



CIENCIA PARA SALVAR DOÑANA

EVIDENCIAS DE SU DETERIORO ECOLÓGICO EN 2024

**Ciencia para salvar Doñana.
Evidencias de su deterioro ecológico en 2024.**

Autores

Este informe es una obra colectiva coordinada por Teresa Gil Gil (WWF España) y Guido Schmidt (Fresh Thoughts Consulting GmbH), incluyendo como coautores a Ana Soler (CSIC - Instituto Español de Oceanografía), Andy J. Green (CSIC-EBD), Antonio Camacho (Universitat de València), Carlos Camacho CSIC-EBD), Carlos Urdiales (CSIC-EBD), Carmen Díaz Paniagua (CSIC-EBD), Carolina Guardiola Albert (CSIC - Instituto Geológico y Minero de España), Claus Kohfahl (CSIC-IGME), Eloy Revilla (CSIC-EBD), Enrique Padilla (Universidad de Granada), Eva Contreras (Universidad de Córdoba), Felipe Fuentelsaz (WWF España), Iván Gómez Mestre (CSIC-EBD), Javier Bustamante (CSIC-EBD), Jesús Vargas (Universidad de Málaga), José Pedro Cañavate (Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica), José Prenda (Universidad de Huelva), Juanjo Carmona (WWF España), Laura Serrano (Universidad de Sevilla), Marcos Llope (CSIC-IEO), María de los Reyes Siles Ajamil (Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos), Miguel Angel Bravo (CSIC-EBD), Patricia María Rodríguez-González (Centro de Estudios Florestais, Instituto Superior de Agronomía, Universidade de Lisboa), Pedro Sáez-Gómez (Universidad Autónoma de Madrid), Rafael Sánchez Navarro y Rafael Seiz (WWF España).

Agradecemos sus aportaciones a Jordi Figuerola (CSIC-EBD) y Manuel Olías (Universidad de Huelva), así como a Jorge Navacerrada (Altekio) por la facilitación del taller organizado en octubre de 2022.

Maquetación

Eugenio Sánchez Silvela

Fotografía de portada

Garceta común levantando el vuelo sobre la Marisma de Doñana.
© Diego López / WWF España

© Texto: 2024, WWF Adena.

WWF/Adena agradece la reproducción y divulgación de los contenidos de esta publicación en cualquier tipo de medio, siempre y cuando se cite expresamente la fuente (título y propietario del copyright).

Cita sugerida:

Gil Gil, T.; Schmidt, G. y otros (2024). *Ciencia para salvar Doñana. Evidencias de su deterioro ecológico en 2024*. WWF España.

WWF España
Gran Vía de San Francisco,8-D. 28005 Madrid

Las marcas registradas WWF® y *World Wide Fund for Nature*® y 1986 Logotipo del Panda son propiedad de WWF-World Wide Fund For Nature (anteriormente *World Wildlife Fund*).

Para más información visite wwf.es

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
EL PRESENTE Y EL FUTURO DE LOS CAUDALES EN LOS RÍOS, LOS ARROYOS Y LA MARISMA DE DOÑANA	5
El problema	5
La situación de ríos, arroyos y marisma acorde a los planes oficiales	5
El agua que necesita Doñana	6
La evolución de las precipitaciones	7
La evolución de las temperaturas	7
La evolución de los caudales de agua	8
Las acciones previstas	10
Valoración y propuestas	12
Referencias	13
LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN DOÑANA	15
El problema	15
La contaminación de las aguas según los planes oficiales	15
La contaminación con nutrientes de arroyos y de la marisma	16
La contaminación con nutrientes del estuario	17
Otros contaminantes	18
Las acciones	19
Valoración y propuestas	20
Referencias	21
EFFECTOS DE LA SOBREEXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO DE DOÑANA	23
El problema	23
El conocimiento sobre el acuífero	24
Los efectos	25
Las acciones	27
Valoración y propuestas	27
Referencias	29
EFFECTOS DE LAS EXTRACCIONES DE AGUA PARA EL ÁREA TURÍSTICA DE MATALASCAÑAS SOBRE LOS ECOSISTEMAS DE DOÑANA	30
El problema	30
Los efectos	31
Las acciones	35
Valoración y propuestas	35
Referencias	36
IMPACTOS QUE TIENE LA SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR EN DOÑANA	38
El problema	38
Datos e información reflejados en los documentos de gestión oficiales	38
El conocimiento sobre el estuario del Guadalquivir	40
La evolución del ecosistema dunar y su vegetación	40
Los efectos del deterioro del estuario y de la subida del nivel del mar sobre los ecosistemas de Doñana	41
Las acciones	42
Valoración y propuestas	44
Referencias	45
ESPECIES INVASORAS EN DOÑANA	46
El problema	46
Datos e información reflejados en los documentos de gestión oficiales	46
El conocimiento	47
Las acciones	48
Valoración y propuestas	48
Referencias	49
CONCLUSIONES	50

INTRODUCCIÓN

Este informe refleja el amplio conocimiento científico existente sobre algunos de los aspectos clave —agua, biodiversidad y cambio climático— para la conservación del patrimonio natural de Doñana, incluyendo su evolución desde los años 1960. Desde 2016, cuando se publicó un informe similar de WWF España sobre el agua en Doñana, más de 70 artículos científicos relevantes han sido publicados.

