la UNIDAD DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

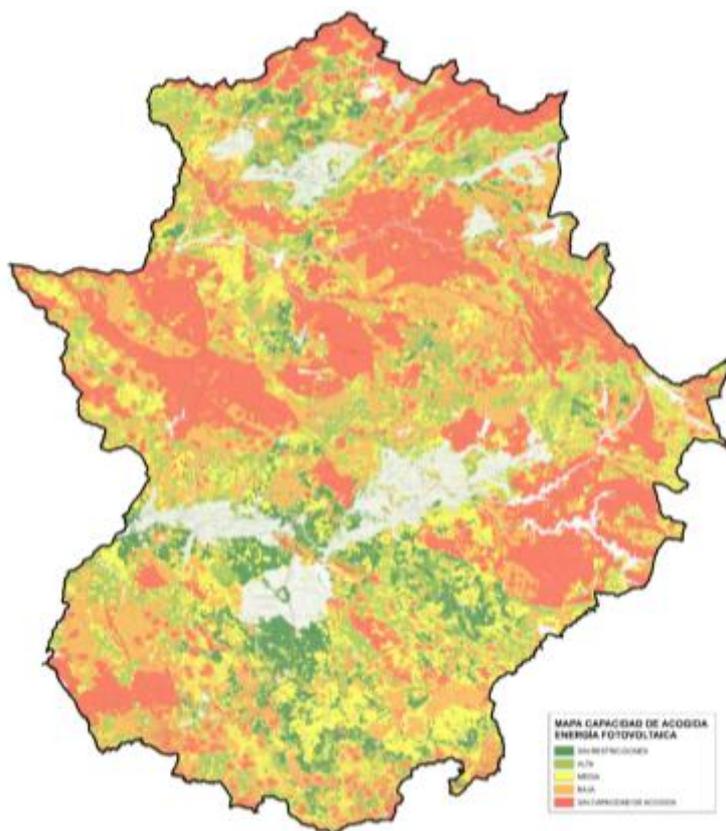
DE ENERGÍAS RENOVABLES de la JUNTA DE EXTREMADURA conocía de dichas zonas de control. Se realizaron hasta 8 interacciones de ajustes con diferentes combinaciones de umbrales de capacidad de acogida y pesos ponderados con objeto de que el resultado final encajara con la capacidad acogida conocida previamente de muchas de las áreas estudiadas en detalle previamente en sus respectivos estudios.

La normalización final de los valores que agrupa todos los valores numéricos de MCA en las 5 categorías de capacidad de acogida (muy alta, alta, media, baja y muy baja) se basa en una normalización de intervalos geométricos (crea intervalos geométricos al minimizar la suma de cuadrados del número de elementos de cada categoría). Se utiliza para variables continuas que tiene un gran recorrido en sus datos, de manera que las clases mayores son cada vez más amplias.

A pesar de todo ello, una serie de científicos [8] y [9], muestran su preocupación por el impacto que el desarrollo de las energías renovables puede ocasionar a la biodiversidad. Para no vulnerar el principio de no regresión ambiental, se han definido las zonas designadas en el marco de los regímenes nacionales de protección de la naturaleza y conservación de la biodiversidad, así como la Red Natura 2000, las principales rutas de migración de aves y los mapas de sensibilidad a la vida silvestre, obtenidos por radioseguimiento, y las áreas modelizadas mediante técnicas de favorabilidad [10] e idoneidad del hábitat [4], no solo para considerar la actual presencia de las especies amenazadas, sino las áreas donde la probabilidad de encontrarlas sea superior a la esperada.

## Resultados

La figura 1 muestra el Mapa de Capacidad de Acogida del territorio de Extremadura a la instalación de plantas solares fotovoltaicas con los criterios utilizados. El gradiente de color a modo de semáforo indica en verde oscuro las zonas sin restricciones ambientales y, por tanto, esos territorios tienen una gran capacidad de acogida para instalaciones fotovoltaicas. Posteriormente, del verde claro se pasa al amarillo y naranja, donde se van concatenando restricciones ambientales en esos territorios y se va reduciendo la capacidad de acogida. Las zonas sin color son las áreas de exclusión antes mencionadas. La superficie de las zonas de exclusión supone el 9% de toda la superficie de Extremadura. En total, cada píxel de 250 x 250 m tiene una valoración en un rango de seis valores: 1.- Muy alta capacidad de acogida (Sin restricciones); 2.- Alta capacidad de acogida; 3.- Media capacidad de acogida; 4.- Baja capacidad de acogida; 5.- Sin capacidad de acogida; 6.- Zonas de exclusión.



*Figura 1.- MCA a la energía solar fotovoltaica en Extremadura*

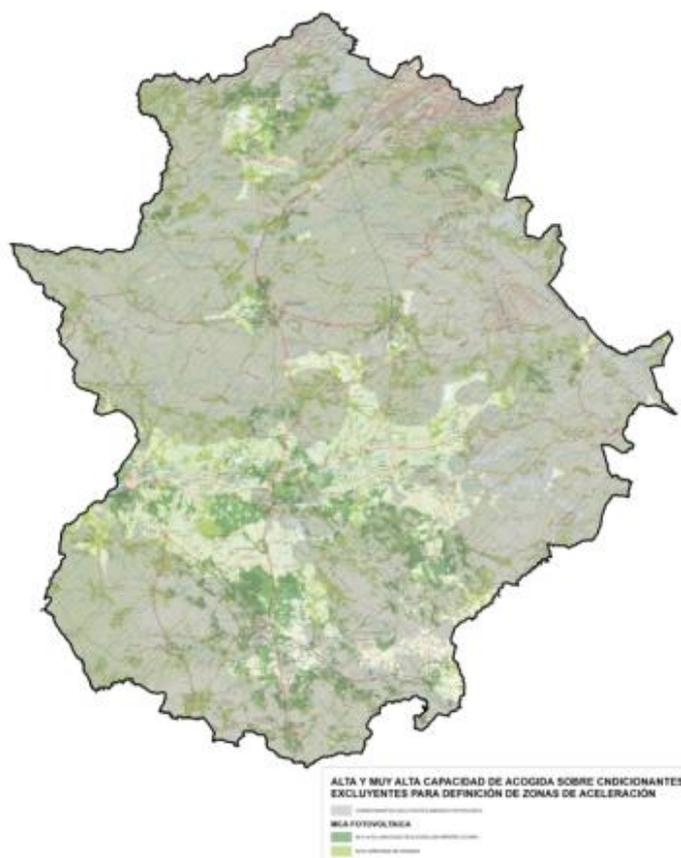
De toda la superficie de Extremadura, el 20% tiene una capacidad de acogida ambiental alta (7%) o muy alta (13%) para acoger este tipo de instalaciones. El 19% de todo el territorio tiene capacidad de acogida media y el 22% una capacidad baja. Las zonas excluidas del análisis (9%), junto con las zonas sin capacidad ambiental (29%) para la acogida de energía solar fotovoltaica, suponen el 38% del territorio.

Se concluye que en Extremadura hay 840.175 ha con una alta o muy alta capacidad de acogida y con un alto recurso fotovoltaico. Esto supone el 20% de todo el territorio de la región.

Tras el análisis geográfico descrito anteriormente hasta obtener el MCA de energía solar fotovoltaica, se han utilizado exclusivamente las zonas de alta o muy alta capacidad de acogida como zonas candidatas a formar parte de las áreas de aceleración para esta tecnología.

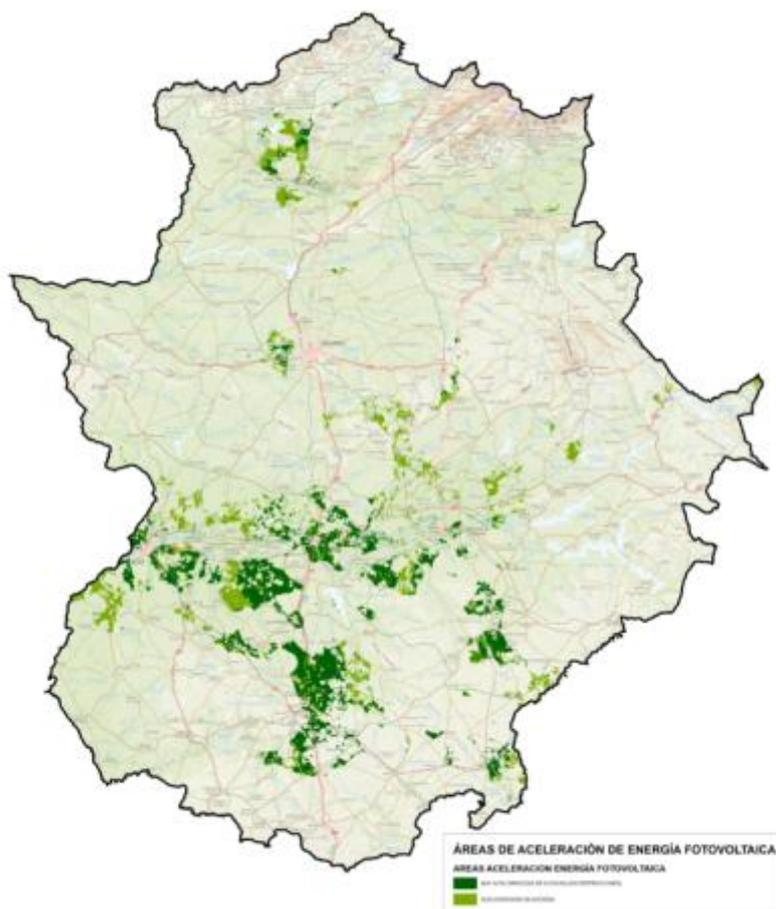
Se ha realizado una exhaustiva recopilación cartográfica de elementos excluyentes para zonas de aceleración y, adicionalmente, se han aplicado los criterios establecidos en la Directiva 2413/2023, donde se ha introducido la exclusión de la Red Natura 2000 y de las zonas designadas en el marco de los regímenes nacionales de protección de la naturaleza y conservación de la biodiversidad, así como las principales rutas de migración de aves.

En la figura 2 se representan las zonas de Alta y Muy Alta Capacidad de acogida a la energía solar fotovoltaica (colores verdes) superpuestas con los criterios de exclusión de la Directiva 2413/2023 (colores grises), que constituyen la base de las zonas de aceleración.



*Figura 2.- Zonas con alta y muy alta capacidad de acogida a energía solar fotovoltaica, superpuestas con las zonas designadas en el marco de regímenes nacionales de protección de la naturaleza y conservación de la biodiversidad, así como los Espacios Red Natura 2000*

El resultado del cruce de las zonas de alta y muy alta capacidad del MCA a la energía solar fotovoltaica, con las áreas excluidas por la Directiva 2413/2023, constituye la propuesta de zonas de aceleración a la energía solar fotovoltaica en Extremadura (Figura 3).



*Figura 3.- Zonas de aceleración de proyectos de energías renovables de tecnología solar fotovoltaica en Extremadura, tras aplicar los criterios establecidos en la Directiva 2413/2023.*

El resultado de dicho cruce supone un total de 228.802 ha, que se corresponden con 125.685 ha (3% de Extremadura) de zonas de Muy Alta Capacidad en el MCA y 103.117 ha (2%) de zonas de Alta Capacidad en el MCA.

Finalmente, con las siguientes medidas de carácter obligatorio en las zonas propuestas como de aceleración de renovables, se puede entender que los proyectos no causan impacto ambiental significativo ni perjuicios a la biodiversidad. Estas medidas serían:

- 1.- El proyecto debe contar con una evaluación de impacto ambiental de acuerdo con los anexos de la Ley 21/2013.
- 2.- Como mínimo, el promotor realizará un control de presencia de aves esteparias durante el período reproductor (abril-junio) y un muestreo de flora protegida entre febrero y mayo.
- 3.- Únicamente se realizarán decapados para caminos y zanjas (si son necesarios movimientos de tierra deberá seguirse el procedimiento ordinario).
- 4.- Las obras nunca darán comienzo entre el 15 de marzo y el 30 de junio para evitar daños a la fauna reproductora en el suelo.

- 5.- El Promotor realizará un doble cerramiento (2 metros de separación con el cerramiento de seguridad) que hará las funciones de corredor ecológico y pantalla de vegetación natural.
- 6.- La línea de evacuación se realizará con apoyos en capa con señalización luminosa en conductores y elementos móviles en cable de tierra o soterrada.
- 7.- El Promotor realizará medidas preventivas, correctoras y de compensación de los impactos residuales.

## **Discusión y conclusiones**

Extremadura es una región donde existe una alta biodiversidad, especialmente de aves, quirópteros, flora, artrópodos etc., cuestión que llevó a la creación en el Servicio de Impacto Ambiental de una unidad específica de evaluación de proyectos de energías renovables desde 2018 que ha tramitado más de 300 proyectos.

La urgente transición energética hacia un modelo descarbonizado requiere de la implantación de proyectos de energías renovables, utilizando la información precisa sobre la distribución de la biodiversidad. Utilizando índices de favorabilidad e idoneidad del hábitat, que nos indican la probabilidad de que una especie amenazada aparezca en un área con mayor o menor probabilidad a la esperada, teniendo en cuenta los factores ambientales, geográficos y abióticos existentes y realizando una serie de ponderaciones con criterio experto, se ha calculado el MCA a la energía solar fotovoltaica en Extremadura. Estos MCA se han cruzado con los condicionantes establecidos en la Directiva 2023/2413, con objeto de no afectar al principio de no regresión, con lo que ha sido posible calcular las áreas susceptibles de ser zonas de aceleración de renovables tal y como establece la UE.

En este trabajo de colaboración entre la JUNTA DE EXTREMADURA y RED ELÉCTRICA, se han integrado las variables ambientales más afectadas por los proyectos de energía solar fotovoltaica para calcular los MCA, lo que unido a la experiencia adquirida en la tramitación, control de obra y fase de explotación para este tipo de proyectos, y cruzado con los condicionantes ambientales de la Directiva, permite definir un 5 % de la región como zona de aceleración de renovables para la energía solar fotovoltaica, en la cual con unas medidas técnicas, controles mínimos ambientales, la tramitación obligatoria del procedimiento de evaluación de impacto ambiental ordinario y en zonas donde sea posible la implantación sin movimientos de tierra, es posible desarrollar el objetivo de declarar zonas de aceleración de renovables para esta tecnología.

## Referencias/Bibliografía

- [1] Sánchez, A.; Crespo, F.; Lopez, E.; Palacios, M.J.; Baazaoui, W; García, M.; Abad, J.M.; Granado, E.; Cano, E.; García, M.; Palomero, J.; Cortazar, G.; Martínez, C.; García, M. (2024). *Zonas de aceleración de renovables (Directiva 2023/2413) propuesta metodológica a partir de los mapas de capacidad de acogida en Extremadura*. XII Congreso Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. Vitoria, abril, 2024. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- [2] Sánchez, A.; Palacios, M.J.; Crespo, F.; Lopez, E.; Abad, J.M.; Cano, E.; García, M.; Cortazar, G.; Moreno, J. (2023). *Mapa de capacidad de acogida ambiental a la energía eólica en Extremadura (SW Spain)*. II European Vulture Conference. Cáceres, noviembre 2023. Vulture Foundation Conservation.
- [3] Palacín, C.; Farias, I.; Alonso, J.C. (2023). *Detailed mapping of protected species distribution, an essential tool for renewable energy planning in agroecosystem*. Biological Conservation 277 (2023):109857.
- [4] Crispim-Mendes, T.; Valerio, F.; Marqués, T.; Pita, R.; Godinho, S.; Paulo, J. (2024). *High-resolution species distribution modelling reveals spatio-temporal variability of habitat suitability in a declining grassland bird*. Landsc Ecol (2024): 39-49. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01848-6>.
- [5] Guzmán, J.M.; Uceda, O.; Cristo, E.; Márquez, A.L.; Moreno, J.; Sánchez, A.; Delgado, E.; Dávalos, J.; Sánchez, J.M.; Corbacho, C. (2024). *El águila real (Aquila chrysaetos) en Extremadura: población y ecología*. Monografías de la DGS. Mérida.
- [6] Cristo, E.; Uceda, O.; Márquez, A.L.; Guzmán, J.M.; Moreno, J.; Sánchez, A.; Delgado, E.; Hurtado, F.; Corbacho, C.; Sánchez, J.M. (2024). *El águila perdicera (Aquila fasciata) en Extremadura: población y ecología*. Monografías de la DGS. Mérida.
- [7] Guzmán, J.M.; Uceda, O.; Cristo, E.; Márquez, A.L.; Moreno, J.; Sánchez, A.; Delgado, E.; Fernández, P.J.; Sánchez, J.M.; Corbacho, C. (2024). *El buitre negro (Aegypius monachus) en Extremadura: población y ecología*. Monografías de la DGS. Mérida.
- [8] Serrano, D.; Donazar, J.A. (2020). *Renewables in Spain threaten biodiversity*. Science, 370 (6522): 1282-1283.
- [9] Javier Durá-Alemán, C.; Monleón, M.; Pérez-García, J.M.; Serrano, D.; Sánchez-Zapata, J.A. (2023). *Climate change and energy crisis drive an unprecedented EU environmental law regression*. Conservation Letters, e12958. <https://doi.org/10.1111/conl.12958>.
- [10] Real, R.; Barbosa, A.M.; Vargas, J.M. (2006). *Obtaining environmental favourability functions from logistic regression*. Environmental and Ecological Statistic, 13: 237-245.

## ZONAS DE ACELERACIÓN PARA PROYECTOS DE ENERGÍA EÓLICA: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA A PARTIR DE MAPAS DE CAPACIDAD DE ACOGIDA EN EXTREMADURA

*Sánchez García, A. (1); Pajares, J.M. (3); Baazaoui, W. (3); García, M.S. (1); Abad, J.M. (3); Granado, E. (3); Cano Montés, E. (3); Palomero, J. (3); Cortazar, G. (3); Martínez, C. (3); Crespo Carretero, F. (2); Fernández López, E. (2); García, M. (2); Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental (4).*

- 1.- Dirección General de Sostenibilidad. Junta de Extremadura. [angel.sanchezga@juntaex.es](mailto:angel.sanchezga@juntaex.es), Mérida, España.
- 2.- Red Eléctrica de España. [fcrespo@ree.es](mailto:fcrespo@ree.es), Madrid, España.
- 3.- Medio Natural. GPEX: [Jose.abad@gpex.es](mailto:Jose.abad@gpex.es), Mérida, España.
- 4.- Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental. [info@eia.es](mailto:info@eia.es); [www.eia.es](http://www.eia.es), Madrid, España.

**Palabras clave:** Zonas de aceleración; Renovables; Eólica; Capacidad de acogida.

### Resumen

En el presente trabajo se presenta una propuesta metodológica para conocer si, a partir de los mapas de capacidad de acogida a la energía eólica disponible en Extremadura, pueden establecerse zonas de aceleración de renovables, tal y como establece la Directiva 2023/2413 de la UE, en colaboración con dos instituciones relacionadas con la transición energética, contando con los datos sobre biodiversidad y los criterios técnicos de acogida de la JUNTA DE EXTREMADURA y las herramientas digitales de geo-análisis de RED ELÉCTRICA.

En primer lugar, para la elaboración del Mapa de Capacidad de Acogida a la energía eólica, se utiliza como base la información ambiental sobre biodiversidad. Así, se utilizan los censos de las distintas especies asignando a cada territorio de reproducción un área crítica. Además, se consideran los muladares, vertederos y otros puntos de alimentación, asignando buffer de protección (2 km a nidos o muladares y 4 km a vertederos). Por otro lado, se contrastó con el trabajo de análisis de riesgo de colisión obtenido mediante vuelos de 127 buitres leonados, donde se calculaba el riesgo de colisión a parques eólicos, complementando la información de áreas de reproducción y zonas de alimentación gestionados. Adicionalmente, se utilizaron nueve variables ambientales, y se comparó con la existencia de recurso eólico. También se emplean las áreas críticas de uso, obtenidas por radioseguimiento, para varias especies amenazadas como sisón, avutarda, ganga ortega, ganga ibérica, alcaraván, grandes rapaces, cigüeña negra, etc.

Los mapas obtenidos son de uso orientativo y cada proyecto debe someterse a Evaluación de Impacto Ambiental caso a caso, previa obtención de datos de uso del espacio por las especies afectadas.

Con posterioridad se procede a aplicar los criterios establecidos en la Directiva 2023/2413, de aceleración de las renovables, en cuanto a los criterios para calcular las zonas de aceleración, con objeto de conocer si es posible utilizar los objetivos de la Unión Europea de poder establecer zonas de aceleración de renovables. El resultado fue que, para la energía eólica, al tratarse de una región con poco viento y una elevada biodiversidad, no resulta operativo establecer zonas de aceleración de renovables.

## **Introducción**

La Unión Europea tiene objetivos muy ambiciosos en el proceso de neutralidad climática, lo cual requiere una transición energética justa que no deje atrás a ningún territorio, ni a ningún ciudadano, un aumento de la eficiencia energética, y una proporción significativamente mayor de energías renovables (Pacto Verde Europeo).

La energía renovable desempeña un papel fundamental en la consecución de estos objetivos, dado que el sector de la energía es responsable actualmente de más del 75% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero.

La excesiva duración de los procedimientos administrativos de concesión de autorizaciones es uno de los principales obstáculos para las inversiones en proyectos de energías renovables y sus infraestructuras de evacuación. Dichos obstáculos incluyen la complejidad de las normas aplicables en relación con la selección de emplazamientos y las autorizaciones administrativas de dichos proyectos, la complejidad y la duración de los procedimientos de evaluación del impacto ambiental y las redes de energía relacionadas, los problemas de conexión a la red, las limitaciones para adaptar las especificaciones tecnológicas durante el procedimiento de concesión de autorizaciones y los problemas relativos al personal de las autoridades que conceden las autorizaciones o de los operadores de red. A fin de acelerar el ritmo de despliegue de dichos proyectos, es necesario adoptar normas que simplifiquen y acorten los procedimientos de concesión de autorizaciones, teniendo en cuenta la amplia aceptación pública del despliegue de energías renovables.

Por todo ello, la Unión Europea ha tomado importantes medidas legislativas para potenciar el desarrollo de las energías renovables, en resumen, son: el **Reglamento (UE) 2024/223 del Consejo**, emitido el **22 de diciembre de 2023**, que modifica el **Reglamento (UE) 2022/2577** para establecer un marco que acelere el despliegue de energías renovables, cuyo objetivo es mitigar los efectos de la crisis energética y reforzar la seguridad del suministro de la Unión, introduciendo medidas específicas para agilizar los procedimientos de concesión de autorizaciones aplicables a tecnologías y proyectos específicos de energías renovables con alto potencial de despliegue rápido; y la **Directiva (UE)**

**2023/2413**, que modifica la **Directiva (UE) 2018/2001** y también contribuye al despliegue de energías renovables. Aunque algunas medidas del **Reglamento (UE) 2022/2577** se incorporaron a esta Directiva, no reflejaba todas las medidas excepcionales del reglamento anterior. La Directiva (UE) 2023/2413 establece un régimen permanente y a largo plazo para acelerar los procedimientos de concesión de autorizaciones, con plazos de aplicación más extensos.

En resumen, la UE está comprometida con el aumento de la proporción de energías renovables en su consumo energético total hasta el 42,5% para 2030, con un complemento adicional indicativo del 2,5% para alcanzar el 45%. Los Estados miembros deben considerar la necesidad de desplegar energías renovables de manera acelerada y rentable, de acuerdo con sus planes nacionales integrados de energía y clima. Esto obliga a los Estados miembros de la UE a declarar, antes del 21 de febrero de 2026, Zonas de aceleración renovable, a más tardar el 21 de febrero de 2026, y velarán por que las autoridades competentes adopten uno o varios planes que designen, como subconjunto de las zonas a que se refiere el artículo 15 ter, apartado 1, zonas de aceleración renovable para uno o más tipos de fuentes de energía renovable.

## Material y métodos

Extremadura es una región del suroeste de la Península Ibérica muy destacada por los valores de biodiversidad que alberga y, que desde 2018, formó una Unidad de Evaluación Ambiental para la evaluación de los proyectos de energía renovables. En este trabajo, contando con todos los datos sobre biodiversidad de la región, en colaboración de técnicos de análisis de datos georreferenciados a través de Sistemas de Información Geográfica y, partiendo de los Mapas de Capacidad de Acogida (MCA) a la energía eólica [1] y [2], se ha analizado la viabilidad ambiental del desarrollo de las zonas de aceleración de energías renovables establecidas por la Directiva 2413/2023 para las tecnologías eólica y fotovoltaica, teniendo en cuenta que en la región existe una escasa disponibilidad de recurso eólico y una elevada biodiversidad de quirópteros y aves, así como una elevado recurso solar.

La JUNTA DE EXTREMADURA está trabajando en una herramienta que permite identificar las áreas del territorio que presentan mejores condicionantes ambientales para la implantación de estos proyectos, mediante un modelo territorial que agrupa los principales factores ambientales, cuyo resultado ha sido una cartografía en la que se refleja la capacidad de acogida ambiental de proyectos de energías renovables del territorio extremeño.

RED ELÉCTRICA ha colaborado en la ejecución de los análisis geográficos, empleando su herramienta geográfica INGEON. Esta herramienta, entre otras cuestiones, permite generar mapas de capacidad de acogida para nuevos proyectos de la Red de Transporte. RED ELÉCTRICA desarrolló esta aplicación y la utiliza en los ámbitos de estudio de sus nuevos proyectos para localizar, en las zonas de mayor capacidad de acogida ambiental del territorio, sus nuevas instalaciones.

Los MCA obtenidos, a pesar de su escala regional, cuentan con una información ambiental de gran precisión y actualización (resultados de censos y seguimientos de especies amenazadas entre 1986 y

2023, así como radioseguimiento de cientos de ejemplares de especies amenazadas) y permiten identificar aquellas zonas de alta y baja capacidad de acogida de nuevos proyectos, tal y como ha sido

indicado por los científicos que trabajan con estos grupos de especies amenazadas [3] y [4]. Para alcanzar los objetivos marcados, se ha analizado no solo la distribución de las especies, sino índices de favorabilidad e idoneidad del hábitat.

Las **fuentes de información utilizadas** para elaborar estos MCA han sido:

- Instituto Geográfico Nacional:
  - Modelo Digital del Terreno.
  - Núcleos de población.
- Banco de Datos de la Naturaleza del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico:
  - Red hidrográfica, Embalses.
  - Espacios protegidos, paisajes protegidos, hábitats de interés comunitario.
- Red Eléctrica:
  - Red de Transporte eléctrico nacional.
- Consejería de Cultura, Turismo, Jóvenes y Deportes:
  - Elementos BIC y yacimientos.
- Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Sostenible:
  - Formaciones forestales amenazadas.
  - Fauna y avifauna crítica:
    - Resultados de los censos y seguimientos de especies amenazadas de Extremadura (Información precisa georreferenciada sobre ubicación de nidos y áreas críticas, así como su problemática) de águila imperial ibérica, águila real [5], águila perdicera [6], milano real, buitre negro [7], buitre leonado, cigüeña negra, avutarda, y sisón.
    - Home-range del 50 % y 95 % obtenido por radioseguimiento de buitre negro, alimoche, águila imperial, águila real, águila perdicera, milano real, sisón, ganga ortega, ganga ibérica, alcaraván, etc.
    - Censo y seguimiento de la población de buitre leonado en Extremadura (SEO-BirdLife).
    - Home-range del 50 % y 95 % del lince ibérico en Extremadura.
    - Estudios sobre distribución y seguimiento de las poblaciones de quirópteros en Extremadura (1986-2023): datos propios y bibliográficos.
    - Bibliografía específica [8].

Los **factores ambientales incluidos en el geoproceso** para el cálculo del MCA a la energía eólica son los siguientes:

1. Orografía (pendiente del terreno).
2. Hidrología (red hidrográfica).
3. Espacios Naturales Protegidos (todos los rangos de protección incluidos).

4. Vegetación de mayor interés (Formaciones Forestales Amenazadas con especial importancia a robledales).
5. Hábitats de interés comunitario (prioritarios y no prioritarios).
6. Fauna crítica (datos más recientes de rapaces, esteparias, necrófagas, lince y quirópteros, especialmente especies amenazadas).
7. Paisajes Protegidos.
  
8. Distancia a instalaciones de la Red de Transporte (actuales o en la propuesta de planificación 21-26. Cuanto más lejos más impacto en las líneas de evacuación).

Los **factores de exclusión** en el análisis han sido los siguientes:

1. Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA).
2. Embalses, zonas inundables.
3. Núcleos de población (incluido buffer protección de 500m).
4. Patrimonio Cultural: BIC y yacimientos (incluido buffer protección de 200m).

Una vez identificados los factores que intervienen, se realizó un **tratamiento** de dicha información geográfica. Esta labor de tratamiento fue especialmente intensa para aquellos factores continuos (como la orografía) o aquellos en los que la distancia hace que tengan mejor capacidad de acogida (como la avifauna). Para estos factores se marcaron umbrales graduales de distancia para que, a menor distancia de avifauna crítica o patrimonio cultural, tuviera una peor capacidad de acogida y, según la distancia aumente, la capacidad de acogida fuera mayor.