El informe surge de la enorme preocupación de WWF España y muchas personas vinculadas a la investigación científica por el estado de los ecosistemas, la biodiversidad y valores naturales de este espacio natural, basado en el conocimiento actual. Más aún, se vienen observando tendencias de deterioro muy preocupantes, debido a la insostenible gestión del territorio. Algunas de sus consecuencias se ven agravadas por los efectos del cambio climático que ya se están manifestando.

De la misma manera, para WWF España resulta urgente la necesidad de apostar por una estrategia política conjunta para resolver de forma eficaz los problemas ambientales que afectan a Doñana de una forma integrada, y para trasladar los compromisos globales para la conservación de la biodiversidad al nivel local. Los estudios científicos indican que Doñana está mucho peor de lo que los planes y documentos oficiales reconocen.

Resulta igualmente preocupante el escaso uso del conocimiento existente para la gestión sostenible de este espacio único para la conservación de la biodiversidad y su entorno. Así, muchas de las decisiones que se toman sobre su gestión no se basan en evidencias científicas existentes, sino que resultan en un mayor deterioro y en inversiones poco útiles.

WWF España considera que el hecho de que esto pase en un espacio tan privilegiado como Doñana, suscita muchas dudas sobre la gestión que se hace en muchos otros humedales en España y el Mediterráneo, que cuentan con menos investigación y conocimiento, y que en general tampoco cuentan con sistemas de monitoreo tan amplios.

WWF España quiere agradecer encarecidamente a todos los coautores y demás participantes en esta iniciativa el esfuerzo individual y colectivo de reunir y analizar la información reflejada en este documento, y discutir vías para transferir a la gestión y prosperar en el conocimiento de Doñana y su entorno de forma que redunde en la mejora de su estado de conservación.

PRESENTE Y EL FUTURO DE LOS CAUDALES EN LOS RÍOS, LOS ARROYOS Y LA MARISMA DE DOÑANA

EL PROBLEMA

Los **principales valores ambientales de Doñana se deben a su carácter de humedal de agua dulce**, lo que indica su dependencia de la lluvia, de los caudales de ríos, arroyos, caños y de las surgencias desde el acuífero en diferentes puntos (que se tratan en otro apartado).

La Marisma se transformó sustancialmente en la década de 1950-60, desviando los flujos del agua para que llegaran más rápido al mar y así favorecer la desecación de las tierras húmedas para posibilitar su cultivo. La transformación del entorno de Doñana continúa y conlleva unas menores descargas de los acuíferos a los cauces superficiales que alimentan a las zonas de marisma, así como el deterioro de sus riberas.

En este contexto, **el impacto del cambio climático agrava la situación del humedal**: olas de calor más frecuentes, precipitaciones más escasas e irregulares, escorrentías puntuales más fuertes, menor retención del agua en el suelo y en el propio acuífero, mayor consumo en municipios y en regadíos, y mayor evapotranspiración ligada al aumento de las temperaturas medias, intrusión salina debida a la subida del nivel del mar, y que ya resultan en una Doñana con menos disponibilidad de agua dulce.

Hasta ahora, **las necesidades hídricas para los distintos hábitats y especies o bien no se han estimado** (por ejemplo, para el estuario del Guadalquivir) o su determinación ha sido poco rigurosa. En paralelo, **se ha incentivado el consumo de más recursos hídricos**, sobre todo para agricultura de regadío industrial o para soportar la demanda turística estival, con nuevas infraestructuras hidráulicas y un ineficaz control de las extracciones de agua subterránea en la zona. Tampoco se han implementado actuaciones eficaces para mitigar el impacto combinado del expolio del agua y del cambio climático sobre ríos, arroyos y marisma de los que depende el espacio natural, aunque aparezcan reflejadas en instrumentos de planificación.

LA SITUACIÓN DE RÍOS, ARROYOS Y MARISMA ACORDE A LOS PLANES OFICIALES

Según el Plan Hidrológico del Guadalquivir (PHG) 2022-2027 (CHG, 2022) la evaluación del estado ecológico muestra un *"buen estado"* de las masas de agua superficial situadas dentro de la zona de *"Valor Universal Excepcional"* de acuerdo a los criterios de Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), y *"peor que bueno"* en la mayor parte de las masas situadas fuera, aunque en las masas de agua de tipo lago del *"Abalarío"* y *"Ribatehilos"* no se ha detectado una actividad humana significativa que lo justifique.

La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) considera que este mal estado puede estar relacionado con la poca profundidad de ambas lagunas y su carácter estacional, que, junto a la actividad de la fauna, tanto salvaje como ganadera, puede favorecer condiciones de eutrofia en el agua; si bien las condiciones de referencia y las límites de las distintas clases del estado ecológico establecidas en el Real Decreto 817/2015 ya se refieren a las que se darían en lagunas con esas características.

También indica el PHG 2022-2027 que la red fluvial, a excepción de la cuenca alta del Guadiamar, presenta un mal estado ecológico. La CHG considera que existen indicios de que esta circunstancia está ocasionada por valores elevados de nutrientes (nitratos, fósforo, amonio y nitritos) asociados a una insuficiente depuración urbana en las cuencas de los arroyos del Partido y La Cigüeña y a la actividad agraria en los de La Rocina y Majalberraque, que no reciben aportes de grandes estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR).

De acuerdo con la evaluación del PHG 2022-2027, en el río Crispinejo aguas arriba del embalse del Agrio se detectan valores elevados de cobre y zinc, sin que haya minas en activo, pero sí aportes de lixiviados ácidos desde las antiguas minas abandonadas de Castillo de las Guardas. También, los tramos del *"Río Crispinejo aguas abajo del embalse del Agrio"*, el *"Tramo medio del Río Guadiamar"* y el *"Tramo bajo del río Guadiamar"* presentan mal estado químico, muy probablemente debido a la actividad minera en toda la zona, no sólo la de tiempos recientes sino la desarrollada desde hace al menos dos mil años. Sin embargo, existen numerosas evidencias de que la contaminación en la zona de Aznalcóllar se debe a la minería moderna, no se debe atribuir a la minería romana (Olías et al., 2021).

En relación con las masas de agua del Estuario del Guadalquivir, la CHG indica que limita en su tramo final con la zona de *"Valor Universal Excepcional"* y el Espacio Natural Doñana, y que tiene conexión mareal originando hábitats terrestres ligados al mismo. De acuerdo con la evaluación realizada para el tercer ciclo de planificación sus masas de agua presentan estado *"peor que bueno"* en los indicadores fisicoquímicos y biológicos. La CHG considera que esta situación está relacionada con la del conjunto de la cuenca del Guadalquivir, ya que es el medio receptor de toda su carga contaminante, así como de una importante carga de sedimentos generada por la erosión aguas arriba. También se detecta deterioro en dos masas costeras por exceso de nutrientes, sobrepasándose ligeramente los umbrales de nitrógeno y fósforo en la masa *"Pluma de Guadalquivir"* y de fósforo en *"Doñana-Matalascañas"*.

Para ninguna de las masas de agua superficiales de Doñana se ha evaluado el estado hidromorfológico, con lo que las presiones relacionadas con la estructura de los ríos y arroyos, y su repercusión sobre el funcionamiento de los hábitats acuáticos y fluviales relacionados con las riberas, no ha sido valorado en esta evaluación del estado (Treviño et al., 2023). Tampoco se ha incorporado el indicador de peces a la evaluación de las masas de agua superficiales de Doñana, ni tampoco en el resto de la demarcación.

EL AGUA QUE NECESITA DOÑANA

Si bien la revisión del Plan Hidrológico del Guadalquivir para el periodo 2022-27 define unos caudales ecológicos mínimos para el río Guadiamar, el régimen propuesto es inconsistente respecto a criterios hidrológicos y biológicos, por ejemplo, ignorando la distribución en meses húmedos y secos, unas diferencias demasiado acusadas entre estaciones de aforo muy cercanas. Si se considera la biología de reproducción de una especie como el barbo gitano (*Luciobarbus sclateri*) entre los criterios para ayudar a ajustar el caudal ecológico del río Guadiamar, el hecho de que en la propuesta de la CHG aparezca el mes de mayo como “seco” es incoherente (Sánchez Navarro, 2021), a pesar de que la freza es variable y depende de las condiciones de cada año, y puede ir desde finales de febrero a mayo (Rodríguez y Granado, 1992)

Según el Plan Hidrológico del Guadalquivir, aún no se han determinado las necesidades hídricas de las masas de agua tipo “*lago*” de la demarcación. Dada la escasez de información relativa a estos espacios después de 20 años de implementación de la Directiva Marco del Agua todavía resulta difícil la definición de los requerimientos hídricos siendo prioritaria la recopilación de datos.