Otros factores no continuos como Espacios Naturales Protegidos, hábitats de interés comunitario, vegetación o hidrología no requirieron este tratamiento, ya que su influencia en la capacidad de acogida de una instalación eólica es más sencilla de transponer al geoproceso, al depender menos de la distancia.

Una vez tratada espacialmente cada capa geográfica, se pasó a la asignación numérica para cada capa de sus umbrales de capacidad de acogida. Para cada capa geográfica se definió la capacidad de acogida relativa a un parque eólico de 0 a 10, siendo 0 indicador de una gran capacidad de acogida del territorio para este tipo de instalaciones y 10 una muy mala capacidad de acogida.

La capa de aves necrófagas se suma a las otras capas de información geográfica de aves y quirópteros. Se definieron las zonas que se encuentran a más de 4,5 km de distancia de estas áreas como zonas que acogen muy bien una instalación eólica, con lo que se le asignó y valor de 0.

Para las áreas próximas a las zonas sensibles para la vida silvestre (a menos de 2.500m) se considera que instalar nuevos parques eólicos supone un impacto mucho mayor, por lo que su capacidad de acogida en este punto es de valor 10. Para las zonas intermedias, el valor de acogida baja exponencialmente según la distancia a las zonas de avifauna de interés o quirópteros, según se establece en la tabla 1.

<b>Zonas de avifauna de interés y quirópteros</b>	<b>Capacidad de acogida</b>
Zonas a menos de 2.500m de zonas de avifauna y quirópteros	10
Zonas a más 2.500m y menos de 3.000 zonas de avifauna y quirópteros	9
Zonas a más 3.000m y menos de 3.500 zonas de avifauna y quirópteros	7
Zonas a más 3.500m y menos de 4.000 zonas de avifauna y quirópteros	6
Zonas a más 4.000m y menos de 4.500 zonas de avifauna y quirópteros	4
Zonas a más 4.500m de zonas de avifauna y quirópteros	0

*Tabla 1.- Valoración de la capacidad de acogida según la distancia donde se encuentre el proyecto a las áreas de sensibilidad para la vida silvestre*

Esto, sumado a la información del hábitat crítico para el lince ibérico obtenido por radioseguimiento, da como resultado el mapa del factor 6 fauna crítica.

En el geoproceto de generación del MCA hay factores ambientales más importantes que otros a la hora de condicionar la ubicación óptima de un parque eólico. Antes de ejecutar el geoproceto, se definieron los pesos ponderados, a criterio experto, entre los distintos factores, tal y como se indica a continuación: Orografía 5%; Hidrología 2%; Espacios Naturales Protegidos 20%; Vegetación de mayor interés 12%; Hábitats de interés comunitario 12%; Fauna crítica 34%; Paisaje Protegido 10%; Distancia a instalaciones de la Red de Transporte 5%. Se consideran áreas prohibidas: Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), Embalses, Zonas inundables (T=10años), Núcleos de población (incluido buffer protección de 500m) y Patrimonio Cultural: BIC y yacimientos (incluido buffer protección de 200m).

El geoproceto consiste básicamente en dos pasos:

1. Los 8 factores ambientales indicados anteriormente, con su valor de 0 a 10 de capacidad de acogida relativa, se sumaron geográficamente y de forma ponderada entre los diferentes factores. Este geoproceto de superposición ponderada de rasters supone que, para cada píxel, la herramienta GIS calcula su valor como la suma ponderada de todos los valores de 0 a 10 de capacidad de acogida que se localicen en ese píxel por el peso ponderado del aspecto al que pertenece dicha capa. El geoproceto de superposición ponderada continúa por cada píxel del mapa. A continuación, se muestra un ejemplo de cómo funciona el geoproceto para calcular el valor de MCA.

PIXEL 1	Capacidad de acogida de cada factor para una PE (0-10)	Importancia relativa de cada temática para acoger una nueva PE	Resultado	
Pendiente 10-20%	1	X	5%	0,05
vegetación de mayor interés	10	X	12%	1,2
Puntos singulares de avifauna entre 4000-4500m	4	X	34%	1,36
Zonas a más de 25km de subestaciones	6	X	5%	0,3
<b>Resultado MCA pixel 1</b>			<b>2,91</b>	

2. Los factores de exclusión son extraídos del MCA porque se considera que son zonas en las que, por normativa, no se puede instalar un parque eólico.

Factor	Capacidad de acogida de cada factor para una PE (0-10)	Importancia relativa de cada temática para acoger un nuevo PE
<b>OROGRAFÍA</b>		<b>5</b>
Pendiente	pend<10%	0
	pend 10-20%	1
	pend 20-60%	6
	pend>60%	9
<b>HIDROGRAFÍA</b>		<b>2</b>
Red hidrográfica	10	
Zonas Inundables asociadas a períodos de retorno	ZI frecuente (T=50años)	9
	ZI media u ocasional (T=100años)	6
	ZI baja prob (T=500años)	2
<b>ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS</b>		<b>20</b>
intersecta 1 figura ENP	9	
superposición de 2 figuras ENP	10	
superposición de 3 o más figuras ENP	10	
<b>VEGETACIÓN</b>		<b>12</b>
vegetación de mayor interés (zonas forestales amenazadas)	10	
<b>FAUNA CRÍTICA</b>		<b>34</b>
Zonas de alta sensibilidad esteparias (avutarda y sisón)	10	

Factor		Capacidad de acogida de cada factor para una PE (0-10)	Importancia relativa de cada temática para acoger un nuevo PE
Zonas de interes de necrófagas	zonas a menos de 4000m de zonas sensibles de alimoche y buitre negro	10	
	zonas a menos de 2000m de muladares	10	
	zonas a menos de 4000m de vertederos	10	
Puntos singulares de avifauna (águila imperial, perdicera, real, milano real y cigüeña negra)	zonas a menos de 2500m	10	
	zonas entre 2500-3000m	9	
	zonas entre 3000-3500m	7	
	zonas entre 3500-4000m	6	
	zonas entre 4000-4500m	4	
	zonas a más de 4500m	0	
Quirópteros	zonas con Planes de Recuperación	10	
	Zonas con áreas sensibles	10	
Zonas de alta sensibilidad de lince		10	
HÁBITATS			12
Hábitats de interés comunitario	HIC prioritario	8	
	HIC no prioritario	4	
Robledales		10	
PAISAJE			10
Paisajes protegidos	zonas a menos de 500m	10	
	zonas entre 500-1000m	8	

Factor		Capacidad de acogida de cada factor para una PE (0-10)	Importancia relativa de cada temática para acoger un nuevo PE
	zonas entre 1000-1500m	6	
	zonas entre 1500-5000m	1	
	zonas a más de 5000m	0	
DISTANCIA RED DE TRANSPORTE ELÉCTRICO			5
Subestaciones actuales y proyectadas	Zonas a menos de 25 km	0	
	zonas a más de 25 km	6	

*Tabla 2.- Valoración de la capacidad de acogida y pesos ponderados para cada factor ambiental, según criterio experto*

Para calibrar y dar por válidos los umbrales de capacidad de acogida de las capas y los pesos relativos de los aspectos, se utilizaron como contraste parques eólicos evaluados ambientalmente recientemente (estos territorios han sido estudiados con el más alto grado de detalle y se conoce perfectamente qué zonas tienen mayor o menor capacidad de acogida para la implantación de parque eólicos). Esta información permitió calibrar los valores de todo el geoproceso hasta obtener en esas zonas control el resultado ajustado a lo que la UNIDAD DE EVALUACIÓN AMBIENTAL DE ENERGÍAS RENOVABLES de la JUNTA DE EXTREMADURA conocía de dichas zonas de control. Se realizaron hasta 8 interacciones de ajustes con diferentes combinaciones de umbrales de capacidad de acogida y pesos ponderados con objeto de que el resultado final encajara con la capacidad acogida conocida previamente de muchas de las áreas estudiadas en detalle previamente en sus respectivos estudios.

La normalización final de los valores que agrupa todos los valores numéricos de MCA en las 5 categorías de capacidad de acogida (muy alta, alta, media, baja y muy baja) se basa en una normalización de intervalos geométricos (crea intervalos geométricos al minimizar la suma de cuadrados del número de elementos de cada categoría). Se utiliza para variables continuas que tiene un gran recorrido en sus datos, de manera que las clases mayores son cada vez más amplias.

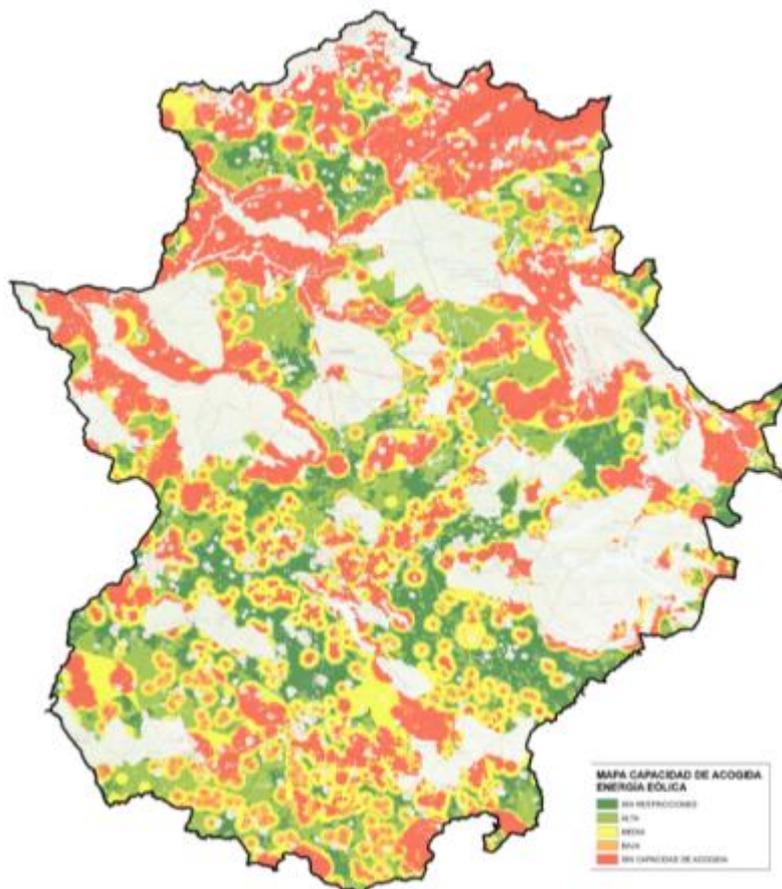
A pesar de todo ello, una serie de científicos [9] y [10], muestran su preocupación por el impacto que el desarrollo de las energías renovables puede ocasionar a la biodiversidad. Así, la opinión crítica estos procedimientos, porque entienden que la generación de energía renovable no está exenta de impactos ambientales sobre el paisaje y la biodiversidad, y consideran que la normativa citada sobre

aceleración de energía renovable produce una regresión de la normativa ambiental de la UE, tanto a nivel de evaluación de impacto ambiental como de protección de la biodiversidad, tanto la Directiva de Hábitat como la de Aves, generando todo ello inseguridad jurídica. Estos autores esperan efectos significativos sobre la mortalidad de aves y quirópteros, especialmente en los proyectos de tecnología eólica, y abogan por un modelo de lucha contra el cambio climático que no suponga un motor de pérdida de biodiversidad.

Para no vulnerar el principio de no regresión ambiental, se han definido las zonas designadas en el marco de los regímenes nacionales de protección de la naturaleza y conservación de la biodiversidad, así como la Red Natura 2000, las principales rutas de migración de aves y los mapas de sensibilidad a la vida silvestre, obtenidos por radioseguimiento, y las áreas modelizadas mediante técnicas de favorabilidad [11] e idoneidad del hábitat [4], no solo para considerar la actual presencia de las especies amenazadas, sino las áreas donde la probabilidad de encontrarlas sea superior a la esperada.

## **Resultados**

La figura 1 muestra el Mapa de Capacidad de Acogida del territorio de Extremadura a la instalación de parques eólicos con los criterios utilizados. El gradiente de color a modo de semáforo indica en verde oscuro las zonas sin restricciones ambientales y, por tanto, esos territorios tienen una gran capacidad de acogida para instalaciones eólicas. Posteriormente, del verde claro se pasa al amarillo y naranja, donde se van concatenando restricciones ambientales en esos territorios y se va reduciendo la capacidad de acogida. Las zonas sin color son las áreas de exclusión antes mencionadas. La superficie de las zonas de exclusión supone el 34% de toda la superficie de Extremadura. En total, cada píxel de 250 x 250 m tiene una valoración en un rango de seis valores: 1.- Muy alta capacidad de acogida (Sin restricciones); 2.- Alta capacidad de acogida; 3.- Media capacidad de acogida; 4.- Baja capacidad de acogida; 5.- Sin capacidad de acogida; 6.- Zonas de exclusión.



*Figura 1.- MCA a la energía eólica en Extremadura*

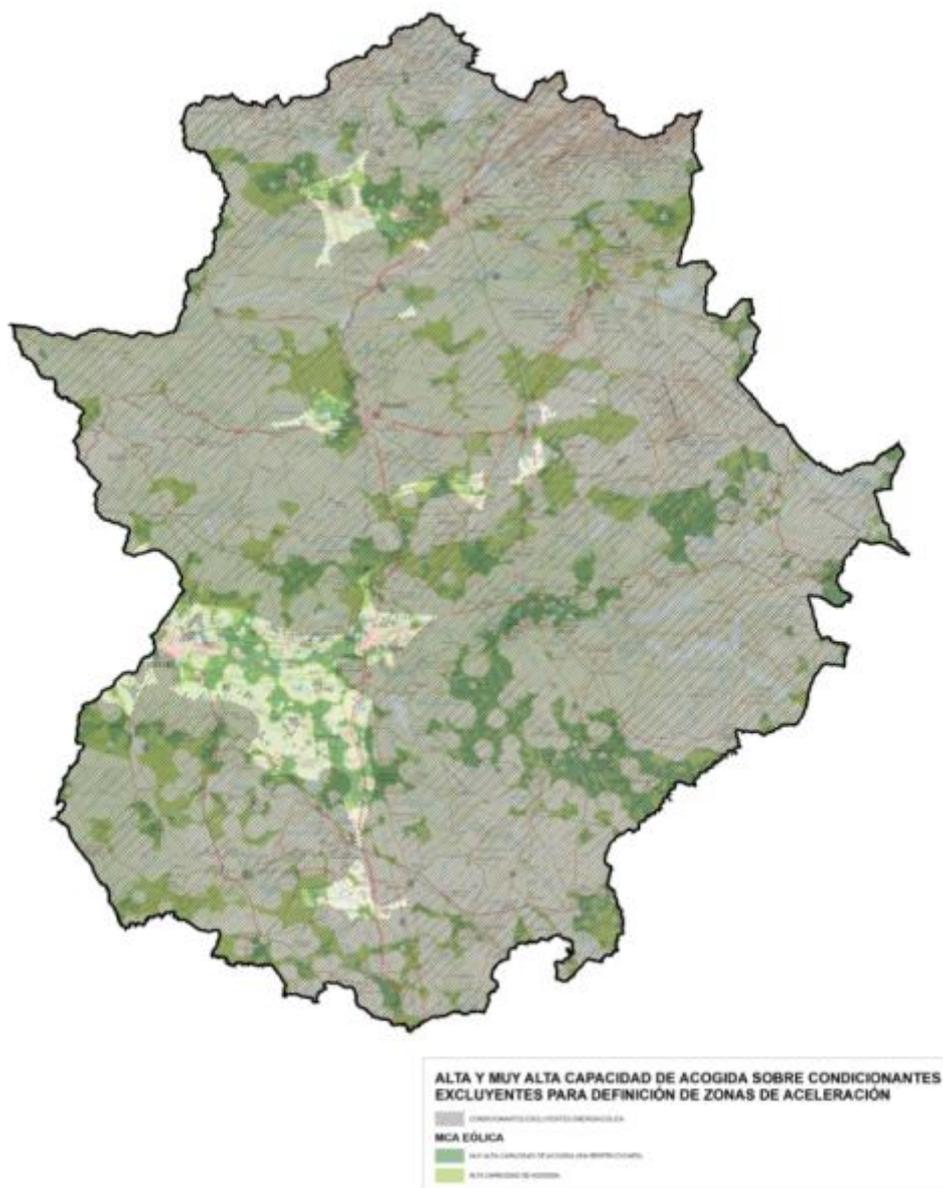
De toda la superficie de Extremadura, el 21% tiene una capacidad de acogida ambiental alta (12%) o muy alta (9%) para acoger este tipo de instalaciones. El 17% de todo el territorio tiene capacidad de acogida media y el 6% una capacidad baja. Las zonas excluidas del análisis (34%), junto con las zonas sin capacidad ambiental (23%) para la acogida de energía eólica, suponen el 57% del territorio.

Se concluye que en Extremadura hay 67.945 ha con una alta o muy alta capacidad de acogida y con un alto recurso eólico. Esto supone el 1,6% de todo el territorio de la región. Si se incluye la categoría de media capacidad de acogida el valor asciende a 2,8% de todo el territorio de Extremadura.

Tras el análisis geográfico descrito anteriormente hasta obtener el MCA de energía eólica, se han utilizado exclusivamente las zonas de alta o muy alta capacidad de acogida como zonas candidatas a formar parte de las áreas de aceleración para esta tecnología.

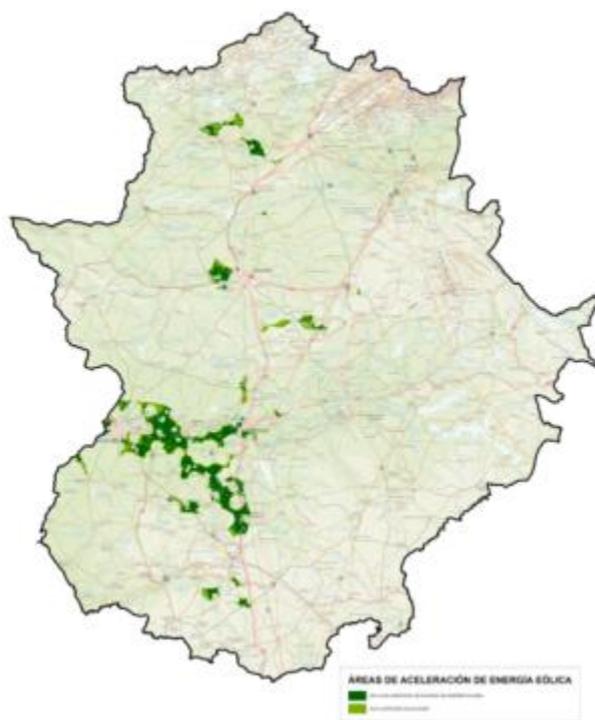
Se ha realizado una exhaustiva recopilación cartográfica de elementos excluyentes para zonas de aceleración y, adicionalmente, se han aplicado los criterios establecidos en la Directiva 2413/2023, donde se ha introducido la exclusión de la Red Natura 2000 y de las zonas designadas en el marco de los regímenes nacionales de protección de la naturaleza y conservación de la biodiversidad, así como las principales rutas de migración de aves.

En la figura 2 se representan las zonas de Alta y Muy Alta Capacidad de acogida a la energía eólica (colores verdes) superpuestas con los criterios de exclusión de la Directiva 2413/2023 (colores grises), que constituyen la base de las zonas de aceleración.



*Figura 2.- Zonas con alta y muy alta capacidad de acogida a energía eólica, superpuestas con las zonas designadas en el marco de regímenes nacionales de protección de la naturaleza y conservación de la biodiversidad, así como los Espacios Red Natura 2000*

El resultado del cruce de las zonas de alta y muy alta capacidad del MCA a la energía eólica, con las áreas excluidas por la Directiva 2413/2023, constituye la propuesta de zonas de aceleración a la energía eólica en Extremadura (Figura 3).



*Figura 3.- Zonas de aceleración de proyectos de energías renovables de tecnología eólica en Extremadura, tras aplicar los criterios establecidos en la Directiva 2413/2023, sin tener en cuenta el recurso eólico.*

Para la energía eólica, en la que la localización del recurso eólico es tan clave y varía tanto en el territorio, se ha realizado un análisis consistente en cribar las zonas de aceleración en zonas donde hay suficiente recurso eólico (>6m/s a 100m). A continuación, se muestran estas zonas (Fig. 4).



*Figura 4.- Zonas de aceleración de proyectos de energías renovables en Extremadura, tras aplicar los criterios establecidos en la Directiva 2413/2023, teniendo en cuenta el recurso eólico.*

El resultado de dicho cruce supone un total de 4.427 ha, que se corresponden con 2.168 ha (0,05% de Extremadura) de zonas de Muy Alta Capacidad en el MCA y 2.259 ha (0,05%) de zonas de Alta Capacidad en el MCA.

### **Discusión y conclusiones**

Extremadura es una región donde existe una alta biodiversidad, especialmente de aves, quirópteros, flora, artrópodos etc., cuestión que llevó a la creación en el Servicio de Impacto Ambiental de una unidad específica de evaluación de proyectos de energías renovables desde 2018 que ha tramitado más de 300 proyectos.

La urgente transición energética hacia un modelo descarbonizado requiere de la implantación de proyectos de energías renovables, utilizando la información precisa sobre la distribución de la biodiversidad. Utilizando índices de favorabilidad e idoneidad del hábitat, que nos indican la probabilidad de que una especie amenazada aparezca en un área con mayor o menor probabilidad a la esperada, teniendo en cuenta los factores ambientales, geográficos y abióticos existentes y realizando una serie de ponderaciones con criterio experto, se ha calculado el MCA a la energía eólica en Extremadura. Estos MCA se han cruzado con los condicionantes establecidos en la Directiva

2023/2413, con objeto de no afectar al principio de no regresión, con lo que ha sido posible calcular las áreas susceptibles de ser zonas de aceleración de renovables tal y como establece la UE.

En este trabajo de colaboración entre la JUNTA DE EXTREMADURA y RED ELÉCTRICA, se han integrado las variables ambientales más afectadas por los proyectos de parques eólicos (destacando las aves amenazadas planeadoras, quirópteros y paisaje) y, estableciendo unos criterios de valoración, se ha conseguido como resultado un mapa de capacidad de acogida a este tipo de proyectos. Este mapa se ha cruzado con los condicionantes ambientales establecidos en la Directiva, y el resultado se ha contrastado con las zonas donde hay registros de cierta intensidad de viento (más de 6 m/s a 100 de altura), resultando que, en una región con tanta biodiversidad y escasos recursos, no es razonable establecer zonas de aceleración a la energía eólica.

## Referencias/Bibliografía

- [1] Sánchez, A.; Crespo, F.; Lopez, E.; Palacios, M.J.; Baazaoui, W; García, M.; Abad, J.M.; Granado, E.; Cano, E.; García, M.; Palomero, J.; Cortazar, G.; Martínez, C.; García, M. (2024). *Zonas de aceleración de renovables (Directiva 2023/2413) propuesta metodológica a partir de los mapas de capacidad de acogida en Extremadura*. XII Congreso Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. Vitoria, abril, 2024. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- [2] Sánchez, A.; Palacios, M.J.; Crespo, F.; Lopez, E.; Abad, J.M.; Cano, E.; García, M.; Cortazar, G.; Moreno, J. (2023). *Mapa de capacidad de acogida ambiental a la energía eólica en Extremadura (SW Spain)*. II European Vulture Conference. Cáceres, noviembre 2023. Vulture Foundation Conservation.
- [3] Palacín, C.; Farias, I.; Alonso, J.C. (2023). *Detailed mapping of protected species distribution, an essential tool for renewable energy planning in agroecosystem*. Biological Conservation 277 (2023):109857.
- [4] Crispim-Mendes, T.; Valerio, F.; Marqués, T.; Pita, R.; Godinho, S.; Paulo, J. (2024). *High-resolution species distribution modelling reveals spatio-temporal variability of habitat suitability in a declining grassland bird*. Landsc Ecol (2024): 39-49. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01848-6>.
- [5] Guzmán, J.M.; Uceda, O.; Cristo, E.; Márquez, A.L.; Moreno, J.; Sánchez, A.; Delgado, E.; Dávalos, J.; Sánchez, J.M.; Corbacho, C. (2024). *El águila real (Aquila chrysaetos) en Extremadura: población y ecología*. Monografías de la DGS. Mérida.
- [6] Cristo, E.; Uceda, O.; Márquez, A.L.; Guzmán, J.M.; Moreno, J.; Sánchez, A.; Delgado, E.; Hurtado, F.; Corbacho, C.; Sánchez, J.M. (2024). *El águila perdicera (Aquila fasciata) en Extremadura: población y ecología*. Monografías de la DGS. Mérida.
- [7] Guzmán, J.M.; Uceda, O.; Cristo, E.; Márquez, A.L.; Moreno, J.; Sánchez, A.; Delgado, E.; Fernández, P.J.; Sánchez, J.M.; Corbacho, C. (2024). *El buitre negro (Aegypius monachus) en Extremadura: población y ecología*. Monografías de la DGS. Mérida.
- [8] Moran, J.; Arredondo, E.; Sanchez-Zapata, J.A.; Donazar, J.A.; Margalida, A.; Carrete, M.; Blanco, G.; Guil, F.; Serrano, D.; Perez-García, J.M. (2024). *Fine-scale collision risk mapping and validation with long-term mortality data reveal current and future wind energy development impact on sensitive species*. Environmental Impact Assessment Review 104 (2024): 107339.
- [9] Serrano, D.; Donazar, J.A. (2020). *Renewables in Spain threaten biodiversity*. Science, 370 (6522): 1282-1283.
- [10] Javier Durá-Alemán, C.; Monleón, M.; Pérez-García, J.M.; Serrano, D.; Sánchez-Zapata, J.A. (2023). *Climate change and energy crisis drive an unprecedented EU environmental law regression*. Conservation Letters, e12958. <https://doi.org/10.1111/con1.12958>.
- [11] Real, R.; Barbosa, A.M.; Vargas, J.M. (2006). *Obtaining environmental favourability functions from logistic regression*. Environmental and Ecological Statistic, 13: 237-245.

# BLOQUE 6

---

## OTROS

## **SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE GESTIÓN LUMÍNICA EN PARQUES EÓLICOS: EL CASO DE PARASOL**

*Domínguez del Valle, Jon; García Sanz, Ricardo*

Zefiro Partners, S.L., [info@zefiropartners.com](mailto:info@zefiropartners.com), Madrid, España.

**Palabras clave:** Contaminación lumínica; Impacto ambiental; Fauna; Salud humana; Energía eólica; Aerogenerador.

### **Resumen**

La contaminación lumínica nocturna es uno de los impactos de origen antrópico más significativos y cotidianos, y una fuente de influencia negativa sobre la salud humana y los ecosistemas. Los parques eólicos no son ajenos y también contribuyen a esta afección a través de las balizas de posicionamiento aeronáutico. Es por ello que en los últimos años se han desarrollado sistemas de gestión lumínica específicos como Parasol, capaces de gestionar el impacto de las luces de gálibo de los aerogeneradores. A través de radares pasivos en red, Parasol permite encender las luces de posición de los aerogeneradores únicamente en aquellas situaciones en las que una aeronave entra dentro del espacio de seguridad, eliminando la contaminación lumínica de los parques eólicos sobre la biodiversidad de los ecosistemas, la salud y el paisaje nocturno, y maximizando su aceptación social de los proyectos eólico.

### **Introducción**

La contaminación lumínica es la emisión de radiación lumínica de fondo que interfiere en la observación del cielo, supone un deslumbramiento directo, un aumento crónico de la iluminación o la fluctuación temporal e inesperada de la iluminación del ambiente. Las fuentes de contaminación lumínica incluyen el brillo del cielo, la iluminación de los edificios, las luminarias de vías de comunicación, los barcos de pesca, las luces de seguridad, las luces de los vehículos, las balizas de las plataformas petroleras, de parques eólicos o de las torres de comunicación e, incluso, las luces de los buques de búsqueda submarina. En definitiva, su origen es cualquier fuente de luz capaz alterar las funciones de los ecosistemas y sus componentes en diversos grados [1].

## Material y métodos

### *Impactos sobre los ecosistemas y la salud humana*

En las últimas décadas, el interés por el impacto de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad en general y sobre la salud humana en particular se ha incrementado de manera notable, y, aunque aún carecemos de una perspectiva global de sus efectos, hemos pasado de considerar únicamente la contaminación lumínica astronómica a acuñar el término de contaminación lumínica ecológica, con una concepción mucho más amplia y holística de sus efectos [2].

Entre las consecuencias ecológicas de este tipo de contaminación se han descrito alteraciones en las rutas migratorias y de desplazamiento de las especies, cambios en el comportamiento de polinizadores nocturnos, mortalidad de fauna por colisión contra infraestructuras, modificación los ritmos reproductivos de las especies, incremento de la depredación o afección a los sistemas de comunicación entre individuos [1,2,3,4]. Y en cuanto a su influencia sobre la salud humana, las principales evidencias señalan a alteraciones en los patrones de sueño y el reloj circadiano, desregulaciones del sistema hormonal, incremento del riesgo de padecer algunos tipos de cáncer o inducción a enfermedades de diabetes [1,5,6]. Pero si en algo coinciden todas las investigaciones, es en que la reducción de la iluminación artificial nocturna es la única herramienta disponible para atajar sus impactos.