Sin embargo, se ha hecho un esfuerzo para definir mejor el papel real de las masas de agua subterránea en la conservación de los ecosistemas acuáticos. Para ello el Plan Hidrológico de Demarcación (PHD) 2022-27 ha considerado la componente subterránea de los caudales ecológicos, siendo esta equivalente al caudal mínimo en la desembocadura de la cuenca (378 hm³ anuales) y el caudal aportado de modo proporcional al volumen de recarga de cada Masa de Agua subterránea (MASb). También se sumaron los requerimientos ambientales del conjunto de las aportaciones a los grandes manantiales de la cuenca, asegurando además que los requerimientos ambientales en la componente de descargas subterráneas no fueran inferiores a las descargas que fueron consideradas en las del plan hidrológico del segundo ciclo de planificación correspondiente al periodo 2015-2021. No obstante, estas aproximaciones no garantizan *per se* que se cubran las necesidades hídricas de los humedales, ya que estas no han sido definidas por la CHG (Sánchez-Navarro, 2021).

Finalmente, según los informes de seguimiento del Plan Hidrológico del Guadalquivir 2015-21, durante el año hidrológico 2018/2019, los caudales medios diarios registrados en el Guadiamar han sido inferiores a los mínimos en la normativa 279 días, lo que supone un 76 % de grado de incumplimiento de los caudales mínimos recogidos en la Normativa del PHG 2015-2021 (Sánchez Navarro, 2021).

LA EVOLUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES

En cuanto a las precipitaciones, una comparativa entre los valores promedio en Doñana indica una reducción ligera de un 10 % de 675 mm/año (1994-2004) y 552 mm/año (2005-2015) (Rodríguez-Rodríguez et al., 2021); si bien la precipitación en el decenio 1994-2004 es superior a la media (Olías Álvarez, comm. pers. 2023).

Según la planificación hidrológica (CHG, 2021b), en el escenario *Representative Concentration Pathway/RCP 4.5* (escenario de estabilización de emisión de RCPs) el promedio de los descensos de las precipitaciones entre 1980-2018 y 2039 será del 4,0 % y oscilando entre 3,0 y 4,6 %. En el RCP 8.5 (escenario de aumento de emisión de RCPs), el descenso es casi el triple, el 11,3 % y oscilando entre 10,6 y 13,0 %. Coinciden con los datos del proyecto EUROCORDEX (Rodríguez y Gutiérrez, 2018; Montes-Vega et al., 2023) para los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), donde en el área de Doñana la precipitación media disminuirá en un 14 % durante el periodo 2030-2059 con respecto al periodo histórico.

LA EVOLUCIÓN DE LAS TEMPERATURAS

En el pasado, la evolución interanual de la temperatura y la velocidad del viento ya muestran tendencias positivas de 0,11°C y 0,05 m/s por década (1994-2014), respectivamente (Casana-Barrera y Olivares, 2020).

Los modelos climáticos predicen un incremento de las temperaturas. Para los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5 del IPCC, en el área de Doñana la temperatura aumentará entre 1 y 1,5 °C durante el periodo 2030-2059 con respecto al periodo histórico. La temperatura mínima media aumentará entre un 11 y un 15 % y la temperatura máxima media entre un 5 y un 6 % (Rodríguez y Gutiérrez, 2018). Para el periodo 2071-2100 se prevé un incremento de las temperaturas medias en el área de Doñana entre 1,2°C y 7,4 °C (Kohfahl et al., 2019; Guardiola-Albert y Jackson, 2011).

LA EVOLUCIÓN DE LOS CAUDALES DE AGUA

La evolución de la inundación de la marisma entre 1974 y 2014 ha sido estudiada por la Estación Biológica de Doñana (EBD) del CSIC mediante técnicas de teledetección (Díaz-Delgado et al., 2016) y ha puesto de manifiesto que la superficie media inundada del conjunto de la Marisma permanece estable al menos desde los años setenta, sin tendencias significativas (CHG, 2021b).

También es destacable el seguimiento realizado sobre la evolución de los caudales en el arroyo de la Rocina. Los datos de la estación de aforos 5150 "Arroyo de La Rocina", aunque fragmentarios e incompletos, permiten comparar datos pluviométricamente similares anteriores y posteriores al año 2004, y se observa una disminución de los caudales circulantes de más del 60 % (de 775 l/s a 292 l/s). Los efectos de estos cambios se han reflejado en alteraciones de la ribera con declive de especies higrófilas (Rodríguez-González et al., 2017). Sin embargo, la zona noroccidental de la Marisma, en la que desemboca el arroyo de La Rocina es la que ha experimentado un incremento en el hidropereodo, por la creación de un delta en su entrada a la marisma debido a la alta erosión de origen antrópico que se produce en su cuenca (Olías Álvarez, comm. pers. 2023).

Según Juárez y otros (2012), "... el área está afectada por el incremento de las extracciones de agua subterránea profunda, lo que ha ido provocando una disminución del agua presente en los arroyos y caños de algunas zonas, procedentes del drenaje del acuífero freático, con lo que han decrecido los aportes al arroyo de la Rocina y a la Marisma. En áreas próximas a la zona regable, los caudales de los arroyos se han visto sustituidos temporalmente por el agua de drenaje de los excedentes de riego...". "... Allí donde el descenso es mayor (riego con agua subterránea de los arrozales del área de los Hatos y en los campos agrícolas de los alrededores de El Rocío) los arroyos permanecen secos y parte de la población de alcornoques se ha quedado sin alimentación freática y ha ido muriendo progresivamente..." (Custodio y otros, 2008).

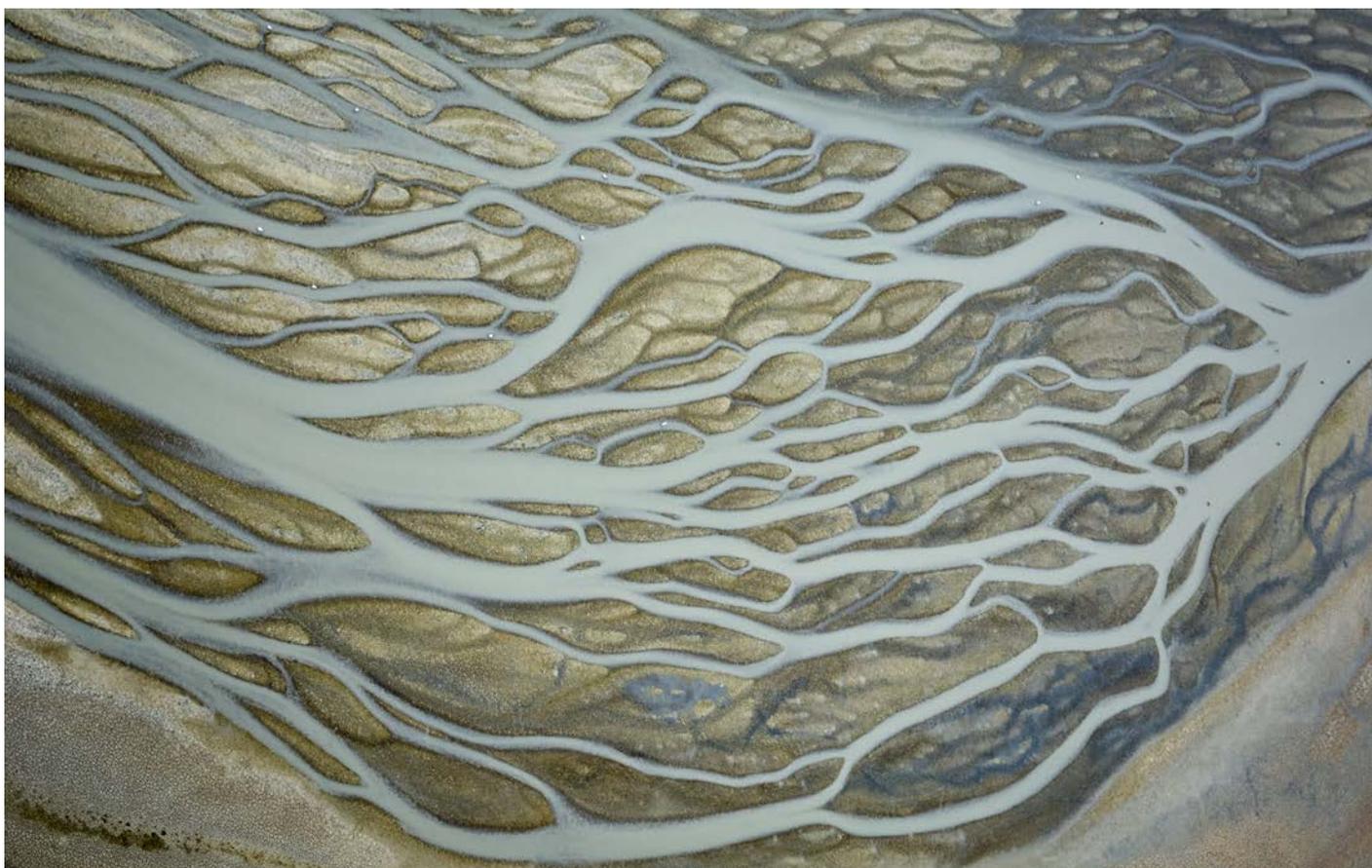


Imagen aérea de la marisma de Doñana. © Héctor Garrido / CSIC-EBD)

LOS EFECTOS SOBRE LOS ECOSISTEMAS Y ESPECIES

La región mediterránea se está calentando más rápidamente que el resto del planeta, y la precipitación se va reduciendo conforme la temperatura va aumentando (Cramer et al., 2018). La mayor temperatura y menor precipitación causarán una pérdida de superficie de >15 % en todos los sitios Ramsar de Andalucía (Xi et al., 2021).