### *Contaminación lumínica y energía eólica: el tamaño sí importa*

En 2023 se instalaron en el mundo 117 GW, el periodo de mayor crecimiento de la historia, lo que llevó a la eólica mundial a superar los 1.000 GW de potencia total instalada. Y se espera que en el año 2030 se alcancen los 2.500 GW [7]. Aunque el nivel de crecimiento es algo menor, las tendencias en España están acompasadas con el panorama global. En 2023 se instalaron 607,3 MW, situando la potencia total del país en 30,5 GW, y el objetivo es que para 2030 se llegue a los 62 GW [8].

Esta tendencia al alza nos solo está relacionada con el desarrollo de los mercados emergentes o las políticas incentivadoras de los ya consolidados, sino que también está vinculado a un incremento en la capacidad de producción de los aerogeneradores. Así, se espera que en 2030 alcancen potencias unitarias de 15 MW para los modelos onshore y de 25 MW para los offshore. Y a mayor potencia mayor altura, por lo que está previsto que los aerogeneradores pasen de los 220m máximos actuales en tierra a los 280 m, y de los 280 m a 350 m en las máquinas marinas [7] (Figura 1).

Este aumento de la altura de los aerogeneradores va ligado inevitablemente a unas obligaciones de balizado impuestas por las autoridades de navegación aérea para garantizar la seguridad del tráfico de aeronaves. En el caso de España, la actual normativa establece que los aerogeneradores que superen los 150 m entre la base y la punta de la pala en su altura máxima deberán contar con un sistema de iluminación en la parte superior de la góndola y otro intermedio, cuyo número de balizas oscilará entre 3 y 8 según el diámetro de la turbina [9]. Esto, a la vista de las dimensiones de los

actuales diseños desplegados y de los previstos, supone y supondrá un incremento importante de la contaminación lumínica del entorno en el corto y medio plazo (Figuras 1 y 2).

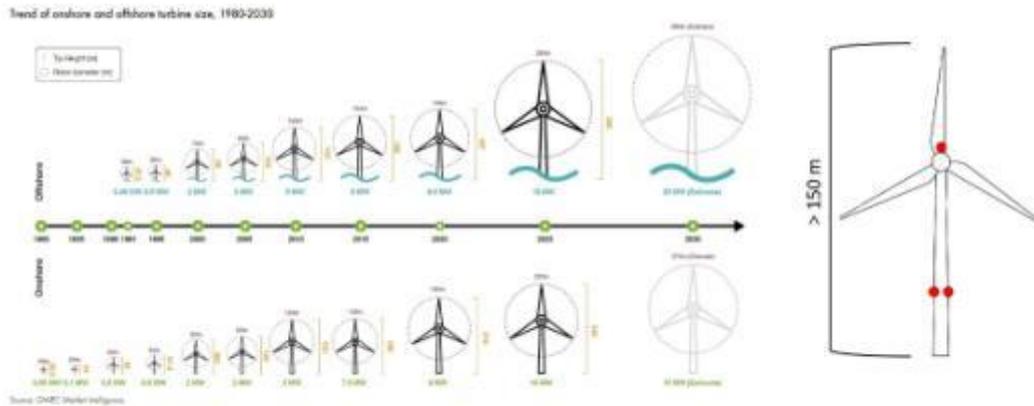


Figura 1. Evolución del tamaño y potencia de los aerogeneradores hasta 2023 y esquema de los requisitos de balizado lumínico de AESA para turbinas de más de 150 m (círculos rojos). Fuente: [7, 9].



Figura 2. Vistas del encendido de las balizas de posición a distintas alturas y de su efecto en el paisaje nocturno y el ecosistema (Cuenca, España). La instalación de sistemas de encendido de balizas a demanda eliminaría este impacto por completo garantizando la seguridad en la navegación aérea.

## Resultados

### *La solución: el encendido a demanda de balizas*

En los últimos años y con el fin de poder gestionar el impacto de la contaminación lumínica de los parques eólicos en un contexto de desarrollo sectorial importante y de densidades de población altas, comienzan a surgir los sistemas automáticos de encendido de balizas a demanda. Estos productos permiten mantener apagadas las balizas de posición de los aerogeneradores y encenderlas solo cuando una aeronave se acerca a la zona de exclusión del parque eólico, manteniendo la seguridad en la navegación y eliminando la contaminación lumínica y, por tanto, el impacto que provocan sobre los ecosistemas, la salud humana y el paisaje nocturno. Este es el caso de Parasol.

### *Parasol, un sistema pionero y seguro*

Parasol opera mediante una red de radares pasivos que emplea fuentes de señal preexistentes -radio, televisión y transmisores móviles tipo B, DAB, DVB-T, GMS y UMTS- sin necesidad de emitir radiación adicional al entorno. Está basado en tecnología MSPSR (Multistatic Primary Surveillance Radar) que permite recibir las señales de referencia de transmisores preexistentes ubicados a distancia de entre 2 y 100 km, creando así matrices tridimensionales que, mediante la integración de correlaciones sucesivas tipo FFT, obtienen el desplazamiento eco-Doppler de la aeronave objeto de control. El sistema se compone de módulos de antenas GPS y sensores pasivos MSPSR que triangulan y determinan la posición de aeronaves respecto a los aerogeneradores más cercanos (Figura 3).

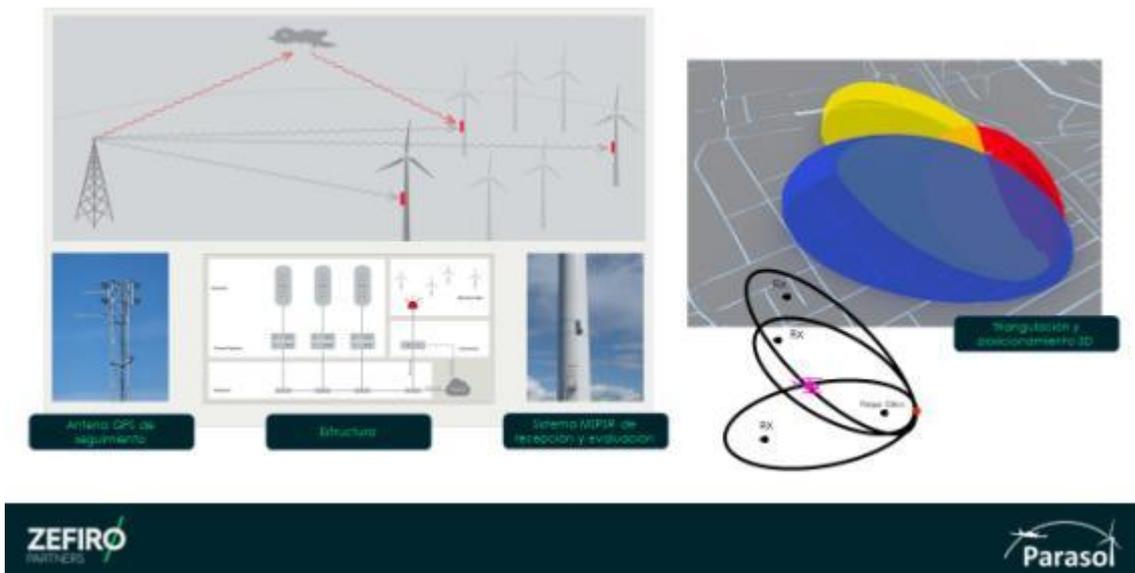


Figura 3. Esquema operativo simplificado de Parasol.

Esta estructura proporciona alrededor de cada obstáculo una cúpula de cobertura en su espacio operativo AVV (Área de Vigilancia Volumétrica) de un radio mínimo de 4.000 metros y una altitud de 1.000 metros. En total, Parasol es capaz de abarcar más de 450 km<sup>2</sup> y detectar cualquier aeronave que vuele a baja cota en ese ámbito y se acerque al área de seguridad definida para el parque eólico.

Además, Parasol es un sistema plenamente seguro que ha sido testado y homologado por el Fraunhofer-Gesellschaft y TÜV SÜD, y que cumple con la normativa de navegación aérea de la Agencia Europea de Seguridad Aérea (BMVI-LF15-20200424-SF-A006). Cuenta con más de 40 instalaciones, principalmente en Alemania y Austria.

## Referencias/Bibliografía

- [1] Narisada, K. & Schreuder, D. (2004). Light pollution handbook. Volumen I. Springer Dordrecht, The Netherlands. 943 pp. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2666-9>
- [2] Longcore, T. & Rich, C. (2004). Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2:191-198. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0191:ELP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2)
- [3] Hirt, M.R., Evans, D.M., Miller, C.R. & Ryser, R. (2023). Light pollution in complex ecological systems. *Philosophical Transaction of the Royal Society* B378:20220351. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0351>
- [4] Jägerbrand, A.K. & Spoelstra, K. (2023). Effects of anthropogenic light on species and ecosystems. *Science* 380: 1125-1130. <https://doi.org/10.1126/science.adg3173>
- [5] Chepesiuk, R. (2009). Missing the dark: health effects of light pollution. *Environmental Health Perspectives* 117(1):20-27. <https://doi.org/10.1289%2Fehp.117-a20>
- [6] Zielinska-Dabkowska, K.M., Schernhammer, E.S., Hanifin, J.P. & Brainard, G.C. (2023). Reducing nighttime light exposure in the urban environment to benefit human health and society. *Science* 380: 1130-1135. <https://doi.org/10.1126/science.adg5277>
- [7] Global Wind Energy Council (2024). Global Wind Report 2024. Brussels, Belgium. 168 pp. [https://gwec.net/wp-content/uploads/2024/04/GWR-2024\\_digital-version\\_final-1.pdf](https://gwec.net/wp-content/uploads/2024/04/GWR-2024_digital-version_final-1.pdf)
- [8] Asociación Empresarial Eólica (2024). Anuario Eólico 2024. La voz del sector. 152 pp. <https://aeeolica.org/anuario-eolico-2024-la-voz-del-sector/>
- [9] Agencia Estatal de Seguridad Aérea (2017). Guía de señalamiento e iluminación de turbinas y parques eólicos. SSAA-17-GUI-126-A01. Edición 1.1. DNSA. 23 pp. <https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/ssaa-17-gui-126-a01.pdf>

## **UN CASO DE ESTUDIO DE IMPACTO SOBRE EL PATRIMONIO, LA PSF VILLANUEVA UNO Y EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE MENGACARA (TORREJONCILLO DEL REY, CUENCA)**

*Ruiz Salazar, F; Serna López, J.L.*

Ideas Medioambientales, S.L., [fernando@ideasmediambientales.com](mailto:fernando@ideasmediambientales.com), Albacete, España.

**Palabras clave:** Estudio de Impacto sobre el Patrimonio; Arqueología; Excavación arqueológica; Patrimonio; Calcolítico; Fotovoltaica.

### **Resumen**

Se presenta el caso del Estudio de Impacto sobre el Patrimonio de la “Planta Fotovoltaica Villanueva Uno”, cuya construcción precisaba de un Control Arqueológico en Obra, fruto del cual, en una fase avanzada de obra, se localizó un Yacimiento Calcolítico (c. 3000 a.C.). Siendo necesaria la excavación de la zona y una amplia colaboración y coordinación con promotores y constructora para la culminación del proyecto sin que esto supusiera una pérdida para el Patrimonio subyacente y, por tanto, para el conjunto de la ciudadanía. El principal objetivo de los trabajos realizados ha sido la protección, salvaguarda y conocimiento del Patrimonio arqueológico de Cuenca, siguiendo las directrices marcadas por la Ley 9/2020 de Castilla-La Mancha, a la par que se culminaban los trabajos de obra de la Planta Fotovoltaica.

### **Introducción**

La realización de los Estudios de Impacto sobre el Patrimonio Histórico-Artístico y Arqueológico tiene como finalidad primordial determinar la posible existencia de elementos patrimoniales de interés, ya sean yacimientos arqueológicos o paleontológicos, bienes etnológicos, históricos o artísticos, en el área ocupada por las obras de remoción de tierras del proyecto en cuestión, y que pueden verse afectados o destruidos por las mismas, de manera que el conocimiento de los posibles restos permita la adopción de medidas correctoras, bien de protección o de documentación de los mismos.

## Material y Métodos

### *FASE I: Control arqueológico en Obra*

Los trabajos de control y supervisión arqueológico en obra consisten en la supervisión de todos los movimientos de tierra y actuaciones de desbroce, haciendo un mayor hincapié en aquellas zonas susceptibles de afección a yacimientos arqueológicos, con el fin de descubrir restos o yacimientos no evidenciados con anterioridad.



*Figuras 1 y 2 Trabajos de decapado y excavación arqueológica.*

*FASE II: Excavación y documentación arqueológica*

1. Excavación arqueológica en el Yacimiento de Mengacara: El yacimiento de Mengacara se ubica al noroeste del cauce actual del río Cigüela, sobre una pequeña elevación que controla visualmente la vega del río, surcada por varios paleocauces. Se trata de un asentamiento de tamaño medio, se excavó un área de unos 2500 m<sup>2</sup>, documentando numerosos silos-hoyo y al menos 6 cabañas, todo ello alrededor de un espacio abierto, empleado como taller lítico.
2. Levantamiento topográfico y fotogramétrico, se realizaron levantamientos con GPS y un vuelo Dron para obtener una fotogrametría de la zona intervenida



*Figuras 3 y 4. Restos de fauna y humanos localizados durante la excavación*

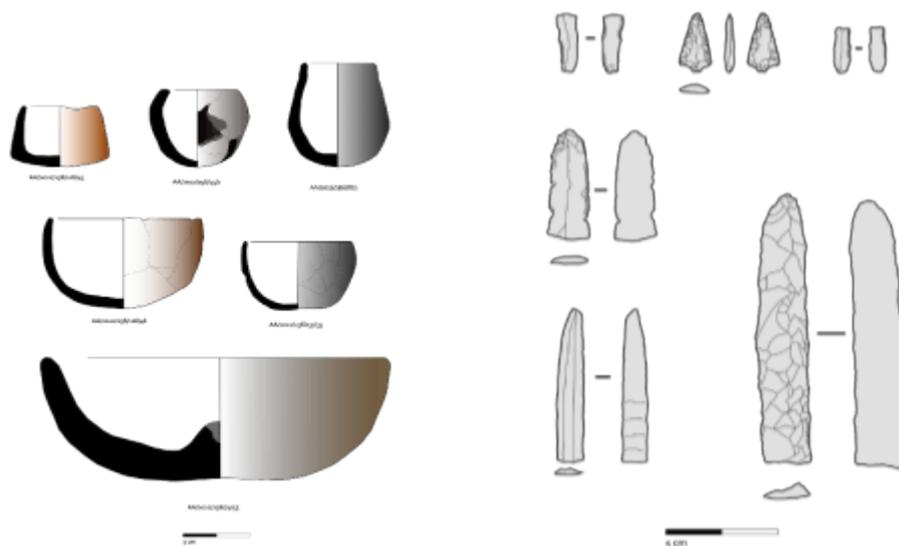


*Figuras 4 y 5. Ubicación del yacimiento de Mengacara y la Planta Solar Fotovoltaica Villanueva UNO*

*FASE III: Estudio e inventariado de materiales*

Los trabajos de excavación nos permitieron recoger y salvaguardar un importante volumen de material arqueológico, que va desde cerámica de uso cotidiano, hasta restos óseos de los habitantes del poblado.

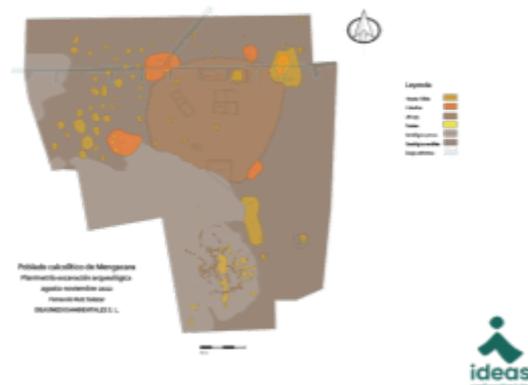
Su estudio e inventariado es un requisito imprescindible, no solamente, por su obligatoriedad de cara a la administración, sino porque son estos materiales los que nos permiten fechar y sobre todo entender como vivieron nuestros antepasados.



*Figuras 6 y 7. Dibujo arqueológico de material selecto localizado durante la intervención*

*FASE IV: Investigación y publicaciones científicas*

Las características del yacimiento de Mengacara, la calidad de sus materiales, y sobre todo la falta de estudios sobre este período en la provincia de Cuenca, nos han motivado para realizar estudios específicos con el objetivo de que nuestros resultados vayan más allá de la memoria final de excavación depositada en el Servicio de Patrimonio Territorial de Cuenca de la Viceconsejería de Cultura de Castilla-La Mancha.



*Figuras 8. Planimetría final Yacimiento Arqueológico de Mengacara*

Fruto de esto, se está colaborando con la Universidad de Alicante, cediendo materiales para la realización de un Trabajo Final de Máster centrado en el repertorio lítico de Mengacara, mientras que de forma interna se estudian los restos cerámicos y de fauna recuperados.

En un futuro cercano, se redactará una monografía específica sobre el yacimiento arqueológico de Mengacara.

**Resultados**

Gracias a los trabajos realizados, se ha documentado por completo un asentamiento Calcolítico Precampaniforme. Uno de los pocos que han sido objeto de un estudio sistemático en la provincia de Cuenca.

Gracias a estos trabajos, hemos podido mejorar nuestro conocimiento sobre las poblaciones humanas en un período escasamente estudiado, dado que nos encontramos con poblaciones que siguen practicando la movilidad estacional y cuyos asentamientos son de carácter efímero.

## Discusión y Conclusiones

Después de todo lo planteado anteriormente, nos reafirmamos en la necesidad e importancia de los Estudios de Impacto sobre el Patrimonio, ya que, el caso de Mengacara es uno más de los muchos elementos arqueológicos que están siendo documentados en fases de construcción.

Estos trabajos nos permiten ampliar y ahondar en el conocimiento que tenemos sobre nuestro pasado.

Citando a Carl Sagan “Hay que *conocer tu pasado, para entender el presente*”

**Referencias /Bibliografía:**

RUIZ SALAZAR, F. (2024). Memoria de impacto sobre el Patrimonio. Excavación Arqueológica Yacimiento de Mengacara.

## ASPECTOS MÁS RELEVANTES A CONSIDERAR POR LOS PLANES DE VIGILANCIA AMBIENTAL EN FASE DE CONSTRUCCIÓN DE PARQUES EÓLICOS Y PLANTAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

*Pulgar Noriega, A.<sup>1</sup>; Tronco Suárez, R.<sup>1</sup>; Sánchez Reguero, A.<sup>1</sup>; Rodríguez García, J.<sup>2</sup>; Pérez García, J.<sup>2</sup>; Granero Castro, J.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Área de Consultoría, <sup>2</sup>Área Medio Ambiente y Sostenibilidad.*

Taxus Medio Ambiente, [apulgar@taxusmedioambiente.com](mailto:apulgar@taxusmedioambiente.com), Oviedo, España

**Palabras clave:** Plan de vigilancia ambiental; Fase de construcción; Parque eólico; Planta solar fotovoltaica; Fauna; Ruido; Agua.

### Resumen

Los Planes de Vigilancia Ambiental desarrollados durante la fase de construcción de parques eólicos y plantas solares fotovoltaicas pretenden dar garantía y cumplimiento a las medidas protectoras y correctoras establecidas en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y las Declaraciones de Impacto ambiental (DIA).

Mediante el seguimiento de numerosas obras de construcción ejecutadas durante los últimos años, se hace cada vez más evidente la necesidad de hacer hincapié en la supervisión ambiental de los trabajos, tanto en el momento de la planificación de éstos, como durante el transcurso de los mismos para conseguir unos buenos resultados.

El presente trabajo pretende recopilar los aspectos más relevantes que deben considerarse en los planes de vigilancia ambiental, resumiendo los sucesos más habituales o reseñables que han ido apareciendo a lo largo de las vigilancias ambientales de numerosos proyectos de construcción.

### Introducción

A continuación, se hace un resumen de los principales aspectos ambientales a considerar tras la ejecución de los planes de vigilancia ambiental en obra de más de cincuenta proyectos eólicos y fotovoltaicos.

### Material y Métodos

Por lo general, los condicionados de la DIA y el Programa de Vigilancia Ambiental, vienen a incluir los siguientes apartados en las diferentes fases de obra:

Previo al **inicio de los trabajos** deberán realizarse las siguientes actuaciones:

- Designación y comunicación de un **Director Ambiental** que será el responsable de adoptar las medidas preventivas, correctoras y compensatorias necesarias, desarrollar el programa de vigilancia ambiental y emitir los informes técnicos correspondientes sobre el cumplimiento de la DIA.
- Redacción del **Plan de Vigilancia Ambiental**, en el que se incluye la metodología para realizar el seguimiento ambiental, la periodicidad de las visitas y las medidas preventivas o correctoras a adoptar en caso de necesidad.
- Propuesta de un **Proyecto de Restauración y Medidas Compensatorias** en donde se definan las actuaciones a desarrollar en la restauración ambiental de los terrenos afectados por el proyecto y las medidas compensatorias encaminadas a la compensación por pérdida del hábitat para las especies presentes en la zona.
- **Prospección de Flora y Fauna** previa al inicio de los trabajos de desbroce y movimiento de tierras con el objeto de certificar la presencia o no de especies de flora amenazada y/o vegetación de interés, así como localización de nidos o lugares de concentración de animales que pudieran ser eliminados de forma directa.
- **Estudio “Cero” de la Calidad de las Aguas** en donde se identificarán las zonas encharcadas y arroyos potencialmente afectados, con el objetivo de que los posteriores análisis tengan una referencia con la que compararse.
- **Campaña “Cero” de Mediciones Acústicas** se propondrá un programa de seguimiento; seleccionando una serie de puntos que cubran el entorno afectado y entre los que figurarán los núcleos de población y viviendas más próximas a la instalación.
- **Identificación, Señalización y Balizado** de los elementos ambientales y arqueológicos a proteger.

Durante la **Fase de Obra** las actuaciones imprescindibles para lograr unos resultados satisfactorios son:

- **Control de Obras:** visitas cuya periodicidad variará en función de las necesidades que la obra tenga en cada fase. Dada la sensibilidad de los aspectos ambientales se recomienda la presencia continua de un coordinador ambiental.
- **Mediciones Acústicas:** en base al estudio “cero” y a los puntos de medición más significativos seleccionados, se realizan mediciones con sonómetro de acuerdo a lo establecido en el RD 1367/2007 de Ruido[1].
- **Mediciones de Calidad de las Aguas:** se realizan mediciones in situ, con sonda multiparamétrica, de parámetros físicoquímicos básicos (pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, etc.) en base al RD 817/2015 de calidad y estado de las aguas superficiales[2].
- **Seguimiento de Avifauna:** visitas con revisión de transectos y puntos de observación. Localización de posibles emplazamientos de nidificación, refugios o puntos sensibles de especies de interés.
- **Seguimiento de Quirópteros:** instalación de cajas grabadoras de quirópteros en continuo y visitas periódicas para la descarga de datos y mantenimiento.

- **Seguimiento de Herpetofauna y otra Fauna:** inspección de puntos de reproducción de anfibios y búsqueda de ejemplares bajo piedras, troncos y otros objetos susceptibles de proporcionar refugio.
- **Seguimiento Arqueológico:** control a pie de obra durante la fase de movimiento de tierras con especial atención las zonas de viales, zanjas de interconexión y plataformas.



*Imagen 1*



*Imagen 2*



*Imagen 3*



*Imagen 4*



*Imagen 5*



*Imagen 6*



*Imagen 7*



*Imagen 8*



*Imagen 9*



*Imagen 10*

## Resultados

Los resultados que más se repiten durante la fase de obra de proyectos eólicos y fotovoltaicos son:

### Control de Obras:

Durante las visitas realizadas, se supervisan todas las actividades ejecutadas, así como los imprevistos y emergencias acaecidos. Las incidencias ambientales más repetidas en fase de obra son:

- En el 43 % de los casos: Falta de orden y limpieza en la obra (residuos peligrosos o no peligrosos fuera de los puntos limpios).
- En el 37 % de los casos: No se segregan correctamente los residuos peligrosos y/o no peligrosos en los puntos limpios.
- En el 9 % de los casos: Necesidad de realizar riego de viales y/o zonas auxiliares, debido a la formación de nubes de polvo.
- En el 7 % de los casos: Inadecuada extracción y acopio de la tierra vegetal necesaria para la posterior restauración.
-

- En el 4 % de los casos: Formación de cárcavas durante los trabajos de movimiento de tierras y arrastre de sedimentos.



Gráfica 1. Incidencias más repetidas durante la fase de obra.

#### Control de residuos:

En la siguiente tabla se indican los residuos de construcción y demolición que más se generan durante la construcción de un parque eólico y una planta fotovoltaica, así como las cantidades medias y su tratamiento de valorización o eliminación según la Ley 7/2022 [3]:

LER	RESIDUO	PE (kg)	PFV (kg)	Tratamiento
17 09 04	RCD mezclados	107.643	10.835	R5
17 01 07	RCD limpios	45.809	38.575	R5
17 02 01	Envases madera	28.339	59.110	R12
17 02 03	Envases plásticos y envoltorios	6.670	12.545	R12
15 01 10*	Envases contaminados	500	82	R13
15 02 02*	Absorbentes contaminados	428	77	D15
15 01 11*	Aerosoles	54	35	R13

Tabla 1. Tipología y cantidades de los residuos más frecuentes generados en fase de obra.

### Seguimiento de la fauna:

Un adecuado seguimiento de la fauna permite conocer la afección que el proyecto tiene sobre las diferentes comunidades, si la distribución de las especies cambia con respecto a los seguimientos previos y si hay aparición de especies nuevas.

La fase de mayor afección para las aves esteparias en su fase reproductiva es durante los desbroces y/o movimiento de tierras.

La localización a tiempo de nidos de rapaces permite la implantación de medidas correctoras como la reducción de trabajos que ocasionen molestias hasta la cría de los pollos.

### Control de la calidad del agua:

La fase de movimiento de tierras, apertura de zanjas y viales es la que más afección puede tener sobre charcas y/o cursos de agua.

Estas zonas se deben balizar y proteger para no ser afectadas. Al finalizar la obra, se verificará que quedan limpias y se mantiene su forma original.

### Mediciones acústicas:

Las emisiones sonoras se incrementan notablemente durante los trabajos de excavación, voladuras y movimiento de maquinaria.

El plan de seguimiento permite detectar superaciones de los niveles de ruido y establecer las medidas correctoras oportunas.

### Control arqueológico:

Todos los trabajos que impliquen una afección sobre el terreno (desbroces, zanjas, cimentaciones, desmontes, etc.) requieren un control arqueológico intensivo. En un 30% de los proyectos aparecen hallazgos arqueológicos que en la fase previa de prospección no se identificaron.

## Discusión y Conclusiones

A lo largo de estos años, Taxus Medio Ambiente ha participado en muchos y diferentes proyectos de construcción de parques eólicos y plantas fotovoltaicas.

La experiencia adquirida nos permite identificar una serie de ítems importantes a tener en cuenta durante la vigilancia ambiental:

- Antes del inicio de las obras, es recomendable **identificar** para su protección los **elementos sensibles** del entorno:
  - Vegetación protegida.
  - Nidos de especies protegidas, majanos, refugios de fauna, etc.
  - Hábitats de interés comunitario y prioritario.
  - Lugares de Interés Comunitario (LICs).
  - Yacimientos arqueológicos, vías pecuarias y otro patrimonio cultural.
  - Áreas geológicas protegidas.
  - Cauces, embalses y otras aguas superficiales en general.
- Balizar charcas y/o cursos de agua y verificar la limpieza y forma original tras la obra. Balizar el contorno de los árboles a una distancia del tronco similar a su diámetro de su copa, para evitar daños a las raíces en la excavación de zanjas, o en las ramas por la circulación de maquinaria.
- Realizar periódicamente labores de formación y concienciación de todo el personal para que tengan en cuenta los requisitos ambientales de la obra.
- La gestión de los residuos que se van a generar en la obra debe estar descrita en los Planes de Gestión de Residuos (PGR), en los cuales deben recogerse los requisitos específicos del proyecto (Autorizaciones ambientales como DIA, AAI, AAU, Planes de Vigilancia Ambiental, etc.).
- Mantener la obra limpia y ordenada, estableciendo una zona específica para el acopio de materiales y gestión de residuos. Evitando que los residuos ligeros se vuelen por efecto del viento (especialmente en Plantas Fotovoltaicas).
- Aplicar riegos sobre los viales para evitar las emisiones de polvo que se producen con el paso de vehículos y maquinaria. Asegurando que se dispone de permiso de captación de agua para riego (emitido por el organismo correspondiente: Ayuntamiento, Confederación Hidrográfica, etc.). Verificar que no se exceden los límites de captación de agua autorizados y solicitar con la antelación suficiente, la ampliación de la autorización en caso necesario.
- Optimizar el movimiento de tierras, minimizando la pérdida de suelos y evitando recurrir a préstamos y a vertederos.
- Retirar la capa superficial de tierra vegetal y acopiarla en caballones cumpliendo los requisitos que se establezcan en la documentación ambiental aplicable. No se debe mezclar la tierra vegetal con el resto de materiales de excavación.