Por ejemplo, las comunidades de aves acuáticas —de tan destacado valor en Doñana— están cambiando en respuesta al calentamiento global, y las especies se están redistribuyendo según su nicho térmico. La transformación de humedales naturales está acelerando la pérdida de especies de nicho térmico limitado (Gaget et al., 2020). Especies termófilas pueden experimentar incrementos de evapotranspiración que se aproximen a sus límites de tolerancia a la deshidratación, por lo que un incremento de las temperaturas podría inducir cambios en los patrones de uso de microhábitats o incluso en la distribución de estas especies (O'Connor et al., 2018). Estos cambios podrían tener un impacto sobre las interacciones depredador-presa y ocasionar así efectos cascada en otras especies de la comunidad (Camacho et al., 2017; Coccia et al., 2024), o afectar a los individuos de las poblaciones locales. En el caso del milano real (*Milvus milvus*) en Doñana, los individuos nacidos durante una sequía estaban en desventaja durante toda su vida, provocando un descenso del 40 % en el tamaño previsto de la población y un acortamiento del 21 % del tiempo hasta la extinción. Estos resultados implican que el cambio climático puede erosionar las poblaciones más rápida y gravemente de lo que se aprecia actualmente (Sergio et al., 2022).

En el chotacabras cuellirrojo (*Caprimulgus ruficollis*), una especie de ave insectívora y localmente abundante en el Espacio Natural de Doñana, se han documentado diferencias en el comportamiento espacial entre años relativamente lluviosos (~700 mm) y secos (~300 mm). El tamaño de las áreas de campeo puede incrementarse en más de un 50 % en años secos (Camacho et al., 2014) debido a desplazamientos a zonas de alimentación

relativamente alejadas (>10 km) de los nidos (C. Camacho y P. Sáez-Gómez, datos no publicados de marcaje GPS en 2016-2020, comm. pers.). Como resultado, la abundancia de chotacabras en los sitios de alimentación más próximos a las zonas de nidificación puede reducirse en torno a un 40 % en años secos (Camacho et al., 2017). En conjunto, estos dos indicadores de cambios comportamentales sugieren una necesidad mayor de explorar zonas algo más alejadas de los puntos de nidificación para encontrar alimento en años menos lluviosos, con consecuencias potencialmente negativas para la reproducción de ésta y posiblemente de otras especies nidificantes en el Espacio Natural de Doñana (Sáez-Gómez et al., 2018).

Las temperaturas invernales mínimas en Doñana se han incrementado desde los años 1950, lo que da una ventaja competitiva a las plantas flotantes. Junto con un aumento de fósforo (P) han facilitado la expansión del invasor helecho del agua (*Azolla filiculoides*) desde 2001 (Espinosa et al. 2015), que causa además el deterioro de las cadenas tróficas (Pinero et al., 2021).

Los cambios en temperatura pueden afectar las poblaciones de algunas especies de mosquitos, como *Ochlerotatus caspius*, una especie altamente antropófila. Para otras especies no se esperan cambios significativos en sus poblaciones debido a los efectos contrapuestos de una mayor temperatura, pero una menor pluviosidad (Roiz et al., 2014). Los estudios realizados con caballos en la Reserva Biológica de Doñana y la Reserva Biológica del Guadiamar desde el 2005 indican que el aumento de las temperaturas mínimas invernales puede llevar aparejado un aumento en la incidencia del virus del Nilo Occidental, enfermedad zoonótica transmitida por mosquitos (Magallanes et al., en evaluación).

A pesar de existir metodologías aprobadas oficialmente a nivel estatal para la evaluación del estado de conservación de los Hábitats de Interés Comunitario (HIC), y en particular de los ecosistemas de humedal (Camacho et al., 2019; MITECO 2019), el estado de la mayoría de estos HICs no ha sido evaluado hasta ahora en Doñana. Como los ecosistemas dependientes del agua y en particular los incluidos en la Red Natura 2000 se encuentran, aunque no hayan sido declarados como masas de agua, entre las zonas protegidas declaradas en virtud de la aplicación de la DMA, dicho desconocimiento, junto con la carencia de la determinación de sus necesidades hídricas necesarias para alcanzar su buen estado de conservación, dificultan la inclusión de las necesidades hídricas de estos humedales en la planificación hidrológica.

LAS ACCIONES PREVISTAS

El Plan Hidrológico del Guadalquivir para el periodo 2022-2027 (CHG, 2022) incluye las siguientes 14 medidas para mejorar la situación de caudales y necesidades hídricas de ríos, arroyos y la marisma de Doñana:-

- Medida de incremento de recursos superficiales para atender las demandas de agua de *"Infraestructuras en alta para la transferencia de recursos desde la Demarcación Hidrográfica Tinto, Odiel y Piedras a la DH del Guadalquivir (corona de Doñana) conforme a la ley del trasvase de 20 hm³"* (Código ES050_3_Guadalquivir5496), con 15 millones de euros de presupuesto.
- Medida de incremento de recursos superficiales para atender sustituir bombeos en la zona de los Hatos a través del *"Recrecimiento del embalse del Agrío"* (Código ES050_12_Guadalquivir0299) con 30 millones de euros de presupuesto.
- Medida de *"Determinación de las necesidades hídricas de las masas de agua tipo lago"* (Código ES050_3_Guadalquivir5547) con 400.000 euros de presupuesto.
- Medida de *"Revisión de las actuaciones pendientes del proyecto DOÑANA 2005 y actuaciones derivadas"* (Código ES050_3_Guadalquivir5549) con más de 15 millones de presupuesto.
- Medida de *"Estudio del cambio climático en el estuario"* (Código ES050_3_Guadalquivir5567) y 100.000 euros de presupuesto.
- Medida de *"Mejora de la permeabilidad longitudinal en la zona de Bajo Guadalquivir"* (código ES050_1_Guadalquivir0321) con 3,5 millones de euros de presupuesto.

- Medida para la *"Rehabilitación colector principal de la aglomeración urbana de Sevilla en el entorno de Doñana"* (Código ES050_3_Guadalquivir5451) con presupuesto de 95 Millones de euros.
- Medida de *"Saneamiento y Depuración del entorno de Doñana (Condado de Huelva II)"* (código ES050_3_Guadalquivir5449) con 1,1 millones de euros de presupuesto.
- Medida de *"Red de saneamiento del entorno de Doñana (varios municipios del Aljarafe)"* (Código ES050_1_Guadalquivir0277) con 1,1 millones de euros de presupuesto.
- Medida para *"Mejora de la gobernanza en el entorno de Doñana"* (ES050_3_Guadalquivir5469) con 2,8 millones de euros de presupuesto.
- Medida para *"Mejora del conocimiento de las masas de agua tipo lago de Doñana"* (Código ES050_2_Guadalquivir0827) con 379.000 euros de presupuesto.
- Medida para el *"Estudio de la caracterización y mejora de la definición de umbrales para las masas de agua superficial que vierte al Espacio Natural de Doñana (Arroyo Madre de las Marismas, Arroyo de la Rocina, Caño del Guadiamar)"* (Código ES050_2_Guadalquivir0774) con 70.000 euros de presupuesto.
- Medida para el *"Desarrollo de un modelo ecológico e hidrológico de la zona de Doñana"* (Código ES050_3_Guadalquivir5499) con 2 millones de euros de presupuesto.
- Medida para el *"Control del estado de las marismas del Guadalquivir (Espacio natural Doñana)"* (Código ES050_3_Guadalquivir5507) con 500.000 euros de presupuesto.

No hay referencia a acciones específicas en el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Nacional, que sólo incluye objetivos y criterios de uso y gestión generales. Con relación al Marco de Actuaciones para Doñana (MITECO, 2022), además de incorporar la mayor parte de las medidas contenidas en el Plan Hidrológico del Guadalquivir, se incluyen las siguientes acciones:

- 1.1. Cierre de pozos ilegales y mejora de la gobernanza, con control estricto de los bombeos, incluyendo seguimiento mediante teledetección y telecontrol de contadores e incremento de labores de guardería (3,8 millones de euros).
- 1.2. Constitución de comunidades de usuarios de aguas subterráneas en acuíferos en riesgo de no alcanzar un buen estado cuantitativo o químico. Redacción de un programa de actuación. (4 millones de euros).
- 2.1. Adquisición de terrenos con derechos para la recuperación de las masas de agua en la zona de Doñana (100 millones de euros).
- 2.4. Reducción del impacto ocasionado por las extracciones de agua para el abastecimiento a Matalascañas. Primera fase. (1,2 millones de euros).
- 2.5. Reducción del impacto ocasionado por las extracciones de agua para el abastecimiento a Matalascañas. Segunda fase. Transferencia a Matalascañas desde la ETAP del Tinto en la DH Tinto, Odiel y Piedras (10 millones de euros).
- 3.1. Recuperación de la dinámica fluvial natural de las marismas (16 millones de euros).
- 3.2. Restauración hidrológico-forestal de la finca Los Mimbrales (0,3 millones de euros).
- 3.3.1. Mejoras de la vegetación y restauración geomorfológica del Arroyo del Partido. Proyecto de actuaciones de restauración hidrogeomorfológica y naturalización del tramo final del arroyo de El Partido para favorecer la recarga natural del acuífero Almonte-Marismas. (1,6 millones de euros).
- 3.3.2. Mejoras de la vegetación y restauración geomorfológica del Arroyo del Partido. Repoblación y mejoras de la vegetación en los montes Pinar Pinto, Moralejo y Las Monjas, en el espacio natural Doñana para prevención de inundaciones del arroyo del Partido (2,9 millones de euros).