- Situar los elementos que puedan producir chispa (grupos de soldadura o electrógenos, motores, etc.) en una zona sin vegetación y alejados de depósitos de combustible.
- Un adecuado y periódico seguimiento de fauna facilita conocer la afección en las diferentes comunidades, la distribución de especies respecto a los estudios previos y los posibles impactos sobre las mismas.
- El plan de seguimiento de calidad acústica permite detectar superaciones de los niveles de ruido y establecer medidas correctoras oportunas.
- Una intervención arqueológica permanente y a pie de obra permite confirmar la presencia o ausencia de cualquier elemento de interés arqueológico y adoptar medidas para proteger los bienes patrimoniales.

## Referencias /Bibliografía

- [1] Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- [2]Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.
- [3]Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

## **EL UMBRAL DE NITIDEZ COMO FACTOR DETERMINANTE EN LOS ESTUDIOS DE PAISAJE DE UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA**

*Pérez García, J.R.<sup>1</sup>, Sánchez Añíbarro, E.<sup>1</sup>, Iglesias Fernández N.<sup>1</sup>, Granero Castro J.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Área Medio Ambiente y Sostenibilidad, Taxus Medio Ambiente,

[jrperez@taxusmedioambiente.com](mailto:jrperez@taxusmedioambiente.com), Oviedo – Asturias

**Palabras clave:** Planta solar fotovoltaica; Visibilidad; Nitidez; Paisaje; Impacto paisajístico

### **Resumen**

Entre los retos que se presentan a la hora de realizar un estudio paisajístico, la percepción visual de los elementos de un proyecto es un aspecto complejo dada su subjetividad. Con el incremento de la distancia, las limitaciones perceptivas del ojo humano reducen considerablemente la nitidez visual percibida. Por consiguiente, en los análisis de visibilidad es crucial considerar la nitidez como un factor determinante. La herramienta que se propone para su valoración en plantas solares fotovoltaicas es la clasificación de la cuenca visual en umbrales de nitidez, es decir, en áreas que permitan cuantificar la calidad con la que un observador es susceptible de discernirlos paneles fotovoltaicos dependiendo de la distancia y de las proporciones de los mismos. Con esta metodología se pretende complementar el análisis del impacto paisajístico asociado a este tipo de tecnología, además de evaluar la idoneidad de las medidas de mitigación de la afección visual.

### **Introducción**

La magnitud del impacto visual no solo está relacionada con las características constructivas del proyecto en cuestión, que en gran medida se traducen en su altura y extensión territorial, sino también con la distancia a la que se realiza la observación. La capacidad de un observador para diferenciar elementos dentro del paisaje, por tanto, es función de sus dimensiones y de la distancia a la que estén situados. Cuanto mayor sea el tamaño y más próximos se encuentren, más relevancia cobrarán en el entorno.

La determinación de la afección paisajística debe tener en cuenta que el aumento de la distancia provoca una pérdida de precisión o nitidez de la visión y debido a las condiciones de transparencia de la atmósfera y los efectos de curvatura y refracción de la tierra, tiene un límite máximo por encima del cual no es posible distinguir los objetos. Esto implica que a medida que nos alejamos, los detalles de la planta fotovoltaica van dejando de percibirse, hasta difuminarse [2].

Por este motivo, se propone un análisis de la visibilidad que incorpora una clasificación del espacio en umbrales de nitidez, de manera que se adopta un sistema cualitativo de ponderación de la visibilidad en función de la distancia (Figura 1) [1].

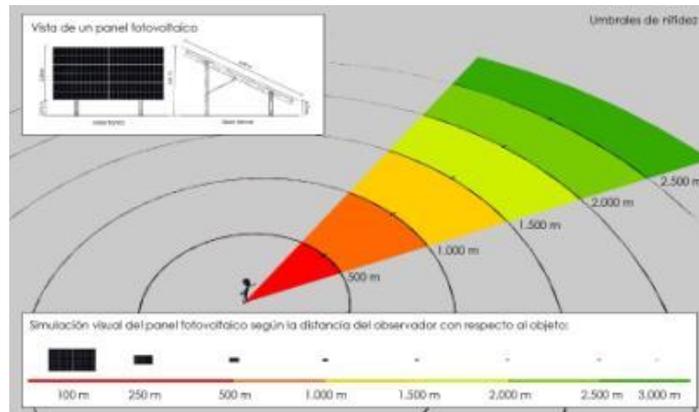


Figura 1. Infografía de la visibilidad de un modelo tipo de una planta fotovoltaica según los umbrales de nitidez

## Material y Métodos

En función de la actuación de que se trate, su implantación repercutirá en la transformación del paisaje a diferentes niveles.

La escala de un proyecto fotovoltaico tiene que ver con la configuración de los elementos constructivos del mismo y, aunque estos supongan superficies de ocupación limitadas, ha de reconocerse el carácter de las mismas y el rol que sus elementos más significativos, los paneles fotovoltaicos, adquieren dentro del paisaje en el que se introducen [3].

En primer lugar, se identifica la **superficie de implantación** (Figura 2) que resulte necesaria para la correcta valoración de la intrusión que la actuación supone en el paisaje.

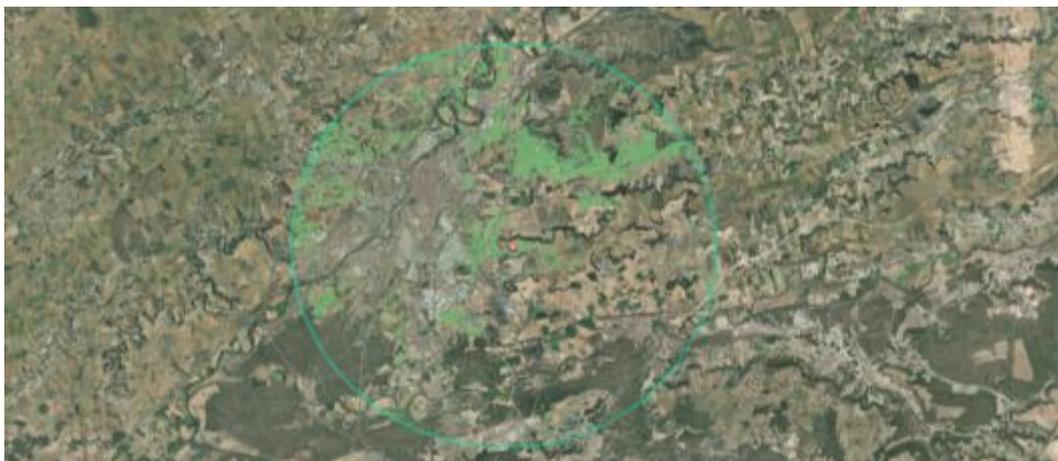
Para ello, se tomará como base la superficie abarcada por los módulos fotovoltaicos, pudiendo establecerse una envolvente en torno a los mismos o tomar directamente como tal, el vallado perimetral de la planta.



Figura 2. Delimitación del área de implantación de los módulos fotovoltaicos

Los Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS, QGIS, etc.) cuentan con herramientas avanzadas de cálculo de cuencas visuales que permiten conocer con precisión las zonas del territorio que se verán afectadas visualmente por la implantación de un nuevo proyecto.

Para su determinación, se genera una malla uniforme de puntos que cubra toda la extensión de la superficie de implantación, a los cuales se les otorga como referencia visual una altura correspondiente a la altura máxima de los paneles fotovoltaicos (por ejemplo, 4 m). Estos puntos serán utilizados para el cálculo de la cuenca visual a partir del Modelo Digital de Superficies de mayor detalle disponible en una envolvente de actuación proporcional a la magnitud del proyecto (por ejemplo, 10 km). El archivo generado (Figura 3) asigna a cada celda o pixel del territorio valores binarios de visibilidad (0=no visible; 1= visible).



*Figura 3. Superficie visible (en verde) en la envolvente de 10 km*

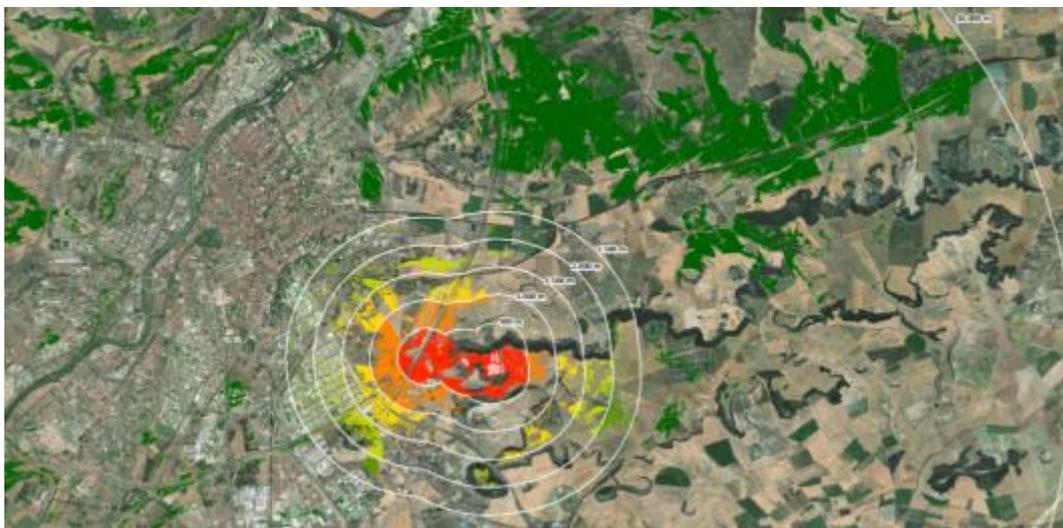
La precisión de las zonas visibles, asimismo, disminuye con la distancia ya que a medida que esta aumenta, lo hace también el área asignada a la superficie de implantación. Esta pérdida se corresponde en realidad con la pérdida de precisión por razones fisiológicas o de nitidez. A partir de 2 km, aproximadamente, las limitaciones perceptivas del ojo humano, disminuyen considerablemente la nitidez visual percibida; por ello, se procede al establecimiento de umbrales de nitidez siguiendo las indicaciones de las guías de estudios de impacto e integración paisajística existentes [4], [5].

Para ello, se generan diversos **envolventes de nitidez** en torno a la superficie de implantación, tomando intervalos de 500 m y atribuyendo valores de máxima nitidez a baja nitidez, según la relación presentada en la Tabla 1. El valor límite para considerar un grado de nitidez muy bajo o mínimo se establece en 2.500 m para este tipo de infraestructuras.

Nitidez	Umbral de nitidez
Máxima	500 m
Muy Alta	1.000 m
Alta	1.500 m
Media	2.000 m
Baja	2.500 m
Muy Baja	10 km

*Tabla 1. Rango y calificación de los umbrales de nitidez propuestos*

La superposición de la superficie visible de la cuenca visual con las distintas envolventes asociadas a cada uno de los umbrales de nitidez definidos permite crear una **malla de nitidez** (Figura 4) que favorece el análisis del impacto visual del proyecto en función de la distancia, considerando al mismo tiempo la visibilidad de los paneles fotovoltaicos y el grado de definición.



*Figura 4. Malla de nitidez*

La evaluación del impacto visual debe mostrar el campo de visión y el grado de nitidez de los paneles fotovoltaicos desde diferentes **puntos de observación** (Figura 5) situados en la envolvente de 10 km. Estos son los lugares del medio desde los cuales se percibe el paisaje en mayor grado, dada su predisposición a la acumulación o afluencia de público.

Entre estos se incluyen:

- Entidades de población
- Vías de comunicación
- Rutas senderistas, áreas recreativas, miradores, centros de interpretación, establecimientos turísticos y otros espacios de afluencia masiva
- Otros puntos de elevado valor natural, cultural y paisajístico relacionados con la presencia de Bienes de Interés Cultural, Espacios Naturales Protegidos, singularidades paisajísticas, etc.

La selección de puntos deberá ser representativa del entorno del proyecto y se llevará a cabo en función del número de observadores potenciales, la distancia al mismo, la duración de la visión o la calidad de la misma.

La visibilidad y nitidez del proyecto desde los diferentes puntos de observación establecidos se calcula en base al solapamiento entre estos y la malla de nitidez que ya integra la superficie visible del proyecto.



*Figura 5. Selección de puntos de observación dentro de la cuenca visual  
(en morado: Bienes de Interés Cultural)*

## Resultados

Una vez integradas la cuenca visual y los umbrales de nitidez respecto a los puntos de observación de interés, se determinará el impacto paisajístico.

El resultado obtenido dependerá del tipo de geometría de partida (puntos, polígonos o líneas), obteniéndose, para el análisis de la visibilidad, puntos, superficies o longitudes visibles y, un valor umbral, para el análisis de la nitidez.

La Tabla 2 muestra los resultados del análisis de la superficie visible y el grado de nitidez de una planta solar fotovoltaica desde diferentes puntos de observación seleccionados. Estos puntos se corresponden con 10 Bienes de Interés Cultural (BIC) con una geometría poligonal, por lo que se puede inferir el rango de la superficie visible del proyecto dentro de la envolvente de estudio (en %) en el que se encuentran.

Atendiendo a los 8 de los 9 BIC que presentan afectación visual, la mayoría de los mismos se sitúan en rangos de visibilidades de la planta fotovoltaica medios-altos (60-100 %); sin embargo, tan solo dos presentan una nitidez asociada catalogada como alta o muy alta, por lo que el impacto paisajístico estimado se minimiza significativamente.

Punto de observación	BIC relacionado	Superficie visible del proyecto (%)	Nitidez
A	Teso Grande o Teso de San Francisco	80 - 10	Baja
B		0	No visible
C		60 - 80	Muy Baja
D		80 - 100	Muy Baja
E		80 - 100	Muy Baja
F		0	No visible
G	Castillo de Enrique II o de Trastámara	80 - 100	Media
H	Palacio de Los Águilas	60 - 80	Baja
I	Ruinas del Convento de San Francisco	80 - 100	Muy Alta
J	Catedral de Nuestra Señora de Santa María	80 - 100	Alta

Tabla 2. Ejemplo del resultado del análisis de la nitidez en diferentes puntos de observación

## Discusión y Conclusiones

El paisaje se ha convertido actualmente en un elemento esencial en los estudios de impacto ambiental, considerándose como un factor aislado dentro del conjunto de elementos que conforman el medio, al limitarse casi en exclusiva al análisis de la visibilidad de las instalaciones a incorporar.[4] El establecimiento de umbrales de nitidez supone un complemento a la evaluación del impacto paisajístico que comporta la instalación de plantas solares fotovoltaicas, permitiendo una valoración más precisa y ajustada a la realidad.

De este modo, el impacto paisajístico global facilitará la selección del emplazamiento de pantallas vegetales (Figuras 6 y 7) o determinará la necesidad de incorporar cambios en el diseño o la distribución de los componentes de la planta, como medidas de integración paisajística.

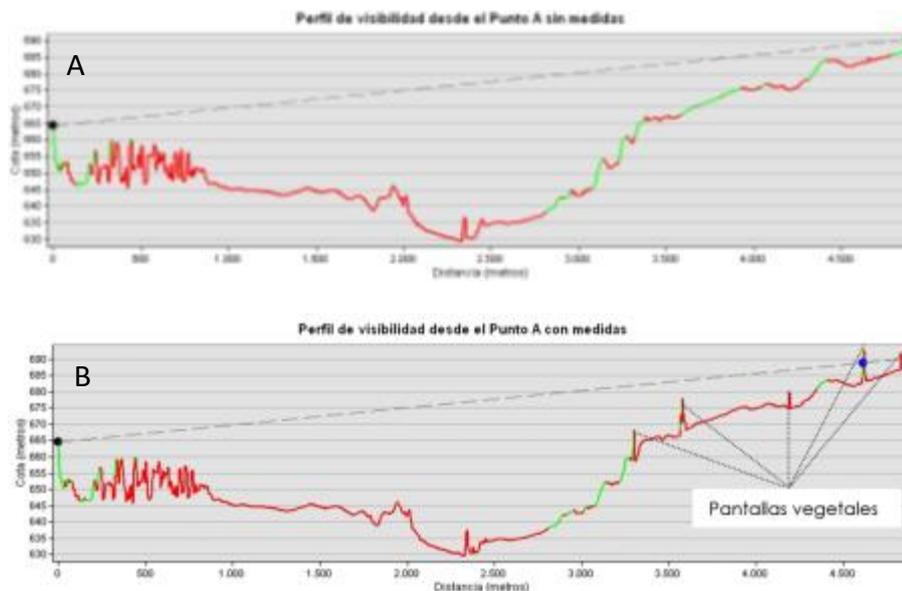
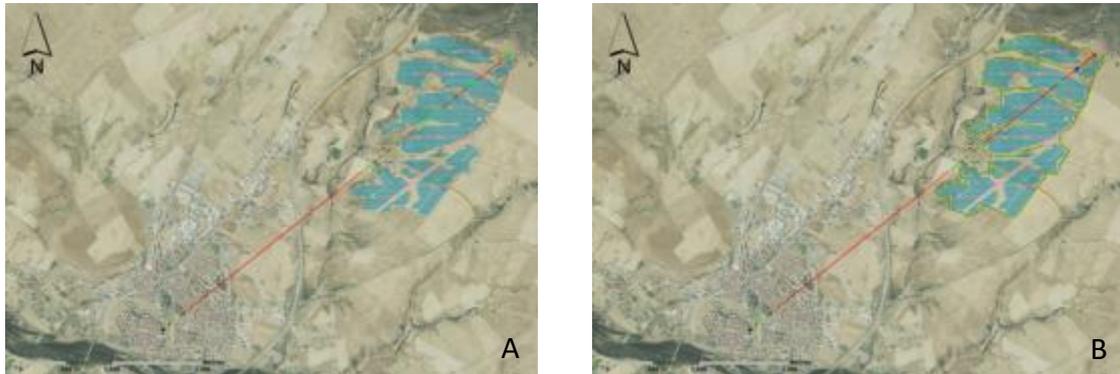


Figura 6. Perfil de visibilidad de una planta solar fotovoltaica desde un punto de observación sin aplicación de medidas de integración paisajística (A) y con aplicación medidas (B)



*Figura 7. Perfil de visibilidad de una planta solar fotovoltaicas desde un punto de observación sin aplicación de medidas de integración paisajística (A) y con medidas (B)*

Paralelamente, la adecuación de estas medidas puede ser comprobada mediante la realización de infografías o simulaciones desde cada uno de los puntos de observación analizados. Ello aportará una aproximación sobre la localización de los paneles solares fotovoltaicos en el espacio desde diferentes perspectivas y, además, posibilitará un análisis visual comparativo entre los distintos escenarios posibles: escenario original, incorporación del proyecto e implementación de medidas de integración paisajística (Figura 8).



*Figura 8. Comparativa gráfica de la zona de implantación de una planta solar fotovoltaica en tres escenarios: A: escenario original, B: implementación del proyecto y C: incorporación de pantalla vegetal como medida de mitigación visual*

## Referencias /Bibliografía

- [1] Borobio Sanchiz, M., García García, M., Rodríguez, F., López Bedoya, J., Pernas, C., Pérez-Alberti, A. & Zas, E. (2012). Guía de estudios de impacto e integración paisajística.
- [2] USDI Bureau of Land Management (1986). Visual Resource Management. Division of Recreation and Cultural Resources, Washington, DC Yeomans, W.C., Visual Impact Assessment: Changes in natural and rural environment. Foundations for Visual Project analysis.
- [3] Adler. (1994). Fisiología del ojo. W. M. Hart (Ed.). 9ª Edición
- [4] Grijota Chousa, J. (2012). Hacia una metodología unificada en los estudios de afección al paisaje. Una propuesta. Asociación Técnica de Ecología del Paisaje y Seguimiento Ambiental (ECOPÁS). CONAMA 2012.
- [5] Ribas, J. (2012). Estudios del paisajismo en manual de la ciencia del paisaje, teoría métodos y aplicaciones. Editorial MASSON. Barcelona, España. 216 p.

## EL ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO Y LA PARTICIPACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN PROACTIVA DEL IMPACTO SOCIAL

*Alonso Tamargo, S.; Martínez García, A.; Pérez Burgos, C.; Granero Castro, J.*  
Taxus Medio Ambiente, S.L., [cperez@taxusmedioambiente.com](mailto:cperez@taxusmedioambiente.com), Oviedo.

**Palabras clave:** Estudio de impacto social; Participación; Energías renovables; Concurso de capacidad; Comunicación; Responsabilidad social.

### Resumen

A menudo, los proyectos de energías renovables implican un rechazo social debido a la falta de información en la comunidad local, que dificulta su desarrollo.

Un estudio de impacto socioeconómico puede ser la clave para caracterizar la población y diseñar mecanismos de participación eficaces para integrar a la comunidad de forma proactiva. Este aspecto cobra especial relevancia en el momento actual, con la publicación del Real Decreto 1183/2020 [1] y la inminente celebración de los concursos de capacidad en las subestaciones eléctricas.

La metodología propuesta por TAXUS se basa en identificar los impactos sociales del proyecto, conocer a la comunidad y crear un ambiente participativo de escucha activa y diálogo bidireccional. Esto facilita la valoración e integración de medidas de mitigación en el proyecto, favoreciendo la aceptación social y poniendo en valor el compromiso social del promotor.

### Introducción

En los proyectos de energías renovables, cada vez adquieren más importancia los factores sociales y la repercusión de los proyectos en la comunidad local en la que se actúa. Incluso desde la legislación, se fomenta esta apuesta social, como en el Real Decreto 1183/2020 de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica, que destaca la importancia del análisis del impacto socioeconómico de los proyectos incluyéndolo como posible criterio aplicable en los concursos de capacidad de acceso en las subestaciones eléctricas.

Por ello, en los proyectos de energías renovables, debe comenzar a considerarse la comunicación y la participación proactiva de la población del área de interés como un valor añadido a la propuesta, lo que facilitará la aceptación social basada en el conocimiento. Esto también permitirá incluir medidas efectivas y adaptadas a la realidad social del ámbito de aplicación, para mitigar los posibles impactos negativos y maximizar los beneficios sociales [2].

Para que esta participación sea un proceso efectivo, debe cumplir dos aspectos de gran relevancia:

- Contar con el compromiso del promotor.
- Partir de un análisis socioeconómico para adecuar la propuesta participativa a la población.

La participación activa y constante de la comunidad anticipa y mitiga los riesgos sociales y económicos, fortalece la aceptación del proyecto, reduce retrasos, y mejora la imagen del promotor. Además, la integración de medidas sociales promueve una distribución más equitativa de beneficios, y mejora la calidad de vida de las comunidades afectadas y establece una relación de confianza que facilita la sostenibilidad del proyecto.

### **Material y Métodos**

A menudo, los proyectos de energías renovables implican un rechazo social que dificulta el desarrollo de los mismos y en muchos casos esto se debe a una falta de información. La comunicación, entendida como la transmisión de información, la escucha activa y el diálogo bidireccional, pueden ser la clave de una estrategia que favorezca el apoyo social.

Por ello, se plantea una secuencia metodológica que integre esta variable comunicativa, partiendo de la puesta a disposición de la información a través de los canales adecuados, en función de las características de la población, para permitir que las personas se expresen mediante diferentes mecanismos participativos, se tomen en cuenta y analicen sus puntos de vista, integrando al proyecto aquellos que sean viables mediante un plan de acción, que asegure que las medidas de mitigación y los beneficios económicos y sociales reflejen las necesidades y prioridades locales, y se evalúen y comuniquen finalmente los resultados derivados de este proceso de participación.

La secuencia implica, por lo tanto, los siguientes puntos:

Información – Participación – Escucha Activa – Retroalimentación – Implantación – Seguimiento – Comunicación de resultados.

Así, a partir de un estudio socioeconómico del entorno de influencia del proyecto, se puede conocer la realidad social del entorno, y promover una comunicación efectiva que genere un mayor valor compartido y facilite la aceptación social.

El modelo metodológico propuesto se basa en esta secuenciación, proponiendo los siguientes pasos para el desarrollo del estudio:

#### **1) CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA**

Se trata de la primera fase del estudio, que nos aportará la información necesaria para el desarrollo del resto de fases.

En primer lugar, se debe establecer el área de estudio para realizar un análisis de sus características socioeconómicas, con el fin de tener una visión de la realidad social del área de implantación.

De este modo, a través de fuentes oficiales, se realizará una toma y análisis de datos demográficos, de actividad económica y del contexto sociocultural (tejido asociativo, proyectos sociales, bienestar y calidad de vida, etc.) de los municipios de estudio, para interpretarlos y compararlos con datos a nivel supramunicipal [4].

## 2) IDENTIFICACIÓN DE *STAKEHOLDERS*

A partir de los datos de caracterización socioeconómica se deben identificar los “*stakeholder*” o actores clave del territorio [3]. Estos son, aquellas entidades, colectivos o individuos que puedan tener un efecto determinado sobre el proyecto (positivo o negativo), que pueda verse afectados o que tenga interés por el mismo.

Se deben identificar a escala municipal, comarcal, provincial y autonómica, diferenciando aquellos que se correspondan con la administración, entidades privadas y organizaciones no gubernamentales.

Posteriormente, se analizan los más relevantes para el estudio y para el proceso participativo mediante un mapeo, caracterizándolos según dos variables, como son, el nivel de interés y la influencia:

- Nivel de interés: cuánto se preocupa una parte interesada por los resultados. ¿Son beneficiarios o habrá efectos negativos?
- Nivel de influencia: el grado en el que una parte interesada puede hacer o deshacer en las cuestiones referentes al proyecto.

De este modo, analizando estas dos variables, el mapeo nos permite distribuir los grupos de interés en una matriz, estableciéndose cuatro categorías de intervención en cuanto a la participación:



Figura 1. Mapeo de stakeholders

- INVOLUCRAR: Se trata de aquellos grupos de gran influencia y alto interés que van a ser los actores clave del proceso. En ellos deben centrarse los esfuerzos. Se recomiendan reportes constantes y la realización de consultas regulares fomentando su implicación a nivel participativo y tomando en consideración sus aportaciones. Por lo tanto, es el primer grupo sobre el que se debe actuar.
- INFORMAR: Se trata de aquellos grupos que muestran un interés bajo e influencia alta y que se pueden considerar como actores latentes. Con ellos se tratará de mantener un nivel de comunicación constante para satisfacer sus necesidades de información.
- REPORTAR: Grupos con un interés alto, pero con poca capacidad de influencia en el proyecto. En este caso, se recomienda mantener a los grupos informados, y buscar su participación al menos en un perfil bajo (por ejemplo, a través de consultas), ya que pueden ser potenciales grupos clave.
- MONITORIZAR: Para aquellos grupos de baja influencia y bajo interés se recomienda una monitorización, para seguir conociendo sus intereses y posibles variaciones, y un nivel de información con perfil bajo a través de comunicaciones, publicaciones, etc.

### 3) ANÁLISIS DEL PROYECTO

El análisis del proyecto para conocer las características del mismo y las posibles afectaciones desde el punto de vista socioeconómico permitirá identificar riesgos y oportunidades de índole socioeconómica, tanto para el proyecto como para la comunidad local, permitiendo evaluar los posibles impactos y plantear medidas adecuadas.

Estas medidas pueden enfocarse, por ejemplo, a la creación de empleo directo e indirecto, la contribución a la cadena de valor local o, a la mitigación de las problemáticas sociales existentes. Pero todo ello, se derivará de los resultados del proceso participativo, en el que se podrá conocer la prioridad de los grupos de interés frente a estas medidas.

### 4) PROCESO PARTICIPATIVO

Las características de cada grupo identificado en el mapeo de *stakeholders* determinarán su grado de implicación y las metodologías de participación específicas que pueden ser las más adecuadas. De este modo, pueden variar desde la mera transmisión de información para aquellos grupos con un perfil de participación bajo a través de diferentes medios de comunicación (medios locales, web o redes sociales, en función de las características de los grupos objetivo), a la elaboración de encuestas, visitas presenciales, charlas o incluso al desarrollo de dinámica de participación ciudadana para grupos con mayor nivel de interés e influencia [5, 6].

Se trata de fomentar de un modo u otro la participación proactiva y constructiva entre todos los agentes, lo que enriquecerá el proceso en todas las fases en las que se aplique, y mejorará la aceptación social.

### 5) PLAN DE ACTUACIÓN

A través de los procesos informativos y participativos realizados, se identifican las preocupaciones y propuestas de mejora planteadas por la población local, se valora la viabilidad de las mismas y sus posibles alternativas, para que el promotor pueda determinar un plan o estrategia de aplicación de las medidas que considere oportunas, y que favorecerán la aceptación social del proyecto. Considerar el desarrollo de medidas sociales en el plan de inversión ayudará a una gestión más efectiva de los impactos sociales, económicos y ambientales y maximizará los beneficios a largo plazo.

### 6) MONITOREO Y SEGUIMIENTO

Es crucial que sobre este Plan de Actuación se realice un seguimiento a través de indicadores o KPIs (*Key Performance Indicators*) que midan tanto los impactos sociales y económicos como el grado de cumplimiento de las acciones implementadas. Mediante la revisión continua de estos indicadores se conseguirá un ajuste del proceso y la mejora continua del plan [2, 3].

Estos indicadores deben definirse de manera que permitan evaluar la efectividad de las medidas adoptadas y asegurar que se mantenga la retroalimentación continua, compartiéndose de manera transparente y constante con la comunidad.

## 7) COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

Una vez establecido por el promotor el Plan de Actuación que se va a desarrollar, deben transmitirse a los grupos participantes tanto las actuaciones a ejecutar como el seguimiento de las mismas a través de sus indicadores, reforzándose de este modo el papel de los intervinientes en el proceso y dándole credibilidad al promotor. Esto puede realizarse mediante charlas en las que además puede facilitarse que los grupos participantes valoren su satisfacción respecto al proceso participativo llevado a cabo.

## 8) PLAN DE COMUNICACIÓN

A lo largo de todo el proceso debe desarrollarse y ejecutarse un Plan de Comunicación transversal que integre los siguientes pasos:

- Análisis de situación e identificación y segmentación de los destinatarios diana.
- Definición de objetivos y alineación con los objetivos comunicativos del promotor.
- Identificación de las estrategias operativas.
- Elaboración de un plan y puesta a punto de tácticas de comunicación en medios tradicionales o en medios digitales.

Este plan facilitará que la comunicación llegue a todos los grupos que interesan y que la información esté disponible y sea accesible para la ciudadanía, mostrando transparencia durante el proceso.

Por otro lado, cabe puntualizar que, en los casos de mayor complejidad, donde los proyectos puedan tener un matiz conflictivo, se recomienda diseñar, de forma paralela, un Plan de Comunicación de Crisis para la gestión adecuada de conflictos y emergencias.

## Resultados

La integración del análisis socioeconómico del área de influencia en un proyecto de energías renovables que además introduzca la participación proactiva como metodología estratégica, va a generar los siguientes beneficios:

- Conocer las expectativas y necesidades de la comunidad.
- Identificar las alternativas y priorizar medidas.
- Anticipar y gestionar los riesgos sociales no previstos del proyecto.
- Conseguir un ahorro económico por posibles gastos derivados de la inadecuada gestión de impactos sociales.

Todo ello debe ir acompañado de una gestión adecuada de la información y de un Plan de Comunicación constante y transversal. Con la difusión de los resultados alcanzados y de las acciones realizadas derivadas del proceso de participación se muestra el compromiso social del promotor y se refuerza el sentido de pertenencia de los participantes. Para ello, es recomendable establecer un Plan de Monitoreo de las Acciones de Mejora Propuestas que incluya:

- Indicadores de seguimiento.
- Frecuencia de monitoreo.
- Análisis de resultados.
- Estrategia de comunicación de resultados.

Este monitoreo permitirá adaptar el proceso a la realidad social de la comunidad y dará flexibilidad al desarrollo del mismo, garantizando su éxito y sostenibilidad.

## Discusión y Conclusiones

El objetivo de un estudio socioeconómico y un proceso participativo dentro de un proyecto de energías renovables es conocer el contexto socio-territorial del proyecto y la comunidad afectada por el alcance del mismo, para plantear las estructuras participativas suficientes que permitan trasladar a la población una información adecuada y facilitar una comunicación bilateral con ellos.

El conocimiento del alcance que va a tener el proyecto y el planteamiento de mejoras que realmente sean de interés social y económico, enfocadas a las necesidades de los grupos de interés locales, evitará el rechazo directo al proyecto y promoverá la aceptación social.

La implicación del promotor fomentando la participación activa y asignando un presupuesto claro y sostenido a este proceso, demuestra su compromiso con la comunidad local. Considerar y valorar sus propuestas, integrándolas en el proyecto ayudará a mejorar la aceptación social, y a que estos proyectos tengan una repercusión socioeconómica positiva en el propio entorno en el que se desarrollan.

## Referencias /Bibliografía

- [1] Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.
- [2] Aledo Tur A. y Domínguez-Gómez J.A. 2018. “Evaluación de Impacto Social. Teoría, método y casos”. Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- [3] Aledo, A. y Aznar-Crespo, P. 2021. “Evaluación de impacto social: Una propuesta metodológica orientada a la gestión proactiva de proyectos”. *OBETS. Revista de Ciencias Sociales*. 16(2): 245-262. <https://doi.org/10.14198/OBETS2021.16.2.02>.
- [4] Granero Castro, J.; Ferrando Sánchez, M.; Sánchez Arango, M.; Pérez Burgos, C; “Evaluación de Impacto Ambiental: Guía Metodológica para la Redacción de Estudios de Impacto Ambiental” N.º 2 edición. FC Editorial. 2015.
- [5] Bustos, R.; García, J. y Chueca, D. “Guía práctica para facilitar la participación ciudadana. Una selección de herramientas presenciales y digitales para el trabajo colectivo”. Departamento de Relaciones Ciudadanas e Institucionales. Gobierno de Navarra. 2018.
- [6] <https://gobiernoabierto.aragon.es/agoab/documentos/metodologias-laaab.pdf>.

## **METODOLOGÍAS PARA LA REALIZACIÓN DE MEDIDAS DE AFOROS PARA LA ADECUACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS Y CÁLCULO DE CURVA DE GASTO**

*Villazán Peñalosa, Beatriz.<sup>1</sup>; Cordón Ezquerro, J.<sup>1</sup>; Escudero Marina, A.<sup>1</sup>; Cabiedas Sánchez, S.<sup>1</sup>, Granero Castro, J.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Área Medio Ambiente y Sostenibilidad, Taxus Medio Ambiente, Oviedo – Asturias  
Tf: 985 24 65 47 – e-mail: [bvillazan@taxusmedioambiente.com](mailto:bvillazan@taxusmedioambiente.com)

**Palabras clave:** Aforos; Curvas de Gasto; Caudal Ecológico; Medidor Magnético Inductivo OTT (MF PRO); Aforador Doppler (ADCP); Central Hidroeléctrica.

### **Resumen**

La actualización y el obligado cumplimiento de los caudales ecológicos impone un seguimiento específico del caudal en los ríos por parte de la administración y cada vez más por las empresas concesionarias de la explotación del recurso hídrico. Esta evolución normativa y la manera de ver/utilizar los cursos de agua implica una estandarización y uniformización a la hora de evaluar el caudal circulante, de manera que se recojan todas las necesidades y utilidades asociadas a ellos (explotación, desarrollo de ecosistemas acuáticos, beneficios para la sociedad...).

En este artículo se exponen dos metodologías/técnicas de medición de caudal circulante basadas en sendas Normas ISO y se busca una uniformidad en su aplicación. Al mismo tiempo se plantea su correlación mediante la obtención de ecuaciones basadas en diferentes escenarios reales de caudal, de manera que se pueda mejorar la precisión y exactitud del cálculo del volumen de agua circulante y al mismo tiempo simplificar y agilizar el control de los caudales vertidos. En resumen, se intenta unificar las “reglas del juego” para todos los organismos/empresas vinculado/as.

### **Introducción**

El establecimiento de los regímenes de caudales ecológicos en ríos constituye uno de los contenidos obligatorios de los planes hidrológicos. Asimismo, el análisis del grado de cumplimiento de dichos caudales es objeto de seguimiento específico.

Así, el obligado cumplimiento de caudales ecológicos junto con lo establecido en los diferentes acuerdos concesionales da lugar a la necesidad de elaborar estudios específicos para la creación de una curva de gasto con objeto de ajustar la relación entre apertura de desagües/compuertas y caudal vertido.

En función del caudal, la profundidad y las condiciones del lecho, la metodología y medición consistirá bien en la utilización de un medidor magnético-inductivo modelo MF-Pro de OTT, bien de un perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP) modelo RiverPro de Teledyne.

El objetivo de este artículo es comparar ambas metodologías de medición de caudales con sus respectivas “limitaciones”, pros y contras para calcular el caudal circulante (ambas basadas en Norma ISO). Como objetivo secundario se plantea mostrar la idoneidad de la aplicación de ambas metodologías para un uso concreto (cálculo de curvas de gasto) y su utilidad en la monitorización de los caudales ecológicos.

## **Material y Métodos**

En función de las condiciones del tramo de estudio (profundidad, velocidad de la corriente, forma del cauce...) se plantean dos metodologías para llevar a cabo la medición del caudal circulante.

Los materiales empleados de manera general son:

- Estacas/jalones de señalización.
- Cinta métrica.
- Cabos y cordino.
- Vadeador.
- Medidor OTT-MF Pro.
- Medidor ADCP River-Pro.
- Ordenador portátil.
- Software Winriver.

### **Metodología OTTMF Pro**

La primera de las metodologías planteadas está basada en la Norma ISO 748:2021 [1].

Esta metodología es apta para cauces poco profundos con una velocidad de corriente reducida-moderada/rápida (evitar el arrastre del técnico) [3].

El primer paso es seleccionar la localización de la estación de medida a ser posible, asegurándose de cumplir ciertos requisitos, entre otros:

- El canal en el lugar de medición debe ser recto y de sección transversal y pendiente uniformes para minimizar la distribución anormal de la velocidad
- Las direcciones de flujo para todos los puntos en cualquier vertical a lo ancho deben ser paralelas entre sí y en ángulo recto con la sección de medición.
- La posición de cada sección transversal, normal a la dirección media del flujo, se definirá en las dos orillas mediante marcadores claramente visibles y fácilmente identificables.
- Las condiciones en la sección y en sus proximidades también deberán ser tales que impidan que se produzcan cambios en la distribución de la velocidad durante el período de medición.
- Deberán evitarse los emplazamientos en los que se presenten vórtices, flujo inverso o aguas muertas.

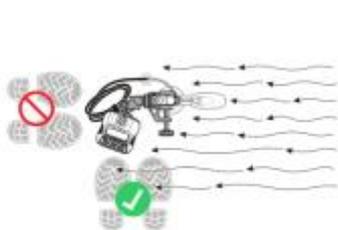
Una vez seleccionada, se dispondrá una cinta métrica de orilla a orilla anclada a elementos naturales/estacas/jalones instalados expresamente para la ocasión. Ha de tener suficiente tensión para evitar el pandeo y así eludir los errores en la medición por este fenómeno. Se anota la anchura del cauce y se vadea para observar la morfología del mismo con el objetivo de hacer una estimación de las zonas que necesitarán más mediciones.

El número de verticales de muestreo depende de la variabilidad de la profundidad del agua y la velocidad de ésta en la sección transversal, pero se muestra una tabla como sugerencia.

Anchura canal	Nº mediciones
< 0,5m	5 – 6
0,5 m - 1 m	6 – 7
1 – 3 m	7 – 12
3 – 5 m	13 – 16
> 5 m	≥ 22

*Tabla 1. Número de mediciones a tomar en función de la anchura del canal*

Es importante mantener una posición adecuada entre el medidor y el técnico para evitar variaciones de flujo que puedan distorsionar la medida.



*Fotografía 1. Posicionamiento y desarrollo de la metodología basada en el equipo OTT MF-Pro*

La primera y la última verticales estarán lo más cerca posible de la orilla del agua. El dispositivo utilizado para la medición de la velocidad puntual se mantendrá en posición durante un mínimo de 30 s para obtener una buena representación de la velocidad media. Se mantendrá de manera que se minimice el movimiento del instrumento durante el período de medición.

TAXUS propone emplear el método reducido por puntos combinando la estrategia de dos puntos y un punto en función de la profundidad de la lámina de agua.

En el método de dos puntos, las observaciones de velocidad se realizan en cada vertical situando el medidor a 0,2 y 0,8 de la profundidad por debajo de la superficie. El valor anotado es el promedio de los dos.

En casos de profundidad cercana o superior al metro se planteará tomar 3 mediciones en cada vertical. Si se da el caso, las mediciones se tomarán a 0,8 0,6 y 0,2 de la profundidad por debajo de la superficie y se registrará el valor calculado a partir de la siguiente fórmula:

$$\bar{v} = 0,25 (v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8})$$

En la medida de lo posible, las verticales deben elegirse de manera que la descarga de cada segmento sea inferior al 5 % del total y no supere el 10 % del total.

Con el dispositivo que emplea TAXUS, el cálculo del caudal lo realiza la unidad de mano del medidor MF Pro. Una vez iniciado el equipo se selecciona la opción de generar un perfil de flujo conforme a la norma ISO 748:2021 y se van introduciendo los datos de cada segmento. Antes de iniciar el perfil se puede seleccionar el método de cálculo aritmético para estimar el caudal total.

Según la ISO 748:2021 puede calcularse con el método “mean section” o “midsection”:

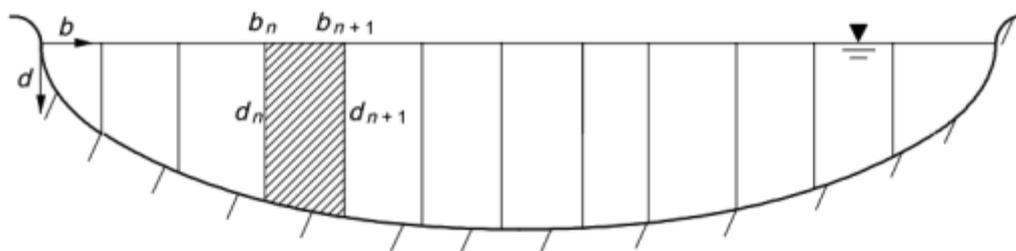


Figura. 1. Diagrama explicativo del método “mean section”. Fuente NORMA ISO 748:2021

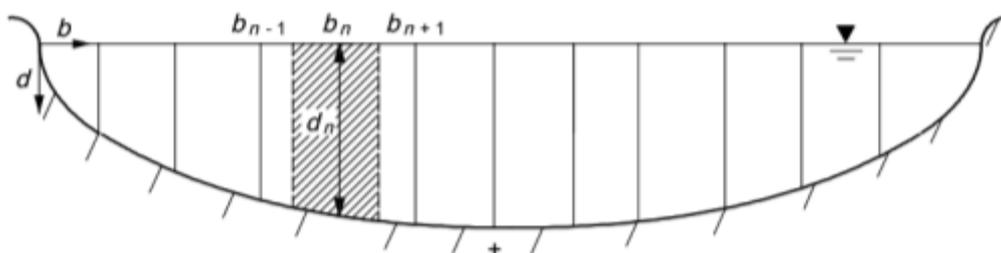


Figura. 2. Diagrama explicativo del método “midsection”. Fuente NORMA ISO 748:2021

El equipo de mano del medidor viene configurado por defecto para calcularlo mediante el “mid-section”.

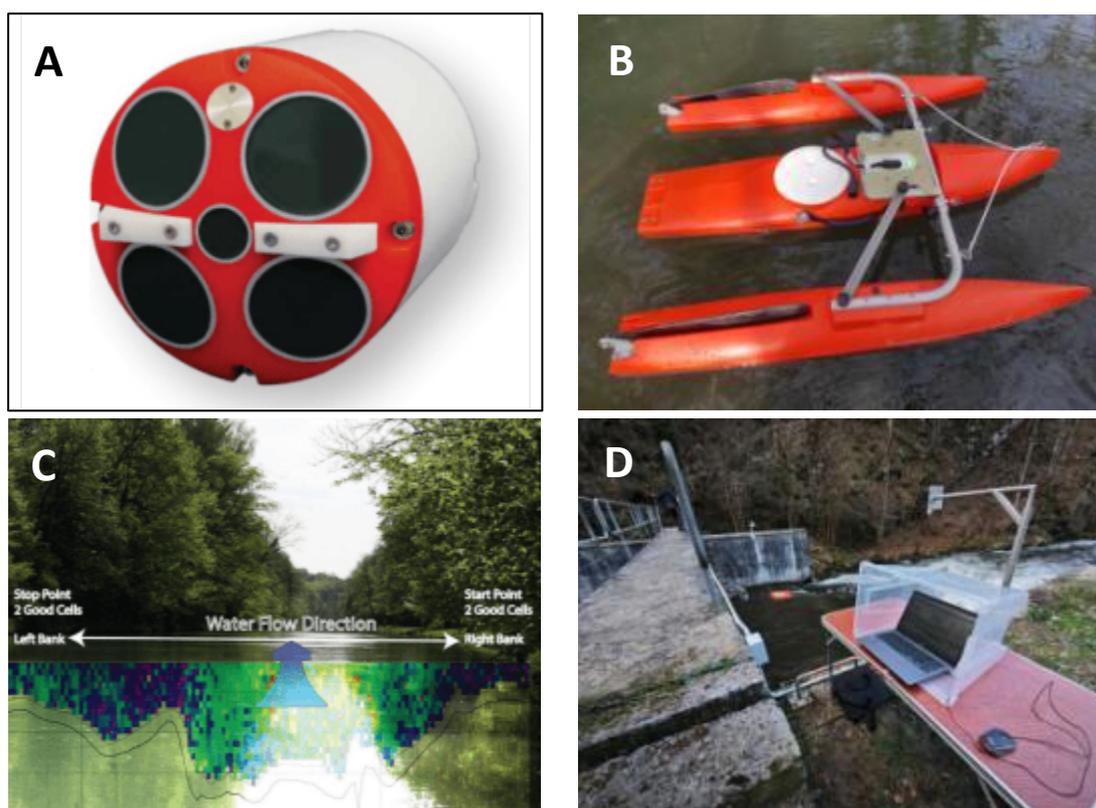
Las ventajas de este equipo son que su uso no está afectado por la presencia de restos en flotación, puesto que no tiene partes móviles, así como un menor coste económico (que el perfilador acústico de corriente – ADCP).

Los inconvenientes de esta metodología planteada son principalmente las limitaciones debidas a las condiciones de caudal y profundidad (puesto que el técnico suele estar metido en el cauce) y la relativa lentitud del desarrollo de las mediciones (sobre todo para cursos de agua de anchura superior a 8-10 metros).

### **Metodología RIVER-PRO**

La segunda metodología planteada por Taxus está basada en la ISO 24578:2021 [2].

Esta metodología emplea un perfilador acústico de corriente (ADCP) basado en el efecto Doppler para hacer el cálculo de la velocidad de flujo, la dirección y la sección transversal para calcular el caudal circulante. Esta tecnología divide cada sección transversal en celdas de profundidad apiladas en las que calcula la velocidad individualmente, enlazando las compilaciones de celdas en ensambles. Este sistema permite hacer frente a distribuciones de velocidad irregulares y condiciones de flujo sesgado, ampliando el margen de elección de la sección transversal.



*Fotografía 2. Instrumentos de medición DopplerSondas laterales de 1200 KHz con una inclinación de 20º y la sonda vertical central de 600KHz(A) y patín remolcado (B). Esquema representativo del proceso de aforo (C)Vista general de una estación de aforo. (D)*

Al igual que en la metodología anterior, conviene seleccionar la localización de la estación de medida a ser posible, asegurándose de cumplir ciertos requisitos:

- La posición de cada sección transversal, normal a la dirección media del flujo, se definirá en las dos orillas mediante marcadores claramente visibles y fácilmente identificables, empleando diversas técnicas para medir la distancia de estos marcadores hasta el borde del cauce para delimitar las zonas en las que el ADCP no puede medir y hay que calcular las velocidades por extrapolación.
- Deberán evitarse los emplazamientos en los que se presenten vórtices, flujo inverso o aguas muertas.
- La profundidad del agua en la sección deberá ser suficiente en todas las etapas para garantizar que el dispositivo que se utilice se ajuste a los criterios mínimos de uso del fabricante. (entre 25 cm hasta 25 m).

Las condiciones de medición ideales se pueden encontrar cuando se cumplen todos los requisitos. Si no se dispone de las condiciones ideales, todavía es posible realizar una medición, pero la incertidumbre aumentará.

Una vez seleccionado el emplazamiento se debe tener en consideración los siguientes principios de funcionamiento:

- Las velocidades a medir deben ser mayores que la velocidad de respuesta mínima del sensor e inferiores a la máxima.
- Los reflectores, tales como los sólidos en suspensión o los detritos de la vegetación, deben estar disponibles en el agua bajo toda la gama de caudales que deben medirse en concentración suficiente para que se produzca una señal de velocidad adecuada.
- Siempre que sea posible, la velocidad media de flotación de la embarcación debe ser inferior o igual a la velocidad media del agua. Además, en la medida de lo posible, la velocidad de la embarcación debe ser uniforme y suave. Si se requieren cambios de velocidad o dirección, estos deben realizarse lentamente.
- Siempre que sea posible conviene que el ADCP debe funcionar en tiempo real (no autónomo) para permitir al técnico monitorear continuamente los datos obtenidos y evitar problemas (celdas o ensambles incorrectos, velocidades inadecuadas...)

Esta metodología tiene áreas de blanqueo en las que no es posible realizar mediciones de velocidad. La descarga para el área superior e inferior no medida se estima utilizando una técnica de extrapolación apropiada y se agrega a través del área medida para obtener una descarga total para cada conjunto.

Como regla general se requiere cumplir las siguientes condiciones:

- Realizar al menos 10 pingueos correctos en los márgenes al inicio y al final del transecto.
- Realizar como mínimo 2 transectos (en pares recíprocos).
- Duración mínima del conjunto de las mediciones de 720 segundos.
- Incertidumbre máxima admisible es de 4,09 %.

Las principales ventajas de esta metodología son:

- Permite afrontar una mayor variabilidad de escenarios, aportando una mayor seguridad a los técnicos, ya que no es necesario estar en el agua.
- Permite el visionado de las mediciones en tiempo real, así como reduce el tiempo de obtención de resultados, sobre todo en cauces más anchos.
- Combina las ventajas tanto del control de duración como del control de incertidumbre y supera las deficiencias de cualquiera de ellos.

Como desventaja principal se podría reseñar el elevado precio del equipo y la incomodidad de tener que llevar más equipamiento (portátil, baterías extra...), así como mayor personal.

### Resultados

El resultado obtenido mediante ambas metodologías es la medida de un caudal circulante, en diferentes escenarios.



Fotografía 3. Resultados obtenidos mediante el OTT MF-Pro. Se aprecia la coherencia en las secciones transversales medidas (en verde) y un resumen de la medición

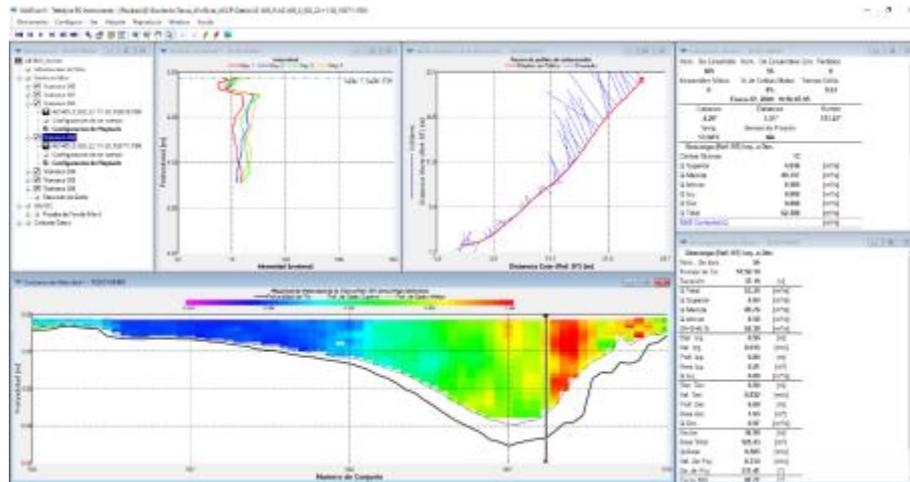


Figura 3. Ventana resumen del programa Winriver que muestra los resultados de la medición de un transecto, celdas de medida, velocidades de la corriente en las celdas, dirección de la corriente y perfil del cauce. Metodología ADCP River-PRO [4].

Una vez se obtienen datos en distintos escenarios (menor a mayor caudal circulantes) se calcula una ecuación que correlaciona estos caudales con un grado de apertura de compuertas / altura de la lámina de agua siempre bajo coordinación con organismos responsables de control de embalses, azudes, escalas fijas....

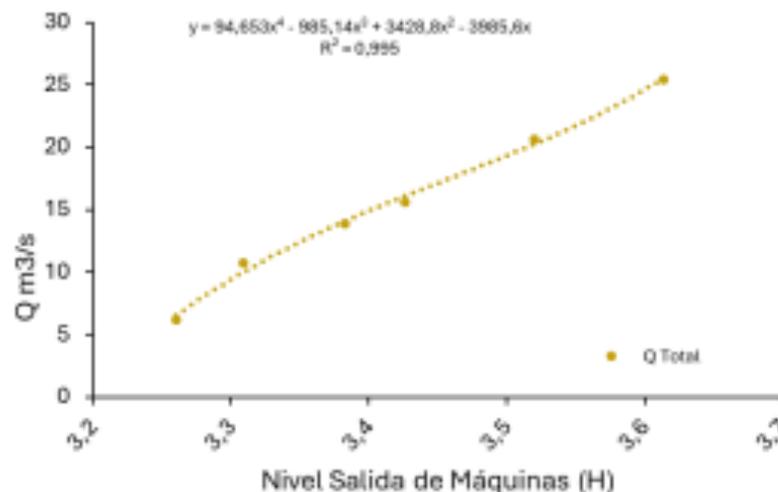


Figura 4. Ecuación resultante de la correlación de diferentes niveles de agua a la salida de máquinas con el caudal obtenido.

Cabe mencionar, que la determinación de estas curvas de gasto no es un elemento estático e inamovible, ya que debido a diferentes sucesos naturales/humanos (normalmente extraordinarios)

pueden modificar el lecho del cauce (ej. movilización de sedimentos, colmatación por sedimentos debido a regímenes bajos de caudal...) provocando desajustes y desfases en las curvas de gasto existentes.

### **Discusión y Conclusiones**

La obtención de estas ecuaciones permitiría hacer un seguimiento de las condiciones del caudal de manera más rápida, económica incluso de manera telemática, permitiendo un control más constante de las condiciones del caudal del río, así como una mejor gestión de las concesiones y servidumbres soportadas por los diferentes cursos de agua.

Estas metodologías planteadas para la medición de caudales son las empleadas en el control del caudal circulante por los diferentes organismos responsables, así como los empleados para la calibración y testeo de las escalas fijas y de los sistemas telemáticos de aforo de los diferentes SAIH.

### **Referencias /Bibliografía**

- [1] International Organization for Standardization. (2021). Hydrometry - Measurement of liquid flow in open channels - Velocity area methods using point velocity measurements (ISO 748:2021).
- [2] International Organization for Standardization. (2021). Hydrometry - Acoustic Doppler profiler - Method and application for measurement of flow in open channels from a moving boat (ISO Standard No. 24578:2021).
- [3] Manual Básico del Usuario OTT MF Pro. OTT Hydromet, 2018. Edition 7. Printed in U.S.A.
- [4] WinRiver II Software User's Guide. Teledyne RD Instruments. 2014.

## SEGUIMIENTO DEL AGUILUCHO CENIZO (*CYRCUS PYGARGUS*) EN EL COMPLEJO MEDIOAMBIENTAL DE ALMONACID DEL MARQUESADO (CUENCA)

*García-Morote, Francisco Antonio<sup>1</sup>; Andrés-Abellán, Manuela<sup>1</sup>; López-Serrano, Francisco Ramón<sup>1</sup>; Picazo, Marta Isabel<sup>1</sup>; Rubio, Eva<sup>1</sup>; Arquero, Rocío<sup>1</sup>; Chebbi, Wafa<sup>1</sup>; Wic, Consuelo<sup>1</sup>; Meltzer, Jorge<sup>1</sup>; Romero, Manuel<sup>1</sup>; Sanchis, Rafael<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Universidad de Castilla-La Mancha, Instituto de Investigación en Energías Renovables (IER; UTC TRANSFORMA-UCLM), [fcoantonio.garcia@uclm.es](mailto:fcoantonio.garcia@uclm.es), Albacete, España

<sup>2</sup>Reciclados del Marquesado, [rsanchis@rdmarquesado.es](mailto:rsanchis@rdmarquesado.es), Cuenca, España

**Palabras clave:** Vigilancia ambiental; Aves esteparias; Nidificación; Censo de aves.

### Resumen

Como requisito de la Autorización Ambiental del proyecto, se presentan los resultados del seguimiento durante 5 años del aguilucho cenizo en el Complejo Medioambiental de Almonacid del Marquesado (Cuenca), mediante transectos y puntos de nidificación en 1.837 ha del entorno del centro. La vigilancia ambiental, que se está desarrollando desde 2019, refleja ciertas fluctuaciones en las poblaciones de esta especie, si bien los contactos con individuos de cenizo siguen siendo abundantes, y en la mayoría de las etapas fisiológicas de esta rapaz. Aunque todos los años se ha observado nidificaciones, la reproducción de la especie presenta problemas significativos, habiéndose observado falta de huevos en los nidos en la mayoría de los años, debido a depredadores que presentan sus huevos (fundamentalmente jabalí) así como por la formación tardía o no puesta de nidos ante eventos climáticos severos (sequías primaverales, lluvias tardías), lo que impide la requerida cobertura de aislamiento de la vegetación. A ello se añade la competencia por los sitios seleccionados para la nidificación (zonas cercanas a los arroyos) con otras rapaces esteparias que utilizan la misma zona, fundamentalmente con el aguilucho lagunero.

### Introducción

Para dar cumplimiento a la Autorización Ambiental del “Complejo Medioambiental de Gestión de Residuos en El T.M. de Almonacid del Marquesado (Cuenca)”, se está realizando un “Programa de vigilancia y protección de avifauna esteparia”, en una orla aproximada de 2x10 km entorno al Complejo (“orla esteparia”), con especial énfasis en detectar parejas y puntos de nidificación de aguilucho cenizo. Dicha orla de censo tiene una superficie de 1.837 ha. El Complejo tiene como objetivos la valorización y reciclaje medioambiental de residuos no peligrosos.

El aguilucho cenizo (*Cyrus pygargus* L.) es una rapaz esteparia migratoria, estival en la Península Ibérica, falconiforme, perteneciente a la familia Accipitridae [1]. Especie de gran interés, actualmente

las poblaciones de aguilucho cenizo peninsulares experimentan un descenso. El censo de 2017 realizado por SEO/BirdLife [2] establece un declive poblacional de entre el -23% y el -27% respecto al censo de 2006. A escala autonómica, las mayores poblaciones se siguen localizando en Castilla y León, y el cuarto lugar lo ocupa Castilla-La Mancha, con cerca de 600 parejas, estimándose para la provincia de Cuenca unas 52-89 parejas [2]. Por tanto, los resultados de los censos justifican medidas de control y protección de esta especie por parte de la Administración. Por ello, el aguilucho cenizo está incluido en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha [3] en la categoría de “Vulnerable”. En el Libro Rojo de las aves de España [4], el cenizo sigue incluido en la categoría de “Vulnerable”.

Tal y como reflejó el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto (año 2013), la zona de estudio es un hábitat idóneo para el cenizo. Se corresponde con típicas áreas esteparias del suroeste y oeste de la provincia de Cuenca, donde como usos del suelo predominan los cultivos de cereal de secano, salpicados de pequeñas manchas de encinar claro, en monte bajo, y repoblaciones de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) jóvenes, con restos de algunas masas maduras. Topográficamente no hay grandes pendientes en los terrenos agrícolas descritos.

En la parte sur del Complejo discurren varios arroyos (arroyos de la Vega y del Panderón) a los que vierten sus aguas cauces intermitentes, en el que aparece otra vegetación, propia de entornos riparios, como carrizos. La presencia de agua permite la existencia de fauna asociada a estos ribazos, y una mayor productividad en la cadena trófica. Por tanto, se pueden diferenciar 3 biotopos en el entorno del Complejo: i) cultivos de cereal, ii) rodales de coníferas y frondosas ( pinares de carrasco y encinar degradado), y iii) hábitat ripario (más puntualmente, en los arroyos).

## **Material y Métodos**

Se está realizando un censo de especies de avifauna esteparia en el entorno del Complejo, en la orla esteparia, con frecuencia de 2 inventarios de avifauna al mes, durante los meses de mayor actividad (abril-agosto), y mensual el resto de los meses del año. Los censos realizan mediante dos modalidades: i) conteo por transectos, rutas o itinerarios, y ii) estacionamiento en puntos de observación (o “puntos de conteo”).

El conteo por transectos es un método fiable para detectar individuos de cenizo, dado que el biotopo agrario presenta poca altura de vegetación, con una importante red de caminos. Para ello, se diseñaron 6 itinerarios que recorren la zona de estudio (orla esteparia de 1.837 ha), con una longitud total de caminos de 20.565 m. Adicionalmente se han seleccionado 6 puntos de observación, en donde se realizan estacionamientos fijos de detección, durante 1 hora. Para la detección de aves se utilizan prismáticos y telescopio. Los censos se realizan desde el amanecer y hasta el anochecer. Los contactos son registrados en una aplicación informática, que permite el grabado automático del contacto en coordenadas UTM, y su posterior volcado a un Sistema de Información Geográfica (SIG), en formato \*.shp.

Cuando existen indicios de presencia de parejas nidificantes, se hace un seguimiento de esas parejas para confirmar el nido, registrando el mismo con coordenadas UTM. Posteriormente, con dron, se confirma la existencia del nido, se analiza su estado y el número de huevos que tiene la puesta.

## Resultados

Los resultados de contactos muestran que el aguilucho cenizo continúa utilizando de forma muy significativa la orla esteparia del Complejo de Almonacid, como zona de alimentación y también de nidificación. Las parcelas de cereal ubicadas al sur del Complejo junto a los arroyos (hábitat ripario), son las más seleccionadas todos los años para la nidificación: la formación de los nidos se realiza prácticamente en las mismas parcelas desde hace 10 años. Como datos resumen, el número de contactos con individuos de aguilucho cenizo supera anualmente los 50, existiendo parejas reproductoras nidificantes seguras los 5 años del periodo de seguimiento, en un número que oscila entre 2 y 3 parejas (Figura 1).

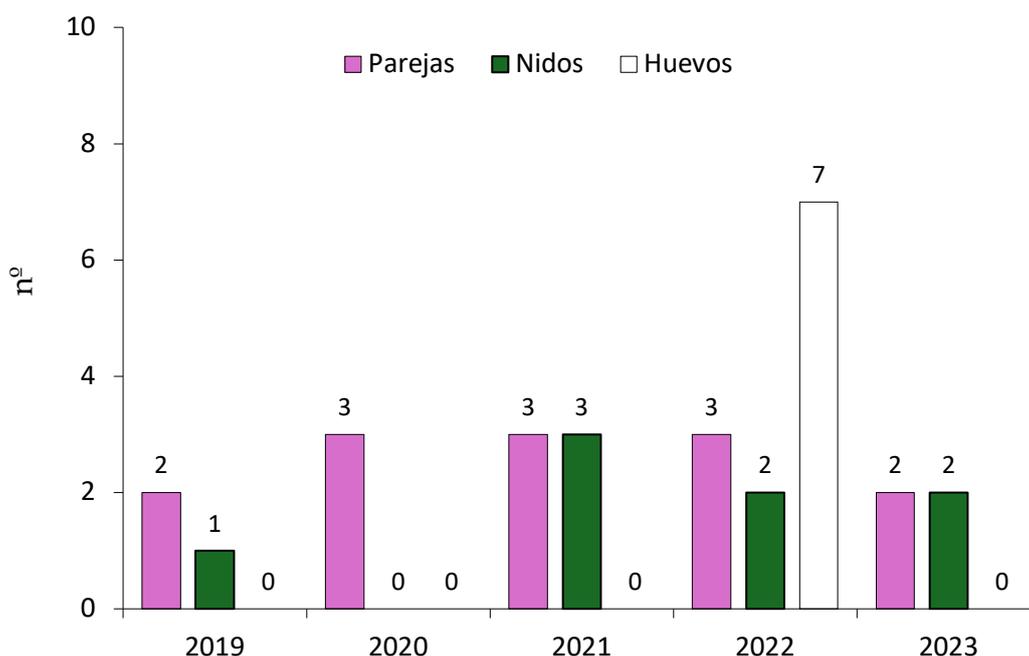


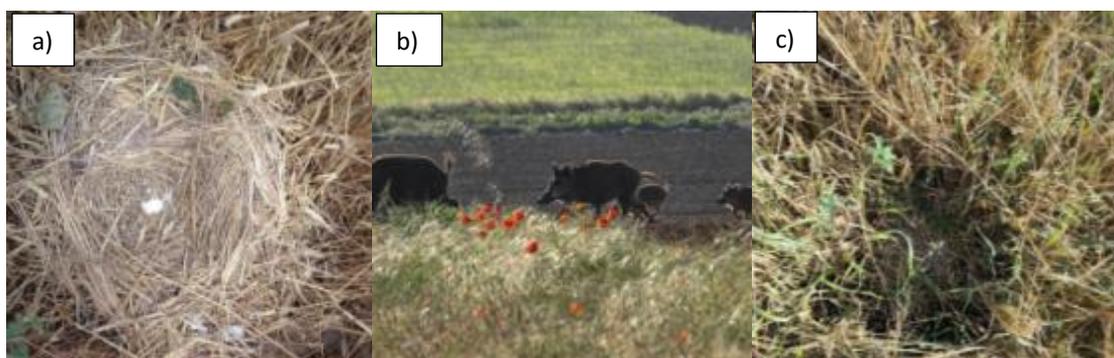
Figura 1. Resultados de número de parejas nidificantes, nidos y huevos detectados en los 5 años de seguimiento en la orla esteparia del Complejo de Almonacid del Marquesado

Además, se puede indicar que unas 3-4 parejas suelen utilizar adicionalmente la orla esteparia como zona de alimentación (vuelos de caza). Aunque se producen los primeros contactos con aguiluchos en abril, la actividad se ha observado mayoritariamente en los meses de mayo y junio, siendo el mes de junio en el que se confirma la nidificación. Por el contrario, no se ha detectado ninguna actividad

desde septiembre a la siguiente primavera, lo que confirma el comportamiento estival de esta especie. La fenología observada incluye prácticamente todas las correspondientes a una especie nidificante, como son vuelos directos, vuelos de caza, defensa territorial y contactos macho-hembra entorno al nido.

No obstante, resulta significativa la falta de huevos en los nidos detectados (Figura 1). En efecto, en 3 de los años muestreados y pese a haber sido confirmados los nidos con dron, no se pudo localizar ningún huevo, o si acaso restos de éstos, al estar destruidos (año 2019). En otro año (2020) no se formaron nidos. Por tanto, aunque los aguiluchos cenizos vuelven a Almonacid del Marquesado desde sus cuarteles de invierno todos los años, hemos detectado una serie de problemas asociados a su reproducción, que pudieran comprometer sus poblaciones:

- 1) Predación de huevos. Mayoritariamente debidas al jabalí, pues este mamífero ha aumentado extraordinariamente sus poblaciones en la zona, comprometiendo las puestas del cenizo en el entorno de los arroyos (Figuras 2a y 2b)
- 2) Descenso y/o retraso en las precipitaciones primaverales. Impide que el cereal alcance la necesaria cobertura de aislamiento a tiempo para la puesta, retrasándose o malográndose la formación del nido pese a la presencia de parejas reproductoras (Figura 2c).
- 3) Competencia con otras rapaces. El hábitat estepario junto a los arroyos ha sido también seleccionado por otras especies, fundamentalmente el aguilucho lagunero. En el seguimiento, han sido abundantes los contactos de individuos de cenizo macho intentando expulsar individuos de lagunero, generándose competencia adicional por el alimento en la orla esteparia, si bien casi todos los años el lagunero ha conseguido nidificar también.



*Figura 2: a) nido de cenizo destruido por jabalíes en 2019; b) presencia del jabalí en junio de 2021, al sur del Complejo y cerca del arroyo de la Vega, donde puede nidificar el cenizo; c) punto de nidificación observado con dron el 23 de junio de 2023, con falta de huevos debido al retraso de las lluvias y falta de cobertura de vegetación*

## Discusión y Conclusiones

Los contactos con aguiluchos cenizos mostraron comportamientos típicos de nidificación en puntos ubicados mayoritariamente cerca de los arroyos, al sur del Complejo, evidenciándose el punto de nidificación por aportes de material del macho para construir el nido, desde finales de mayo a primeros de junio. Si bien no es lo más frecuente, la nidificación del cenizo junto a carrizales y junqueras también es posible [5]. Adicionalmente, en el entorno de la parcela, se constató la captura de presas por el macho y su entrega a la hembra, tanto en vuelo como en suelo. Este comportamiento, que finaliza cuando la hembra se posa en una linde o terreno despejado, para ingerir el alimento en poco tiempo tras el cual vuelve al nido, es típica de esta especie en fase de nidificación [5].

Además, los resultados nos confirman que, entre los meses de mayo a julio, existe una significativa utilización de la orla esteparia por parte del cenizo para alimentación (vuelos de caza), por la existencia de otros nidos cercanos a la orla del Complejo. Aunque el radio de campeo de los machos de aguilucho cenizo puede ser amplio, rara vez suelen alejarse más de 10 km de los puntos de nidificación [1] y [5]. Por ello es probable que en el Complejo hayan interactuado individuos adultos de colonias distintas, aunque próximas. Si bien [4] revelan una disminución poblacional de cenizo a nivel autonómico de entre el 1-15%, y un ligero declive en la provincia de Cuenca, nuestros resultados indican que por el momento no existe un descenso significativo en individuos en este sector conense, encontrándonos más en una situación de estabilidad de poblaciones, o bien que las parejas se están redistribuyendo, evitando zonas de gran agregación de colonias [4].

No obstante, nuestros resultados también evidencian el problema de falta de huevos en los nidos. Trabajos anteriores [5] confirman que los nidos de cenizo aparecen más frecuentemente en campos de cebada que de trigo, por la mayor precocidad y altura en abril-mayo de este cultivo con respecto al trigo, lo que aportaría la protección necesaria para la nidificación en el tiempo adecuado. En nuestro trabajo, el retraso o falta de lluvias primaverales habido en el periodo de estudio, ha tenido como consecuencia que se malogren las puestas de ese año, por la falta de cobertura vegetal. Aunque en ocasiones, los nidos de cenizo pueden encontrarse en vegetación natural permanente, del tipo matorral o repoblaciones jóvenes [6], no hemos localizado hasta la fecha ningún nido en este tipo de rodales, relativamente abundantes al oeste del Complejo, pero fuera de la orla esteparia, lo que podría haber impedido su detección.

Se sabe que las nidificaciones del cenizo pueden mostrar variación interanual, pero en general es tendencia que los nidos estén próximos (“colonias reproductoras”), en número de 2 hasta 13 nidos [5]. Si bien este factor podría explicar la existencia de 3 nidos de aguilucho cenizo juntos en la fase de Estudio de Impacto Ambiental del Complejo, ello no se ha vuelto a producir en los 5 años de seguimiento (“redistribución”), aunque los resultados son indicativos de una gran querencia de las aves por este enclave estepario.

Para interpretar la estabilidad poblacional y la querencia a los arroyos, podría ser decisiva la cantidad de alimento disponible para los aguiluchos, aparte del tipo de vegetación para nidificar. En este sentido, la abundancia de topillos (*Microtus arvalis*) y ratones de campo (*Apodemus sylvaticus*), entre

otros, podría ser influyente [4]. El topillo es una de las más importantes fuentes de alimento del cenizo en la Península [7]. Por otra parte, la presencia permanente de agua repercute en una mayor cadena trófica, y el ecotono creado cultivo de cereal-agua puede ser especialmente favorable.

Nuestro estudio confirma el comportamiento de migrador estival que presenta el aguilucho cenizo en la orla del Complejo, con falta de avistamientos a partir de septiembre. Por ello, la estabilidad de las poblaciones dependerá en parte de las condiciones de su hábitat en época invernal. Es muy probable que los individuos de aguilucho cenizo que nidifican en Almonacid del Marquesado tengan sus cuarteles de invierno en el África subsahariana: un estudio con individuos marcados pudo describir la trayectoria migradora de aguiluchos cenizos desde Mali, pasando por el estrecho de Gibraltar hasta el suroeste y oeste de la provincia de Cuenca (zona de estudio), llegando algunos ejemplares incluso hasta el sur de Cataluña [8].

Por último, indicamos que para paliar en parte la falta de cobertura de aislamiento en primaveras no lluviosas, escenario en contexto de cambio climático, el mantenimiento de linderos en parcelas agrícolas parece vital, no solo para aumentar el alimento disponible, sino también como cobertura permanente, para favorecer la puesta en años secos, al tiempo que se evita la posibilidad de destrucción del nido por cosechadora. A ello habría que añadir medidas agroambientales adicionales, como mantener un porcentaje de parcelas sin barbecho (o barbecho “en verde”), con rotación de leguminosa y cereal, y retirada de girasol. Estas medidas compensatorias, entre otras, podrían incluirse en las DIA para favorecer a especies esteparias, como el cenizo.

### Referencias /Bibliografía:

- [1] Arroyo, B., 2019, El aguilucho cenizo en España. *IREC-CSIC-UCLM*. 13 pp.
- [2] Arroyo, B., Molina, B. y Del Moral, J. C., 2019, *El aguilucho cenizo y el aguilucho pálido en España. Población reproductora en 2017 y método de censo*. SEO/BirdLife. Madrid.
- [3] JCCM, 1998, *Catálogo Regional de Especies Amenazadas*. Decreto 33/1998, de 05-05-98, por el que crea el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.
- [4] SEO/BirdLife, 2021, *Libro rojo de las aves de España*. Sociedad Española de Ornitología. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Fundación Biodiversidad. 1017 pp. Madrid.
- [5] Castaño, J.P., 1995, *Ecología reproductiva del aguilucho cenizo (Circus pygargus L.) en el Campo de Montiel. Un estudio aplicado a la conservación*. Memoria para optar al grado de Doctor. Universidad Complutense de Madrid. 244 pp.
- [6] Garzón, J., 1974, *Contribución al estudio del status, alimentación y protección de las Falconiformes en España Central*. *Ardeola* 19: 279-330.
- [7] Jubete, F., 2011, *¿Tuvieron efecto los tratamientos químicos contra los topillos? Inferencia a partir del estudio de la dieta de la lechuza común y censos de rapaces diurnas*. *Galemys* 23: 91-98.
- [8] Limiñana, R., Soutullo, A. y Urios, V., 2007, *Autumn migration of Montagu's harriers Circus pygargus tracked by satellite telemetry*. *J Ornithol* 148:517–523.

## PROGRESIÓN DE CONTAMINACIÓN DESDE EL SUBSUELO A LA SUPERFICIE (RESIDUOS INDUSTRIALES DE LA ALMOZARA; ZARAGOZA)

*Revuelto Gimeno, C.<sup>1</sup>; López Julián, P.L.<sup>2</sup>, Pueyo Anchuela, Ó.<sup>3</sup>, Martín Garcia, J.<sup>3</sup>, Gracia Abadías, J.<sup>4</sup>;  
Ramajo Cordero, J.<sup>5</sup>, Sánchez, J.<sup>6</sup>; Mihi, E.<sup>6</sup>; Jiménez, G.<sup>6</sup>*

<sup>1</sup> Geoscan Consultoría SLP, [crevuelto@geoscan.es](mailto:crevuelto@geoscan.es), Zaragoza, España. <sup>2</sup> Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia-Unizar, [pllopez@unizar.es](mailto:pllopez@unizar.es), Zaragoza, España. <sup>3</sup> Grupo Beagle. Instituto Universitario en Ciencias Ambientales de Aragón, [opueyo@unizar.es](mailto:opueyo@unizar.es), [araujo@unizar.es](mailto:araujo@unizar.es), IUCA-Unizar, Zaragoza, España. <sup>4</sup> Control 7SAU, [grabaja@control7.es](mailto:grabaja@control7.es), Zaragoza, España. <sup>5</sup> IGME, [j.ramajo@igme.es](mailto:j.ramajo@igme.es), Zaragoza, España. <sup>6</sup> Asociación de vecinos Ebro de La Almozara [asociacionebro@gmail.com](mailto:asociacionebro@gmail.com), Zaragoza, España.

**Palabras clave:** Residuos peligrosos; Suelos contaminados; Interacción; Movilidad metales; Drenaje ácido.

### Resumen

La actividad industrial de tostación de sulfuros dejó residuos con altos contenidos en metales en el subsuelo del barrio de La Almozara (Zaragoza). Estos metales se propagaron tanto por infiltración de aguas industriales como por la acumulación de los propios residuos en el entorno de la zona industrial. Durante casi un siglo de actividad industrial, los lixiviados penetraron en el subsuelo de la huella industrial y los residuos sólidos se emplearon para la nivelación topográfica del barrio. Los residuos persisten en el subsuelo y la infiltración de aguas hace que se produzcan bolsas de aguas ácidas (pH<3) con alto contenido en metales pesados. La interacción de estas aguas con los terrenos naturales está produciendo un incremento del contenido en metales. En esta comunicación se realiza un resumen de la investigación que se está llevando a cabo dentro del marco del proyecto de Ciencia Ciudadana "Conociendo la Herencia de Contaminación Ambiental del Barrio de La Almozara".

### Introducción

La movilización social comenzó a desarrollarse durante los últimos años del tardofranquismo canalizada a través de las Asociaciones de Cabeza de Familia. En el barrio de La Almozara (Zaragoza) la movilización se centró en la contaminación de la Industria Química de Zaragoza [1] que producía, entre otras cosas, ácido sulfúrico a partir de la tostación de sulfuros. La actividad liberaba emanaciones ácidas a partir de las chimeneas, irritaba los ojos y además daba lugar a condensaciones ácidas durante los periodos de nieblas. La preocupación por la salud y el bienestar de la población, especialmente en actividades que generan mal olor o molestias, fue uno de los principales detonantes de las primeras movilizaciones en temas ambientales.

Cerrados los hornos pareciera como si hubiera finalizado la problemática ambiental. Sin embargo, la actividad industrial prolongada por casi un siglo habría dejado una herencia en el subsuelo del barrio.

Los sulfuros procedían de explotaciones del Pirineo, principalmente pirita, en concreto tetraedrita [2], que se define como un sulfo-arseniuro-antimoniuro de distintos metales; el principal es el Fe, pero aparece asociado a Cu, Ag y Zn.

El barrio de La Almozara se localiza sobre la llanura de inundación del río Ebro, con una topografía subhorizontal (Figura 1). La serie está compuesta por materiales antrópicos, depósitos arcillosos de llanura de inundación sobre niveles de gravas fluviales. El nivel freático se encuentra relativamente próximo a la superficie, en el entorno de las instalaciones industriales se localiza entre los 5 y 6 metros de profundidad, y presenta conexión hidráulica con el cauce actual del río Ebro [3]. Por un lado, la infiltración de las aguas ácidas en la vertical de las instalaciones industriales y por otro el uso indiscriminado de los residuos para explanación generó la dispersión de los residuos. Las inundaciones que se desarrollaron en la ciudad de Zaragoza en la década de los años 60 produjeron la necesidad de un recrecimiento de las orillas y una elevación de motas para lo que se utilizaron también residuos de la actividad industrial.

Posteriormente al cierre de los hornos en 1979 se inicia el desmantelamiento de los edificios en 1983, pero se cubrieron los residuos con niveles de arena sobre los que se emplazó el Parque Aljafería. Esta actuación se desarrolló sin la retirada de los residuos industriales. Esto define una distribución de residuos en el subsuelo no localizada, dependiente de los sectores donde se aportaron y utilizaron dichos residuos en la explanación, y que persisten en aquellas zonas donde no se retiraron para la construcción de sótanos de las edificaciones. Tanto el espesor como las características de los residuos difieren dependiendo del origen de los mismos y de las actuaciones antrópicas de mezcla desarrolladas. El análisis documental y de entrevistas en la zona de estudio permitió realizar un mapa de susceptibilidad a la presencia de dichos residuos considerando las evidencias observadas en superficie, el contexto geomorfológico y la distribución de los campos de cultivo y edificaciones durante el siglo XX [3, 4].

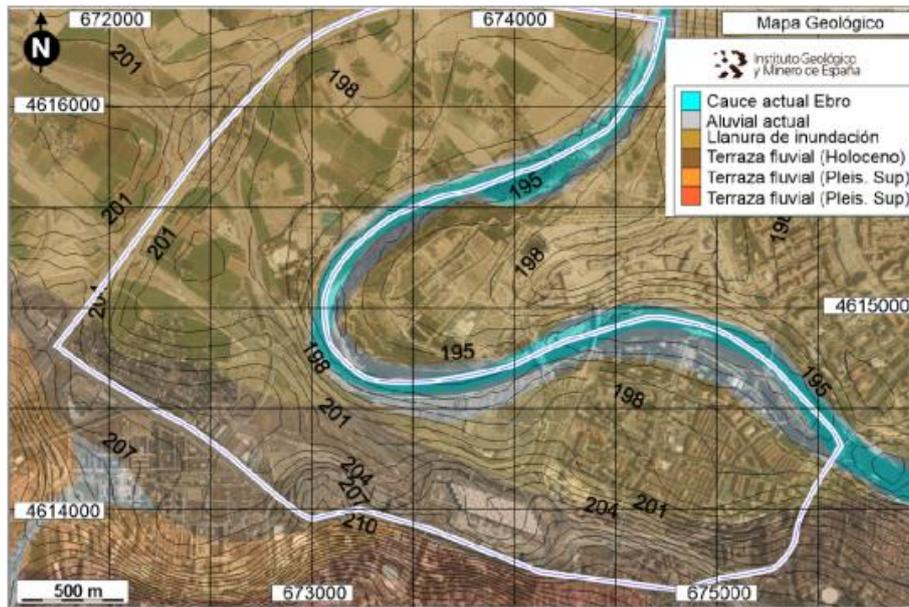


Figura 1. Mapa geológico con la extensión del barrio de La Almozara con la distribución topográfica de la zona.

## Material y Métodos

Los residuos existentes presentan un aspecto habitual apelmazado, endurecido y con una baja permeabilidad, mayoritariamente de un color rojizo (granate) y con mezcla de escombros y suelos naturales. El análisis de la interacción de estos residuos con aguas en el laboratorio muestra [5] características similares a las aguas tomadas en los pozos de muestreo en la antigua huella industrial [6]. Como indicado previamente el nivel freático se relaciona con el acuífero libre aluvial asociado al río Ebro. Sin embargo, en determinados sectores se identifica la presencia de un nivel colgado, más somero, y aislado del freático general (presencia de un nivel a una cota próxima a los 2 metros, previa a la aparición de los niveles de residuos).



Figura 2. Fotografías del aspecto superficial de los residuos en las zonas ajardinadas del barrio de La Almozara (nótese el color granate habitual y las coloraciones verdosas que se producen por precipitación superficial de óxidos y carbonatos de cobre).

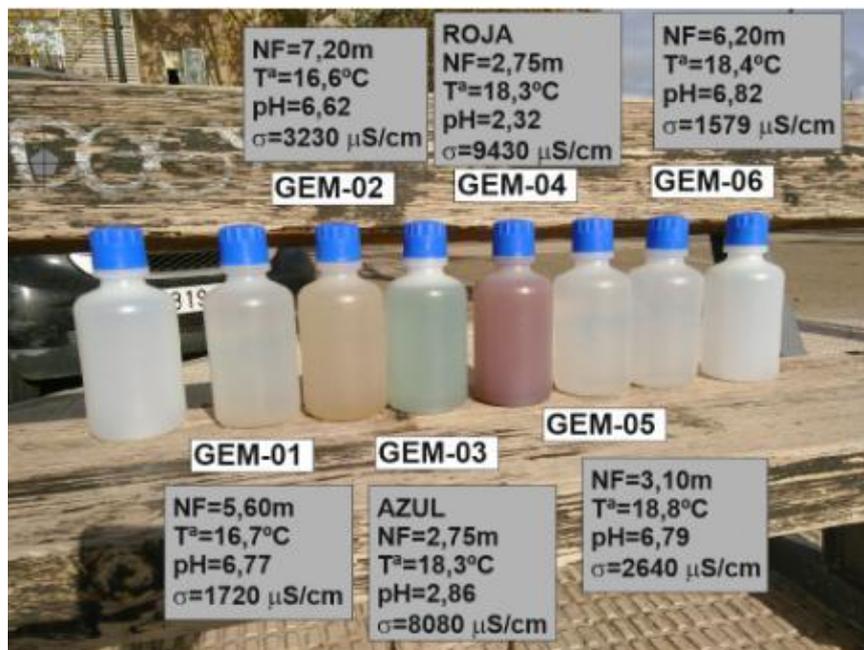


Figura 3. Fotografías de las muestras de agua recogidas en el subsuelo de La Almozara. Las muestras 2-3-4 proceden de la huella industrial (nótese que 3 y 4 proceden del nivel colgado), el resto son aguas a cota del nivel freático del aluvial pero con cambios en la conductividad según han entrado en contacto, o no, con los residuos.

## Resultados

Las muestras de suelos fueron tomadas en diciembre de 2023 de residuos superficiales en las zonas del parque Aljafería y han sido analizadas por SGS Environmental Analytics. Los resultados obtenidos se han comparado con los niveles genéricos de referencia [7] y muestran similitudes en la composición de metales del yacimiento pirenaico de Cerler [2], si bien la afinidad de algunos de los elementos encontrados no es habitual. En general se superan los Niveles Genéricos de Referencia (NGRs; [7]) en Al, Sb, As, Be, Cd, Co, Cu, Cu, Fe, Mn, Hg, Mb, Ni, Ag, Pb, Se, Tl, Va, Zn. De manera sistemática los elementos que presentan mayor contenido respecto a los NGR son Sb, As, Fe, Cu y Cr, mientras que otros metales se presentan únicamente en determinados análisis. Estos contenidos que son menos sistemáticos pueden deberse tanto a la propia heterogeneidad de los residuos, cambios puntuales de los materiales de origen utilizados en la actividad industrial, como también a la presencia de mezclas de residuos con otras actividades industriales que se desarrollaban en el mismo polígono. Desde el punto de vista geoquímico, la afinidad de algunos de los elementos previos no es habitual en la paragénesis mineral del yacimiento del Pirineo. Los resultados se han comparado también con niveles de referencia locales, obtenidos a través de análisis realizados en los terrenos naturales del barrio. Esto permite comparar también las anomalías geoquímicas. En la comparación, se aprecia que en los terrenos procedentes de tierras con residuos la concentración de metales es muy superior, salvo en el caso del Mn (que presenta valores altos, incluso en ocasiones superiores a los NGR, en los terrenos naturales más elevados).

Se han realizado también análisis de las aguas del nivel colgado, de las aguas del aluvial libre de la zona y del freático aluvial bajo la huella industrial. Las aguas localizadas fuera de las antiguas zonas industriales muestran pH neutros y conductividades de hasta 1700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; frente a la composición de las aguas en la zona de huella industrial que presenta aguas ácidas con  $\text{pH} < 3$ , conductividades de más de 8000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y altos contenidos en metales como el Cu y Zn. Sin embargo, las aguas de pH neutro que han entrado en contacto con dichos residuos presentan conductividades de  $> 2500 \mu\text{S}/\text{cm}$  y contenido en metales no presentes en las aguas del aluvial (en Zn, As, Ni, Sb, Mo, Mn, Ni, Tl [6]). Es previsible que no todos estos metales se encuentren en estado iónico en disolución.

Los análisis de aguas realizados en laboratorio tras la interacción de agua destilada con los residuos permiten identificar tanto la acidificación de las mismas por el contacto como por el incremento del contenido en metales en solución [5]. Estas aguas al neutralizarse presentan altas conductividades y contenido en metales similares a las identificadas en las aguas subterráneas de la huella industrial.

Superficialmente, los sectores donde se localizan los residuos próximos a la superficie desarrollan pátinas verdosas tras las lluvias. Éstas percolan en los depósitos superficiales, alcanzan los niveles de residuos, y posteriormente por ascenso capilar y evaporación, generan la aparición de precipitados superficiales (aparecen asociados tanto a la superficie como generando pátinas que recubren cantos de caliza y yeso). El análisis de estos depósitos verdosos presenta contenidos anómalos en metales y que en ocasiones pueden alcanzar concentraciones mayores a las existentes en los residuos.

## Discusión y Conclusiones

El marco normativo (Ley 7/2022 [8]) define «Suelo contaminado» como “aquel cuyas características ... por la presencia de componentes químicos ... en concentración ...que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente”.

El uso de “riesgo” como criterio para la declaración de suelo contaminado requiere la conceptualización de la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. La comparativa con los niveles genéricos de referencia como indicador de alteración de los suelos con concentraciones y características no conformes con el contexto natural de la zona permite establecer una relación con el yacimiento original de explotación. Estos residuos presentan alto contenido en metales, algunos de ellos cancerígenos, otros alteradores hormonales y de carácter acumulativo [9] lo que supone una alta peligrosidad.

La dispersión de dichos metales puede producirse de forma eólica o a través de las aguas de la zona, y supone su eventual afección por ingestión o inhalación. La vulnerabilidad humana, en este caso,

tiene una relación directa con el contenido en metales y sus características, y que afecta tanto al medio natural como a la propia salud humana. La evaluación del riesgo, en este caso, no se relacionaría con las características de los residuos, o sobre su eventual presencia o afección a la salud, sino en la forma en que dichos residuos entran en interacción con el medio ambiente y con las personas (exposición). La medida que se aplicó aquí para solventarlo fue a través de su aislamiento por cubrimiento. Es decir, excluida la exposición, el riesgo es nulo. Para ello se emplazaron pavimentos asfálticos superficiales para aparcamientos en algunos casos, y en otros descansan bajo los parques o viales del barrio. Durante las obras de emplazamiento de tuberías o conducciones suelen aparecer en superficie, pero dada la ausencia de una definición de su peligrosidad, suelen no ser considerados como residuos peligrosos.

Los edificios antiguos no se construyeron sobre los residuos, y las nuevas construcciones, que cuentan con garajes, retiraron los residuos durante su construcción. Sin embargo, en el caso de los sectores de parques aparecen habitualmente en superficie y hay una infiltración de aguas de lluvia o riego que interaccionan con los mismos.

El contenido en metales en las aguas con pH ácido y en aquellas de pH neutro que han entrado en contacto con los residuos pone de manifiesto la eventual movilidad de los metales con independencia de las condiciones ácidas identificadas en las aguas del acuífero colgado. Los precipitados identificados por bombeo capilar también ponen de manifiesto esta migración y modificación de los suelos naturales tras haber entrado en contacto con dichos residuos. Estos factores suponen no sólo la migración de dichos metales en las aguas sino que se está produciendo un incremento de la huella afectada por el contenido en dichos metales. Esto hace que entren en interacción con los materiales naturales de la zona. La migración de estas aguas con alto contenido en metales hacia las aguas del acuífero aluvial asociado al Ebro representa un aporte volumétrico pequeño, pero que no excluye su aporte de metales y contaminación a las aguas del río Ebro.

Uno de las propuesta trasladadas en los últimos años por parte del Proyecto de Ciencia Ciudadana referido ha sido instar a un Plan Director que, con perspectivas amplias de varias décadas, acometa primero una definición del problema y de la peligrosidad y problemática existentes. Esto definiría un punto de partida para acometer acciones encaminadas a la retirada, tratamiento efectivo y una descontaminación progresiva aprovechando actuaciones constructivas, de excavación o de mejora de las zonas que descansan sobre dichos residuos. En este momento, no se están desarrollando acciones encaminadas a solventar los problemas existentes, y como ejemplificado en este trabajo, la problemática, lejos de ser estática está aumentando las zonas afectadas y complicando las eventuales soluciones que se propusieran a futuro.

### **Agradecimientos**

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Fundación Ibercivis por la concesión del proyecto “Conociendo la herencia de contaminación ambiental de La Almozara” (I<sup>a</sup> Convocatoria de Ciencia Ciudadana, 2018). Los análisis han sido realizados por SGS Environmental Analytics siguiendo las normas: NEN-EN 16179; AS3000; NEN-EN 15934, AS310-2; NEN-EN-ISO 17294-2; NEN-EN 16171; NEN 6961; NEN-EN16174; NEN-EN 15192; ISO 15192; NEN-EN-ISO 17294-2; NEN-EN 16171; NEN 6961; NEN-EN 16174.

## Referencias /Bibliografía

- [1] Corral Broto, P., (2015) Protesta y ciudadanía. Conflictos ambientales durante el franquismo en Zaragoza (1939-1979). 312 páginas. Rolde de Estudios Aragoneses. Zaragoza. ISBN: 978-84-92582-90-7.
- [2] Mateo, E., Biel, C., Fanlo, I., Subías, I. (2007) El yacimiento de Fe-As-Cu-Sb de Cerler, Alto Aragón Occidental. Macla 7, 108.
- [3] Pueyo Anchuela, Ó., Revuelto, C., Ramajo, J., Bartolomé, J.I.; Arce, M., López Julián, P.L., Gracia Abadías, J., Blecua, A., Moncayola, J.A., Pocoví Juan, A., Mihi, E., Sánchez, K., Franco, M., Blas, A., Gil Garbí, H., Jiménez, G., (2018) Viviendo en La Almozara. Contexto Geológico y Ambiental. Z1810-2018. Versión web: <https://sites.google.com/view/viviendoenlaalmozara>.
- [4] Pueyo Anchuela, Ó., García D., Mihi, E., Sánchez, J., Jiménez, G., López Julián, P.L., Revuelto, C., Pocoví, A., Ramajo, J., Calvín, P. (2020) Dispersión de residuos industriales en el subsuelo del barrio de La Almozara. Contexto ambiental y geomorfológico de distribución. X Congreso Geológico de España. Geo-Temas 18, 1143.
- [5] López Julián, P.L., Pueyo Anchuela, Ó., Revuelto Gimeno, C., Bauluz Lázaro, B., Ramajo Cordero, J., Calvín Ballester, P., Pocoví Juan, A., Sánchez, J., Mihi, E., Jiménez, G. (2020) Evaluación de la movilidad potencial de metales en escorias industriales en el subsuelo de un entorno urbano (barrio de La Almozara, Zaragoza). Geogaceta, 68, 39-42.
- [6] López Julián, P.L., Pueyo Anchuela, Ó., Martín García, J., Revuelto Gimeno, C., Gracia Abadías, J., Ramajo Cordero, J., Jiménez, G., Sánchez, J., Mihi, E., (2024; aceptado) Acumulación de metales en niveles superficiales de suelo a partir de residuos de tostación de piritas (La Almozara, Zaragoza). XI Congreso Geológico de España 2014 (Ávila, julio de 2014).
- [7] BOA (2008) Orden de 5 de mayo de 2008, del Departamento de Medio Ambiente, por la que se procede al establecimiento de los niveles genéricos de referencia para la protección de la salud humana de metales pesado y otros elementos traza en suelos de la Comunidad Autónoma de Aragón. Boletín Oficial de Aragón, 75, 9331-9332.
- [8] BOE (2022) Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. BOE, 85; 48578-78733.
- [9] Rehman K., Fatima F., Waheed I., Akash MSH. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. J Cell Biochem. 2018;119:157–184.

## **EVALUACIÓN AMBIENTAL COMO HERRAMIENTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE ACTIVIDADES DEPORTIVAS EN EL MEDIO NATURAL**

*Martín Silva, J.; Centeno Sánchez, A.; Rodríguez Martín B.; Sobrini Sagaseta de Ilurdoz, I.*

Ingenieros Consultores Medio Ambiente, S.L., [info@icma.es](mailto:info@icma.es), Madrid

**Palabras clave:** Evaluación de impacto ambiental; Sistemas de información geográfica; Actividades recreativas; Espacios naturales.

### **Resumen**

El Campeonato de Trial Internacional de Robregordo, en su decimotercera edición en 2022, motivó la realización de una evaluación de impacto ambiental para garantizar su sostenibilidad. La Federación Madrileña de Motociclismo encargó a ICMA Ingenieros Consultores en Medio Ambiente S.L. la optimización del recorrido de la prueba, con el objetivo de evitar áreas ambientalmente sensibles y minimizar los impactos negativos.

La evaluación se centró en ajustar el recorrido para transitar exclusivamente por caminos existentes y cortafuegos, evitando zonas de alto interés ambiental como montes preservados y hábitats de interés comunitario. Además, se implementaron medidas preventivas y correctoras, tales como la minimización de cruces con cauces y la agrupación de las zonas de competición para reducir la dispersión de los participantes.

Durante la prueba, los principales impactos esperados incluyeron el tránsito de vehículos y personas, así como la generación y gestión de residuos. Para mitigar estos impactos, se procedió a la retirada de los elementos de señalización y a la restauración de los terrenos utilizados mediante rastrillado y semillado. Estas acciones garantizaron que la prueba se desarrollara de manera sostenible y respetuosa con el entorno, preservando el medio ambiente y permitiendo la continuidad del evento.

### **Introducción**

La creciente demanda de actividades recreativas en la naturaleza, que abarcan desde la observación del paisaje hasta la realización de eventos deportivos, hace necesaria una correcta gestión y planificación para minimizar los posibles impactos ambientales.

En el caso de los eventos deportivos, resulta esencial considerar la capacidad de acogida o carga, entendida como el número de participantes o las condiciones de dichos eventos que el medio natural en el que se desarrollan puede soportar sin poner en riesgo su integridad.

Para reducir al mínimo los posibles impactos ambientales asociados a dichas competiciones y respetar la capacidad de carga del medio natural, es necesario el diseño de una metodología que facilite la creación de itinerarios ambientalmente sostenibles, utilizando como referencia la información cartográfica de diferentes fuentes y un exhaustivo trabajo de campo. Esta integración desde fases tempranas garantiza la compatibilidad de las actividades de ocio con el respeto por el medio ambiente.

El caso presentado es el diseño de un circuito y sus zonas de actividad para la competición internacional de trial que tuvo lugar en el término municipal de Robregordo (Madrid) en el mes de octubre del año 2022.

### **Material y Métodos**

Una vez planteado el caso, se establecieron una serie de criterios y reglas a la hora de diseñar el trazado del circuito y las pruebas.

Para el trazado:

- Trabajar sobre el trazado original de ediciones anteriores.
- El recorrido de la prueba debe transcurrir íntegramente por caminos catalogados (ya sea los recogidos en el catastro u otras fuentes oficiales) o por zonas consolidadas modificadas con ausencia de vegetación (cortafuegos).
- Se debe evitar zonas en áreas de alto interés ambiental.
- Establecer medidas preventivas en el caso de cruces de cauces.

Para las zonas de competición:

- Exclusión de espacios pertenecientes a la Red Natura 2000.
- Proximidad a caminos existentes.
- Bajo porcentaje de vegetación arbórea y arbustiva.
- Agrupación de las zonas de competición para minimizar la dispersión.
- Posibilidad de ejecución de forma óptima y sencilla de las medidas de prevención, así como del plan de vigilancia ambiental.

Tras escoger los criterios a seguir, se procedió al diseño del trazado, siguiendo una metodología basada en el trabajo de campo y el uso de sistemas de información geográfica:

- El trabajo de campo permitió llevar a cabo una correcta caracterización del medio, permitiendo apreciar posibles cambios y retranqueos y la optimización de la competición.

- La aplicación de sistemas de información geográfica permitió el diseño de un nuevo trazado a partir de las observaciones realizadas durante el trabajo de campo y el análisis de información cartográfica obtenida de los siguientes portales web:
  - Sede Electrónica del Catastro [1].
  - Instituto Geográfico Nacional (IGN) [2], más concretamente la información disponible en materia de viario perteneciente a la Base Topográfica Nacional (BTN).
  - Geoportal del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITERD) [3].
  - Catálogo de Información Geográfica de la Comunidad de Madrid [4].
  - Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) [5].

Para reducir los posibles impactos negativos provocados por el Campeonato de Trial Internacional de Robregordo sobre el medio ambiente, se definieron una serie de medidas preventivas y correctoras como son:

- Control de la velocidad y el ruido.
- Delimitación de las zonas de circulación y competición.
- Prohibición de llevar a cabo el mantenimiento de los vehículos en los límites del Dominio Público Hidráulico.
- Balizamiento de los hábitats y vegetación a proteger.
- Medidas de prevención contra incendios

Por último, ya diseñado el recorrido, y tras el visto bueno de las administraciones competentes a la ejecución de dicho evento, se estableció un plan de vigilancia ambiental durante la competición para comprobar que se cumplía con todas las medidas preventivas establecidas con el fin de proteger el entorno y minimizar los posibles impactos en determinados puntos.

## Resultados

Tras llevar a cabo la observación del ámbito *in situ* y su posterior tratamiento en gabinete, se obtuvo como resultado el siguiente recorrido, fruto de una combinación de las capas de caminos, cortafuegos y sendas del SIGPAC y de la Base Topográfica Nacional (BTN) y una corrección manual de la información para adaptarla a la realidad actual del territorio.

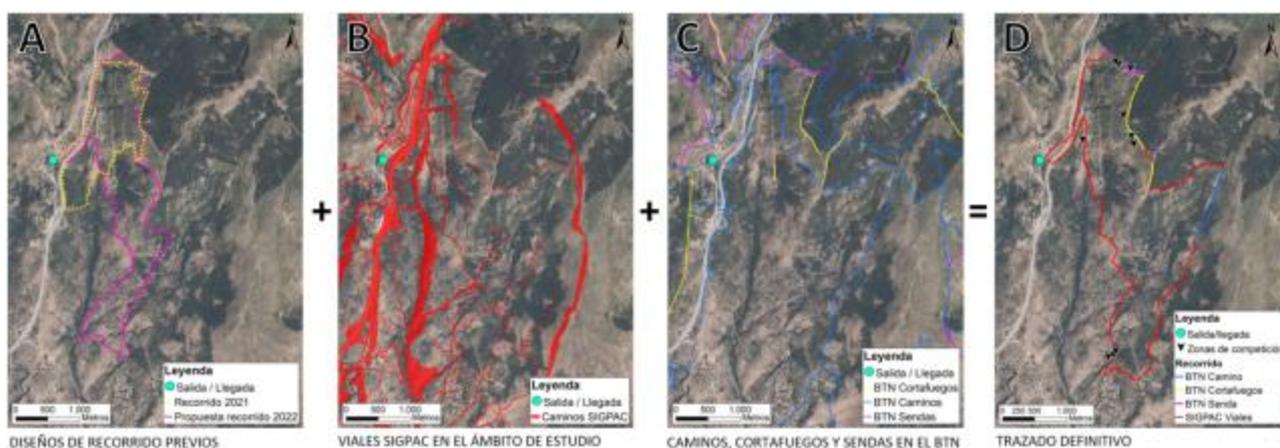


Figura 1. Combinación de diferentes recursos cartográficos para obtener un trazado definitivo. De izquierda a derecha A) Diseños de recorridos previos, B) Viales recogidos en el SIGPAC, C) Caminos, cortafuegos y sendas recogidas en la BTN y D) Trazado definitivo con las zonas de competición asignadas

En lo que respecta a la ubicación de las pruebas, las 11 zonas del Campeonato de Trial Internacional de Robregordo 2022 se diseñaron para aprovechar los obstáculos naturales y las pendientes del terreno, ocupando aproximadamente 300 m<sup>2</sup> cada una, y se eligieron ubicaciones con fácil acceso y baja vegetación, agrupando zonas cercanas para reducir la dispersión de participantes y mejorar el control de la prueba.



Figura 2. De izquierda a derecha A) uno de los caminos existentes escogidos para el trazado definitivo B) Terreno designado como zona de competición

Las zonas estuvieron señalizadas con cintas y banderas para garantizar el respeto a las protecciones específicas del terreno. Los pilotos recorrieron estas zonas individualmente bajo la supervisión de comisarios, intentando no poner el pie en el suelo y siguiendo las marcas sin detener el motor. Aunque las zonas estaban fuera de los caminos, se ubicaban en terrenos adyacentes y los pilotos debían regresar al recorrido tras finalizar cada prueba.

Una vez terminada la competición, los organizadores retiraron la señalización y procedieron a la restauración de los terrenos mediante rastrillado y sembrado.

Para minimizar los efectos adversos del Campeonato de Trial Internacional de Robregordo sobre el medio ambiente, en la fase de diseño se establecieron una serie de medidas a implementar durante el desarrollo de la prueba en aras de minimizar los posibles impactos generados por la misma, adicionalmente se incluyeron también unas medidas correctoras post-competición, que incluyen el rastrillado y sembrado de los terrenos utilizados, así como una limpieza completa de la zona y su entorno inmediato para recoger todos los desechos generados. Estas acciones buscan asegurar que los impactos ambientales se reduzcan al mínimo y que cualquier alteración del entorno sea debidamente corregida.

La gestión de residuos es otra prioridad, por lo que se estipula que el mantenimiento de los vehículos se realice en talleres, y cualquier derrame accidental de materiales grasos o hidrocarburos será recogido y gestionado como residuo peligroso. Al finalizar la competición, se realizó una limpieza exhaustiva de la zona. La señalización de las áreas de competición se hizo con cintas y banderas, y todos los elementos de señalización fueron retirados para su reutilización o reciclaje.

## **Discusión y Conclusiones**

Tal y como se ha demostrado, la evaluación ambiental es una herramienta eficaz a aplicar en todas las fases. Se pudieron reducir en gran medida las posibles afecciones al medio natural de la prueba, realizando un análisis previo y ejecutando una correcta planificación de la misma, permitiendo compatibilizar el desarrollo de este tipo de pruebas con la conservación del medio y estableciendo una consonancia con los objetivos de este deporte.

No obstante, si bien se minimizaron los impactos negativos en la fase de diseño de la competición, fue necesario continuar con el proceso de evaluación ambiental que permitía establecer una serie de medidas preventivas y correctoras específicas para este tipo de evento.

En conclusión, el enfoque técnico y ambiental adoptado para el Campeonato de Trial Internacional de Robregordo refleja un compromiso sólido con la sostenibilidad y la conservación del entorno. La planificación detallada, junto con las medidas preventivas y correctoras implementadas, garantizaron que el evento se llevara a cabo de manera respetuosa con el medio ambiente, asegurando la viabilidad y sostenibilidad del evento en futuras ediciones.

## Referencias /Bibliografía

- [1] Sede electrónica del Catastro. <https://www.sedecatastro.gob.es/>.
- [2] Instituto Geográfico Nacional. <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>
- [3] Geoportal Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.  
<https://sig.mapama.gob.es/geoportal/>.
- [4] Catálogo de Información Geográfica de la Comunidad de Madrid.  
<https://idem.comunidad.madrid/catalogocartografia/srv/spa/catalog.search;jsessionid=80F128EF30A64B514847D0BE464C3791.p13433306#/home>.
- [5] Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas.  
<https://www.fega.gob.es/es/pepac-2023-2027/sistemas-gestion-y-control/sigpac>.

## **EL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS ESCUELAS RURALES ANTE EL RETO DEMOGRÁFICO**

*Iglesias Merchán, C.; Gómez Villarino, M.T.; Silván Rico, R.*  
Universidad Politécnica de Madrid, [carlos.iglesias@upm.es](mailto:carlos.iglesias@upm.es), Madrid.

**Palabras clave:** Despoblación; Despoblamiento; España vaciada; Medioambiente; Medio rural.

### **Resumen**

En la actualidad, España posee casi 30 millones más de habitantes que al comienzo del siglo XX y su densidad media de población casi se ha triplicado desde entonces. Sin embargo, en más de la mitad de la superficie de España la densidad poblacional se sitúa por debajo de 10 habitantes por kilómetro cuadrado. Aproximadamente el 90% del territorio nacional se considera medio rural y, en gran parte, se encuentra amenazado por la despoblación. En esta propuesta se aborda el reto demográfico teniendo en consideración el posible impacto ambiental de la escuela rural como herramienta de desarrollo en la España vaciada frente a los problemas de despoblación y despoblamiento.

### **Introducción**

Aproximadamente el 90% del territorio de España se considera medio rural y, en gran parte, se encuentra amenazado por la despoblación. El despoblamiento del medio rural y la pérdida de servicios e infraestructuras en el mismo se identifican, indistintamente y como si de una pescadilla que se muerde la cola se tratara, como causa y consecuencia para justificar o entender esta problemática de difícil solución.

Una consecuencia inmediata del despoblamiento del medio rural es el abandono de prácticas y actividades agrarias, ganaderas y forestales ligadas a aprovechamientos tradicionales del monte. El análisis de su potencial impacto ambiental, desde una perspectiva forestal, obliga a considerar, por ejemplo, su posible influencia en el incremento del riesgo de incendios forestales.

Aunque los incendios forestales han tenido históricamente una causa humana, que reducía a un número menor los incendios originados por rayos u otros factores de origen natural, en la actualidad existe una creciente preocupación sobre la evolución de su régimen y características. Entre otros factores, cada vez se le otorga más importancia al abandono progresivo de actividades tradicionales del campo, dado que sus efectos sobre los usos del suelo pueden influir tanto en la fase de prevención como en la de extinción de los incendios forestales [1]. De hecho, un trabajo de la Universidad de Alcalá, que analiza el número de incendios que se han producido y las superficies afectadas desde el año 1968 hasta el 2010 a escala nacional, resalta esa relación con los cambios de los usos del suelo, entre otros factores [2]. Aunque el papel de las escuelas en los procesos de despoblación, para determinar su contribución como causa o consecuencia de la despoblación rural, no parece del todo claro. Investigaciones previas no han hallado que la escuela resulte un factor clave para el

mantenimiento de la población, aunque otorgan un importante valor simbólico a su permanencia o cierre [3].

Sin embargo, en este trabajo se explora la posible relación entre las escuelas rurales y los incendios forestales en la provincia de Ávila. Ávila es una de las provincias del interior de España afectada por procesos de despoblación y donde más incendios forestales se registran año tras año. En ella se registran buena parte de los grandes incendios del Sistema Central que constituyen una de las peores amenazas económicas para las comunidades rurales [4].

## **Material y Métodos**

En este contexto, se planteó el proyecto REDMER, una iniciativa en el marco de las Comunidades EELISA, de la Universidad Politécnica de Madrid, en el que se aborda el posible impacto de las escuelas rurales desde la perspectiva de asignaturas relacionadas con la Ordenación Territorial en tres escuelas de Ingeniería (la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural, la ETSI Agronómica, Alimentaria de Biosistemas y la ETSI de Ingenieros de Caminos). La problemática se introdujo en las asignaturas con la colaboración de una entidad externa (Fundación FECOMA), relacionada con esta temática a través del proyecto EIDER (Educación para Impulsar el Desarrollo Rural), que promueve la creación de escuelas rurales en zonas afectadas por la despoblación.

Entre las primeras actividades del proyecto REDMER se ha llevado a cabo una aproximación para evaluarla posible relación entre la distribución histórica de incendios forestales y la pérdida de dinámicas económicas, sociales, etc. tradicionales de la población rural, caracterizadas a través de la distribución territorial de los centros educativos de la provincia de Ávila (asumiéndose que puedan contribuir simultáneamente a mantener población y al relevo generacional en el campo). Para ello se han cruzado datos demográficos del Instituto Nacional de Estadística, con información sobre centros educativos y estadísticas de incendios de la Junta de Castilla y León (entre los años 1996 y 2015), así como información sobre vegetación extraída del Mapa Forestal de España.

Se ha analizado la posible correlación entre las variables descriptivas de los incendios y la distribución de escuelas rurales y se ha realizado la prueba U de Mann-Whitney, para comparar los datos sobre número de incendios y superficie forestal arbolada incendiada entre términos municipales de menos de 1.000 habitantes en función de si albergan centros escolares o no.

## **Resultados**

Entre los resultados descriptivos más evidentes cabe resaltar que en la provincia Ávila habitan aproximadamente 160.000 personas y que posee 248 municipios. Si bien solo hay 5 municipios con más de 5.000 habitantes y otros 13 que superen los 1.000 habitantes. En Toda la provincia solo existen 26 municipios de menos de 1.000 habitantes que posean algún centro educativo, de los que 23

corresponden a centros rurales agrupados (CRA) y el menos poblado de estos últimos municipios tiene unos 70 habitantes. En la Figura 1 se puede observar que hay grandes extensiones de territorio que constituyen prácticamente un desierto escolar, alguna casi coincidente con la cuenca del Tormes.

A priori, llama la atención una ligera correlación positiva y estadísticamente significativa ( $p < .001$ ) entre el número de habitantes con el número de incendios y la superficie arbolada incendiada en el período analizado. Aunque el número medio de incendios en los municipios con presencia de CRA resulta de 25,5 mientras en los municipios sin centros educativos es de 9,6. Sin embargo, al referirnos a la superficie incendiada, ésta es mayor en los municipios sin CRA (media de 32 ha) que en los municipios con CRA (24,6 ha), siendo casi 5 veces mayor la población media en estos últimos (Tabla 1). Al comparar mediante la prueba U de Mann-Whitney, resultó una diferencia estadísticamente significativa tanto en lo referente a la superficie incendiada ( $p = .008$ ) como al número de incendios ( $p = .003$ ) entre municipios de menos de 1.000 habitantes con o sin presencia de CRA, para un nivel de significación del 5% ( $\alpha = 0.05$ ).

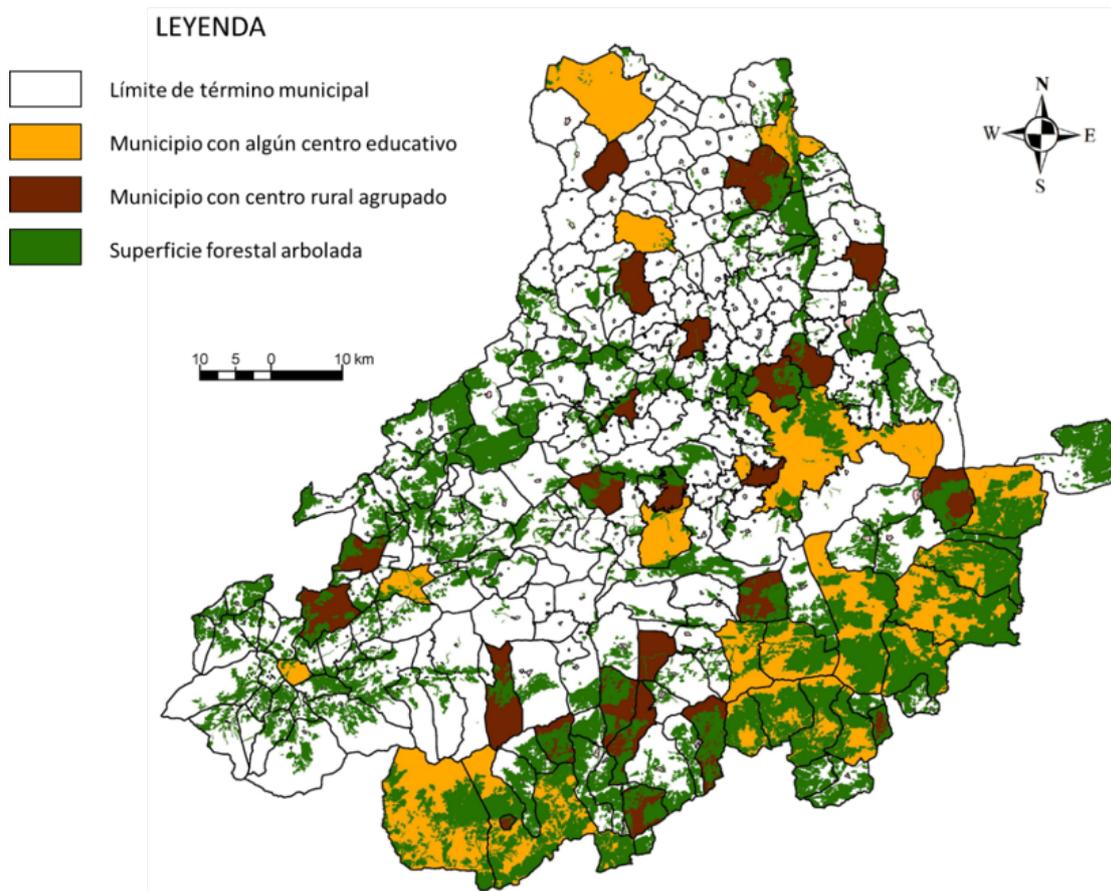


Figura 1. Distribución geográfica de las masas forestales arboladas y de los centros educativos en la provincia de Ávila.

Variable	CRA	Media
Población (hab)	SÍ	515
	NO	160
Número de incendios (ud)	SÍ	25,5
	NO	9,6
Superficie arbolada incendiada (ha)	SÍ	24,6
	NO	32,2

*Tabla 1. Valores medios de las variables analizadas*

## Discusión y Conclusiones

En una primera aproximación a la problemática descrita sobre el impacto del despoblamiento rural en el medioambiente, en forma de recurrencia y tamaño de los incendios forestales durante 20 años en la provincia de Ávila, se observa una relación estadísticamente significativa con la distribución de centros educativos en el territorio. Los cambios socioeconómicos de la provincia, analizados a través de la existencia de centros escolares en el medio rural, tienen su reflejo en las estadísticas de incendios forestales.

La despoblación del medio rural es un tema preocupante en buena parte de España de muy difícil solución [5]. En tiempos en los que en la opinión pública se discute si las políticas ambientales están teniendo efectos negativos no deseados sobre las rurales [6], resulta interesante observar la posible relación entre la pérdida de servicios esenciales en el medio rural (como causa o consecuencia del abandono de éste último) y el incremento del riesgo de incendios, como posible factor de amenaza para la conservación de la naturaleza. Aunque el fuego pueda considerarse un proceso ecológico clave para muchas especies en determinados contextos [7].

De esta manera se deduce que el mantenimiento y promoción de escuelas rurales, lógicamente acompañadas de otros servicios e infraestructuras básicos que permitan fijar población en el medio rural, más allá de una iniciativa contra el despoblamiento del medio rural podría considerarse también una medida de conservación. Una medida mitigadora de algunos de los impactos ambientales potencialmente asociados al despoblamiento del medio rural, entendiendo que, indirectamente, puede contribuir al mantenimiento y desarrollo de actividades tradicionales con repercusión en nuestros ecosistemas agroforestales.

**Agradecimientos:** Este trabajo forma parte de las actividades financiadas por la Universidad Politécnica de Madrid con fondos del Ministerio de Universidades y el Programa Erasmus+ de la Unión Europea, a través de la Convocatoria Retos EELISA para introducir problemáticas reales con componente social en enseñanzas de Grado y Máster de la UPM.

## Referencias /Bibliografía

- [1] Fernández Aldana, R. 2021. Los incendios forestales y la despoblación rural. <https://www.ecologistasenaccion.org/160319/los-incendios-forestales-y-la-despoblacion-rural/> (último acceso 20/06/2024).
- [2] Moreno, M.V., Conedera, M., Chuvieco, E., Pezzatti, G.B. 2014. Fire regime changes and major driving forces in Spain from 1968 to 2010. *Environmental Science & Policy* 37, 11-22.
- [3] Morales Romo, N. 2019. Cierre de las escuelas en entornos rurales ¿por o para el despoblamiento? *Revista PH* 98, 20-23.
- [4] Palacios Estremera, M.T. Fuentes documentales para el estudio de los incendios forestales en Ávila. En *Presencia histórica del fuego en el territorio* (pp. 155-176). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Centro de Publicaciones, Madrid, 2013.
- [5] Fernández de Frutos, M.J. El medio y la escuela rural frente a los retos del desarrollo, la despoblación y la transmisión de su identidad. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Valladolid, Facultad de Educación y Trabajo Social, Valladolid, 2023.
- [6] Martínez-Fernández, E., Cortés Vázquez, J.A. “Eso lo soltaron los de medio ambiente”: rumor e ideología en el conflicto entre políticas ambientales y población rural. Comunicación en congreso. 7º Congreso Internacional de Antropología AIBR. Vila Real (Portugal), 2021.
- [7] MITECO. Los incendios en la Red Natura 2000: situación, prevención y propuestas para una gestión integral. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), Madrid, 2022.

## LA EVALUACIÓN AMBIENTAL COMO GARANTÍA DE PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL

*Sobrini Sagaseta de Ilúrdoz, I.; Rodríguez Martín, B.; Cantalapiedra Jiménez, V.*

ICMA - Ingenieros Consultores Medio Ambiente, S.L., [info@icma.es](mailto:info@icma.es), Madrid, España

**Palabras clave:** Evaluación ambiental; Arqueología; Patrimonio; Protección; Renovables; Biodiversidad.

### Resumen

La arqueología, tradicionalmente asociada con la excavación de antiguas civilizaciones y la recuperación de instrumentales históricos, ha emergido como una herramienta crucial en la evaluación ambiental. Este vínculo aparentemente inusual entre el estudio del pasado humano y la comprensión de los desafíos ambientales actuales refleja la interconexión entre las acciones humanas a lo largo del tiempo y sus consecuencias para el entorno.

### Introducción

La arqueología desempeña un papel fundamental en la identificación y protección del patrimonio cultural, que está estrechamente vinculado a la biodiversidad y los ecosistemas. Los sitios arqueológicos a menudo albergan una diversidad de especies, algunas de las cuales pueden depender de las estructuras humanas para su hábitat. La conservación de estos sitios no solo preserva la historia cultural, sino que también contribuye a la preservación de la biodiversidad.

Como caso práctico se presenta el proceso metodológico y resultados preliminares de la excavación arqueológica del yacimiento Cerro Paredazos y Vistalegre, localizado en el ámbito del proyecto de planta solar fotovoltaica "Belinchón 3" en Barajas de Melo (Cuenca), realizado por ICMA para OPDENERGY S.L. derivada de la evaluación ambiental y su posterior vigilancia.

### Material y Métodos

Las fases de la intervención y la metodología de campo llevada a cabo se resumen en los siguientes pasos:

1.- Limpieza arqueológica superficial. Con el fin de identificar la totalidad de estructuras que pudieran permanecer sin localizarse tras los movimientos de tierra, y definir de forma definitiva el perímetro del yacimiento Cerro Paredazos y Vistalegre, se realizó una limpieza arqueológica superficial con una máquina retro giratoria con cazo de limpieza.

2.- Levantamiento topográfico. Tras la limpieza superficial de la parcela se procedió al levantamiento topográfico completo del yacimiento mediante un equipo de topografía de alta precisión. En esta

toma planimétrica inicial se incluyeron tanto las estructuras como los depósitos arqueológicos visibles, cada uno de ellos debidamente numerado.

3.- Excavación manual. Por último, y tercer lugar, la excavación arqueológica manual de todos los depósitos o unidades identificados en planta, procediéndose a su vez a su georreferenciación, a la documentación gráfica y fotográfica de estas y a la recuperación de los materiales arqueológicos depositados en las mismas.



*Figura 1.  
Limpieza arqueológica  
superficial*



*Figura 2.  
Levantamiento topográfico*



*Figura 3.  
Excavación manual*

En resumen, los materiales encontrados y otros hallazgos son los siguientes:

**Material cerámico:** Los materiales cerámicos han sido lavados con agua, cepillados y dejados secar a la sombra ya una temperatura adecuada para su correcta conservación. Se revisan e inventarían todos los materiales cerámicos por unidades estratigráficas con el objeto de identificar el número mínimo de individuos (NMI) y proceder al remontaje de aquellos que permitieran reconocer perfiles completos de cara a su representación gráfica.

El material cerámico recuperado se adscribe a los periodos Calcolítico y Edad del Bronce. Fragmentos de recipiente con decoración incisa de líneas e impresa de círculos

**Industria lítica:** En el conjunto lítica se observan dos tipos de trabajo: Talla exclusivamente sobre sílex y pulimento sobre rocas metámórficas e ígneas. Láminas selectas y punta de talla bifacial.

**Industria de origen animal:** Conjuntos de utensilios elaborados sobre materia dura de origen animal (hueso, asta, marfil, etc.), punzón y detalle de la asta de cévido.

**Material faunístico.** Destaca en el yacimiento Cerro Paredazos, como ya se señalaba para el de Vista Alegre, la escasez de material faunístico recuperado. Ello puede deberse al carácter abrasivo de los yesos que conforman el terreno natural, y que se integra también en los depósitos arqueológicos. Esta abrasión habría hecho desaparecer la mayor parte del registro. La misma interpretación cabe señalar con respecto a los restos humanos, habituales en este tipo de yacimientos.

El porcentaje de material óseo animal seleccionado para su estudio es del 100%. El material ha sido lavado, cepillado y secado a la sombra en condiciones ambientales que permitieran su conservación.

Igualmente, se pesó de acuerdo con su unidad estratigráfica de procedencia. Como objetivos concretos del análisis se ha planteado:

- Evaluar el estado de conservación de las muestras
- Reconocer los taxones presentes en los periodos representados
- Identificar las partes anatómicas de los taxones identificados
- Registrar las marcas de origen antrópico y animal
- Conocer las edades de los animales sacrificados
- Obtener datos osteométricos de las piezas mensurables
- Registrar las anomalías patológicas

**Actividad animal:** Madrigueras identificadas en planta cortando a estructuras arqueológicas.

**Restos humanos:** Se ha localizado durante la intervención un enterramiento parcial en la UE 1431. Los restos óseos corresponden a un adulto. Se han recuperado fragmentos del ramo derecho de la mandíbula y dos molares (primero y segundo). También un fragmento de maxilar y las raíces de dos dientes.

Destaca la escasez de restos humanos, habituales en este tipo de yacimientos, por las mismas razones antes expuestas para el material faunístico.

**Análisis palinológico:** Teniendo en cuenta la tipología del registro, para el análisis palinológico se optó por emplear la estrategia de muestreo conocida como muestreo en unidades estratigráficas concretas en el seno del yacimiento, teniendo en cuenta que ambos yacimientos son de la tipología conocida como “campos de hoyos o sin estratigrafía”, caracterizados por la dispersión de estructuras de almacenamiento de diferentes capacidades que son reutilizadas como basureros una vez se han amortizado. Se han estudiado un total de 2 muestras que desde un punto de vista cronológico pueden ser adscritas a un intervalo cronológico que se extendería entre finales del Calcolítico e inicios de la Edad del Bronce, entre el III y el II milenios a.C.

**Restos arqueobotánicos:** De igual forma, con las muestras extraídas se ha realizado un estudio antracológico de los restos arqueobotánicos. Para dicho estudio se ha contado con la colaboración del Grupo de investigación Arqueología Medioambiental, Instituto de Historia Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), con los resultados del análisis de 8 muestras de material arqueobotánico recuperadas en el yacimiento, que incluyen maderas preservadas por carbonización. La carbonización es un fenómeno que se produce en diferentes fases desde su estado natural: (1) la deshidratación, (2) la torrefacción, (3) la pirólisis y (4) la última fase denominada de comburación (CHABAL *et al.*, 1999: 52). La conservación a través de la carbonización se realiza cuando los restos vegetales, alcanzada una temperatura superior a 500º, no tienen oxígeno suficiente para quemarse por completo. Esto genera restos carbonizados que se pueden localizar e identificar. Los carbones son, por tanto, el producto de una combustión incompleta; si ésta se hubiese completado, el resultado sería cenizas.



Figura 4. Sección Transversal *Juniperus* sp.



Figura 5. Sec. Trans. de Leguminosae tipo *Genista*.

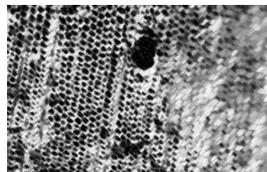


Figura 6. Sección Transversal *Pinus* sp.



Figura 7. Sec. Trans. *Quercus ilex/coccifera*.

El análisis sobre las maderas localizadas en un yacimiento arqueológico nos aporta datos sobre la vegetación leñosa existente en el entorno del yacimiento y sobre los mecanismos de selección del combustible. La utilización de estas especies probablemente estuvo determinada por dos factores básicos: (1) su frecuencia en el entorno y (2) sus propiedades como combustible, en este caso. En principio, todas las maderas son aprovechables para su uso, sin embargo, algunas se consideran de excelente calidad por sus características de dureza, olor, proporción de humo, etc.

Se observa claramente en las muestras la predilección por 2 tipos de madera de manera exclusiva: (1) La de encina/coscoja (*Quercus ilex/coccifera*) de forma mayoritaria, y (2) la de enebro/sabina (*Juniperus* sp) en algunas de las unidades. Pese a esto, no se ve una tendencia exclusiva en la utilización de los materiales ya que una y otra aparecen en silos, fosas, etc. sin marcar un uso preferencial de la leña.

## Discusión y Conclusiones

Las muestras obtenidas resultaron fértiles desde un punto de vista palinológico, por lo que de su espectro polínico se puede inferir o reconstruir la paleovegetación. En ella se documenta polen de *Pinus sylvestris/nigra* en bajo porcentaje (4%), lo que refleja su carácter alóctono, posiblemente a partir de poblaciones de pinares altimontanos situados en las estribaciones de la Serranía de Cuenca u otras sierras cercanas (López Sáez *et al.*, 2013). Lo mismo puede señalarse de *Quercus pyrenaica* tipo, cuyos valores del 10% señalan igualmente la existencia de robledales y/o quejigares en un marco regional (López Sáez *et al.*, 2015).

El espectro polínico de la muestra implica una cobertura arbórea reducida, siendo el taxón más representado la encina (*Quercus ilex/coccifera*) con un 30% de la suma base polínica, lo que reflejaría un paisaje abierto, deforestado, de encinar semi-adehesado (López Sáez *et al.*, 2010a). Amén de la encina, localmente estos encinares quedan representados por su cortejo florístico, como el enebro (*Juniperus oxycedrus*), con un 5%. La presencia de sauces (*Salix*) estaría relacionada con seguridad con la cercanía a algún arroyo local, dado su porcentaje relativamente alto (11%).

Entre la flora herbácea, los palinomorfos predominantes serían las gramíneas (*Poaceae*), con un 25%. Este porcentaje, relativamente elevado, refrendaría el carácter abierto y deforestado de las formaciones leñosas de encinar. Dentro de la flora herbácea, un hecho significativo ha sido la identificación de polen de cereal (*Cerealia*) en porcentaje muy elevado (7%), que atestiguarían sin duda su cultivo en la inmediatez del yacimiento (López Sáez *et al.*, 2003). De la misma manera, ciertos palinomorfos indicativos de actividades de tipo pastoril o de cierto tipo de presión derivada de la presencia de una cabaña ganadera (López Sáez y López Merino, 2007) en el entorno del yacimiento (herbáceas antropozoógenas), caso de *Plantago lanceolata* (4%) y *Urtica dioica* (3%), han sido identificados en dicha muestra, lo mismo que ciertos hongos coprófilos como *Sordaria*, *Sporormiella* y *Cercophora*.

Las conclusiones del estudio paleontológico indican que aunque agricultura y ganadería serían, posiblemente, los principales factores que definirían el paisaje descrito en el yacimiento, también se han identificado toda una serie de indicadores polínicos de antropización, caso de *Aster*, *Boraginaceae*, *Scrophulariaceae*, *Cardueae* y *Cichorioideae*, que demostrarían la existencia de pastizales nitrófilos, de origen antrópico, fruto de una antropización ingente del paisaje entre el III y II milenios a.C.

A partir de los datos sobre macrorrestos vegetales obtenidos en los análisis se concluye:

- Todos los fragmentos estudiados se han conservado por carbonización.
- La madera más utilizada en el yacimiento es la de *Quercus sp.* perennifolio.
- La monoespecificidad resulta importante en las maderas del yacimiento.
- Las maderas localizadas son un reflejo de la vegetación circundante, aunque también se observa cierta selección de unas frente a otras.
- Se han seleccionado taxones de especial importancia, con alto valor como combustible.

## Referencias / Bibliografía

- ABOAL FERNÁNDEZ, R., AYÁN VILA, X., CRIADO BOALO, F., PRIETO MARTÍNEZ, MP., TABARES DOMÍNGUEZ, M. (2005): Yacimientos sin estratigrafía: Devesa do Rei, ¿un sitio cultural de la Prehistoria Reciente y la Protohistoria de Galicia? Trabajos de Prehistoria 62 (2). 165-180.
- ALAÑÓN FLOX, L. (1988): Prehistoria y Arqueología de San Carlos del Valle (Ciudad Real). I Congreso de Historia de Castilla la Mancha, vol. II. 139-146.
- BANGO, C., RUANO, R. C., ARRIBAS, R., SIERRA, C., AZNAR, A. T., Y MOLINA, M. A. (2000): Arqueología en la comarca de La Alcarria conquense: El yacimiento de El cerro de Alvar Fañez (Huete, Cuenca). Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid (CuPAUAM), (26). 95-150.
- BARROSO, R. (2016): Solo contrastando. Calcolítico vs. Bronce en la prehistoria del interior peninsular” En ARPI: Arqueología y Prehistoria del Interior peninsular, nº 04. 264-285.
- BAR-YOSEF, O. Y VAN PEER, PH. (2009): The ‘Chaîne Opératoire’ Approach in Middle Paleolithic Archaeology. Current Anthropology 50 (1). 103-131.
- BELLIDO, A. (1996): Los campos de hoyos: inicios de la economía agrícola en la submeseta norte. Valladolid. Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Valladolid.
- BLASCO, M. C. (1997): Manifestaciones funerarias de la Edad del Bronce en la Meseta. Saguntum, 30. 173-190.
- BLASCO, C.; DELIBES, G.; BAENA, J.; LIESAU, C. Y RÍOS, P. (2007): El poblado Calcolítico de Camino de las Yeseras (San Fernando de Henares, Madrid): un escenario favorable para el estudio de la incidencia campaniforme en el Interior Peninsular. Trabajos de Prehistoria, Vol. 64, No 1. Pp. 151-163.
- CAMBON, G. (1981): Relations entre le contenu pollinique de l’atmosphère et le couvert vegetal méditerranéenne occidentale a Montpellier (France), Valencia (Espagne) et Oran (Algerie). Tesis Doctoral, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Languedoc. Inédita.
- CANTALAPIEDRA, V. Y VÍRSEDA, L. (2022): Memoria final de excavación arqueológica de los yacimientos El Rabanal I y El Rabanal II, localizados en el ámbito del proyecto de nave industrial sin uso específico en la parcela P7 del Polígono Industrial El Rabanal. Illescas (Toledo). Expte. Cultura: 191279. Inédito. Depositado en el Servicio de Cultura de Toledo.

- CANTALAPIEDRA, V. (2021): Informe preliminar de excavación arqueológica del yacimiento AVON localizado en el ámbito del proyecto de demolición de naves existentes y construcción de complejo logístico BGO POND en la parcela de AVON COSMETICS SAU. T. M. de Alcalá de Henares (Madrid). Inédito. Depositado en la Dirección General de Patrimonio Cultural de la Comunidad de Madrid.

## **LA EVALUACIÓN AMBIENTAL COMO HERRAMIENTA DE CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD**

*Domecq Fernández, T.; Sobrini Sagaseta de Ilurdoz, I.*

Ingenieros Consultores Medio Ambiente, S.L., [info@icma.es](mailto:info@icma.es), Madrid

**Palabras clave:** Impacto; Correctora; Compensatoria; Biodiversidad; Ecosistema; Conservación

### **Resumen**

En la evaluación ambiental de la implantación de plantas solares fotovoltaicas en terrenos de cultivo, las medidas compensatorias y las correctoras juegan un papel crucial. Estas medidas, que abarcan desde pantallas vegetales y teselas de matorral hasta majanos, parcelas de cultivo para esteparias y nidos para diversas especies de aves y quirópteros, se implementan con el objetivo de minimizar el impacto ecológico de dichas instalaciones.

Estas medidas, cuando se implementan de manera efectiva, pueden equilibrar la necesidad de energía renovable con la conservación del medio ambiente. De esta manera, se permite que las plantas solares coexistan armoniosamente con los ecosistemas locales, demostrando que la producción de energía y la conservación del medio ambiente no son mutuamente excluyentes, sino que pueden lograrse simultáneamente con una planificación y ejecución cuidadosas.

### **Introducción**

Este trabajo destaca cómo las prácticas de evaluación ambiental pueden integrarse efectivamente en proyectos de energía renovable para promover la conservación de la biodiversidad. El documento aborda diversas estrategias, como la creación de charcas para anfibios, la instalación de cajas nido para especies amenazadas, la promoción de aves esteparias mediante barbechos, y el uso de pastoreo ovino en plantas solares. Estas medidas no solo favorecen la biodiversidad local, sino que también contribuyen a la resiliencia climática, la reducción de costos y la sostenibilidad de las instalaciones. El enfoque integral propuesto busca armonizar la producción de energía renovable con la protección del medio ambiente, demostrando que ambos objetivos pueden alcanzarse de manera sinérgica.

### **Material y Métodos**

Esta comunicación utiliza diversas metodologías y materiales para evaluar y mitigar los impactos ambientales de proyectos de energía renovable, particularmente en las solicitadas en la Declaraciones de Impacto Ambiental de las plantas solares fotovoltaicas Elawan, Tordesillas Solar PV, Arco I y Parque Vita Energy FV3 [4], [5], [6] y [7].

Los métodos y materiales incluyen:

1. **Construcción de charcas para anfibios:** Estas charcas proporcionan hábitats adicionales para especies en declive, ayudando en la conservación de la biodiversidad local [1].



*Figura 1. Representación gráfica encharca para anfibios en planta solar con gestión de pasto mediante ganado ovino. (Fuente: Elaboración propia)*

2. **Instalación de cajas nido:** Se emplean cajas nido para ofrecer refugio y sitios de reproducción a especies amenazadas, como aves y murciélagos, contribuyendo a su preservación.



*Figura 2. Representación gráfica de cajas nido sobre poste para cernícalo primilla. (Fuente: Elaboración propia)*

3. **Implantación de barbechos:** Se utilizan barbechos de larga duración para promover la biodiversidad, fomentando la coexistencia de especies en paisajes agrarios multifuncionales [2].



*Figura 3. Representación gráfica de barbecho de larga duración.  
(Fuente: Elaboración propia)*

4. **Pastoreo ovino:** Este método ecológico se emplea para el control de malezas en áreas solares, favoreciendo la gestión sostenible del terreno sin necesidad de herbicidas.

Estos métodos integran la producción de energía renovable con la conservación ambiental, promoviendo la sostenibilidad y la resiliencia ecológica [3].

## **Resultados**

La implementación de diversas medidas ha generado resultados significativos en la mejora de la biodiversidad y la sostenibilidad en áreas de proyectos solares fotovoltaicos. La construcción de charcas para anfibios ha creado hábitats adicionales que favorecen el aumento de la población y diversidad de estas especies, esenciales para el control de plagas al alimentarse de insectos. Este enfoque no solo apoya la conservación de especies, sino que también contribuye al equilibrio ecológico.

Asimismo, la instalación de cajas nido proporciona refugio y sitios de reproducción seguros para aves y murciélagos, mejorando su supervivencia y ayudando en el control natural de plagas. Esto favorece la estabilidad de las poblaciones de estos animales y su rol en los ecosistemas locales.

Por otro lado, la implantación de barbechos promueve la biodiversidad al actuar como reservorios de especies, además de mejorar la calidad del suelo, lo que beneficia tanto a la flora como a la fauna. Estos espacios no solo permiten la regeneración del entorno natural, sino que también contribuyen a la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos solares.

Finalmente, el pastoreo ovino ofrece un control efectivo y ecológico de malezas, lo que reduce costos operativos al evitar sombras sobre los paneles solares. Además, este sistema mejora la calidad del suelo a través de las deposiciones de estiércol, lo que favorece un entorno más saludable. Todas estas medidas han demostrado ser efectivas para integrar la producción de energía renovable con la conservación ambiental, promoviendo un ecosistema más equilibrado y resiliente frente al cambio climático.

## **Discusión y Conclusiones**

Destaca la relevancia de las medidas ambientales implementadas para promover una integración efectiva entre la producción de energía renovable y la conservación de la biodiversidad. Estas medidas no solo han sido efectivas en mitigar los impactos negativos asociados con la instalación y operación de plantas solares, sino que han proporcionado beneficios tangibles para los ecosistemas locales.

Las charcas para anfibios han demostrado ser un componente clave para la restauración de hábitats acuáticos, esenciales para la supervivencia de especies en declive debido a la pérdida de hábitat. Este enfoque no solo ayuda a aumentar las poblaciones de anfibios, sino que también contribuye al control natural de plagas, reduciendo la dependencia de pesticidas. La implementación de cajas nido ha sido igualmente exitosa, proporcionando refugios seguros y promoviendo la reproducción de especies amenazadas, lo que ha resultado en una mayor diversidad y estabilidad de las poblaciones locales.

La implantación de barbechos de larga duración ha sido una estrategia efectiva para la conservación de la biodiversidad en paisajes agrarios, actuando como reservorios de vida silvestre y mejorando la salud del suelo. Además, el uso de pastoreo ovino en áreas solares ha demostrado ser una práctica ecológica y económica para el control de vegetación, contribuyendo a la sostenibilidad operativa de las plantas solares y mejorando la eficiencia energética al prevenir sombras en los paneles.

En conjunto, estas medidas subrayan la importancia de una evaluación ambiental integral en la planificación y ejecución de proyectos de energía renovable. Los resultados obtenidos indican que es posible lograr un equilibrio entre el desarrollo energético y la protección del medio ambiente. Las prácticas descritas no solo mitigan los impactos ambientales, sino que también potencian la resiliencia de los ecosistemas locales frente a los desafíos del cambio climático.

En conclusión, la evaluación ambiental debe considerarse una herramienta indispensable para garantizar que los proyectos de energía renovable sean sostenibles, tanto ecológica como económicamente, a largo plazo.

## Referencias /Bibliografía

[1] Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente & Asociación Herpetológica Española, 2017. Manual para el diseño de charcas para anfibios españoles. Tragsatec.

[2] Giralt, D., Robleño, I., Estrada, J., Mañosa, S., Morales, M.B., Sardà-Palomera, F., Traba, J. y Bota, G., 2018. Manual de gestión de barbechos para la conservación de aves esteparias. Fundación Biodiversidad - Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya.

[3] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Subdirección General de Biodiversidad Terrestre y Marina, 2021. Guía metodológica para la valoración de repercusiones de las instalaciones solares sobre especies de avifauna esteparia.

[4] Diario Oficial de Castilla La Mancha, AÑO XL Núm 36 de 23 de febrero de 2021, páginas 7750 a 7776 (26 págs). Resolución de 10/02/2021, de la Delegación Provincial de Desarrollo Sostenible de Ciudad Real, por la que se formula la declaración de impacto ambiental del proyecto denominado: Planta de energía solar fotovoltaica de 35,76 MWp Elawan e infraestructuras de evacuación asociadas (término municipal de Manzanares, Ciudad Real), expediente PRO-CR-20-1462, cuya promotora es la mercantil Elawan Energy, SL. [2021/1627]

[5] Boletín Oficial del Estado, Núm. 309, de 26 de diciembre de 2022, páginas 184483 a 184502 (20 págs). Resolución de 12 de diciembre de 2022, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto «Planta solar fotovoltaica "Tordesillas Solar PV" con una potencia de 300 MWp/252 MWn, y su infraestructura de evacuación, en San Román de Hornija y Pedrosa del Rey (Valladolid)».

[6] Diario Oficial de Extremadura, Núm 164, de 25 de agosto de 2023, páginas 48139 a 18225 (87 págs.). RESOLUCIÓN de 16 de agosto de 2023, de la Dirección General de Sostenibilidad, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto de instalación solar fotovoltaica "ARCO I" e infraestructura de evacuación, a realizar en los términos municipales de Cáceres, Casar de Cáceres y Malpartida de Cáceres, cuyo promotor es Gandasolar 16, SL. Expte.: IA22/0397. (2023063041)

[7] Boletín Oficial del Estado, Núm. 157, de 1 de julio de 2022, páginas 93206 a 93228 (23 págs.) Resolución de 22 de junio de 2022, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto "Parque Vita Energy FV3 de 50,01 MWp/46,15 MWn, y su infraestructura de evacuación, en Valverde del Majano y Segovia (Segovia)"

[www.eia.es](http://www.eia.es)