VALORACIÓN Y PROPUESTAS

La revisión del PHG para el ciclo 2022-2027 se ha aprobado en enero de 2023, con lo que las medidas mencionadas no se han iniciado en su gran mayoría. Así mismo, el Marco de Actuaciones para Doñana fue presentado a finales de noviembre de 2022, con lo que las actuaciones que éste prevé se desarrollarán previsiblemente en paralelo a las del Plan Hidrológico. Es de esperar que a medida que avance el ciclo de planificación se vayan completando una buena parte de estas actuaciones.

El detalle aportado por el Programa de Medidas es escaso y no permite conocer exactamente en qué van a consistir cada una de las medidas, ni tampoco el cronograma de desarrollo previsto por las distintas autoridades con competencias. Por ello, la confianza en el desarrollo de estas acciones es baja, más aún, considerando los retrasos experimentados en los dos ciclos anteriores de planificación (por ejemplo, en lo relativo al cumplimiento de las obligaciones de saneamiento y depuración en el entorno de Doñana). Las administraciones competentes deberían:

- Asegurar el control y la medición del agua que se usa realmente para atender las demandas de regadío. A pesar de existir una normativa desde 2009¹, se desconocen las extracciones reales, lo que impide hacer cálculos adecuados de los índices de explotación, del estado del acuífero y la calibración del modelo hidrogeológico del mismo.
- Fomentar la restauración de zonas deterioradas de la marisma. La restauración de la finca Caracoles debido a la actuación número 6 del proyecto Doñana 2005 ha sido un éxito en lo que respecta a la recuperación de la vegetación terrestre (Velez-Martin et al., 2020), los invertebrados acuáticos (Coccia et al., 2020) y las aves acuáticas (Almeida et al., 2020). En gran medida esto se debe a que se ha excluido el ganado bovino de la finca. En charcas temporales, el ganado favorece la dominancia de larvas de mosquitos y de cianobacterias (McBurnie et al., 2015).
- Establecer de manera coordinada con las autoridades responsables de la gestión y conservación de los espacios naturales protegidos (incluidos Red Natura 2000) las necesidades hídricas de los hábitats (p.ej. MEDWET, 2020) y especies dependientes del agua (lagunas, arroyos, bosques de ribera, etc.) para integrarlas en las restricciones del régimen de necesidades hídricas, caudales ecológicos y de extracciones de aguas subterráneas que tiene que establecer la CHG.
- Revisar las necesidades hídricas de los humedales y los caudales ecológicos mínimos actuales para todas las masas de agua superficial que alimentan Doñana, con el fin de incorporar todas las componentes de un régimen de aportes adecuado para contribuir a la mejora del estado de las masas de agua y las zonas protegidas (en las aguas corrientes: caudales mínimos, caudales máximos, tasas de cambio, caudales generadores y caudales sólidos).
- Restaurar y recuperar el espacio fluvial (incluidos los hábitats de ribera) asociados a todos los ríos y arroyos que alimentan la marisma de Doñana.
- Recuperar el régimen hidrológico y el espacio de conexión de la cuenca del Guadiamar (norte de la marisma-Caño del Guadiamar) y el estuario del Guadalquivir a través del Brazo de la Torre (nordeste de la marisma). Esto significa recuperar la conexión y dinámica hidrológica del acuífero de Almonte-Marismas con los cauces superficiales (principalmente del río Guadiamar y Guadalquivir) en la zona de descarga en la marisma.

¹ Orden ARM/1312/2009, de 20 de mayo, por la que se regulan los sistemas para realizar el control efectivo de los volúmenes de agua utilizados por los aprovechamientos de agua del dominio público hidráulico, de los retornos al citado dominio público hidráulico y de los vertidos al mismo. <https://www.boe.es/eli/es/o/2009/05/20/arm1312>

REFERENCIAS

- Almeida B.A., Sebastián-González E., dos Anjos L. y Green A.J. (2020): Comparing the diversity and composition of waterbird functional traits between natural, restored, and artificial wetlands. *Freshwater Biology*. <https://doi.org/10.1111/fwb.13618>
- Camacho A, Morant D, Ferriol C, Santamans A C, Doña C, Camacho-Santamans A y Picazo A. (2019): Descripción de métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' por los tipos de hábitat leníticos de interior (lagos, lagunas y humedales). Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 140 pp. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/leniticos_1_metodossuperficieocupada_tcm30-506078.pdf
- Camacho, A. ; Borja C, Valero-Garcés B, Sahuquillo M, Cirujano S, Soria J M, Rico E, de la Hera A, Santamans A C, García de Domingo A, Chicote A y Gosálvez R U. (2009):. 31. Aguas continentales retenidas. Ecosistemas leníticos de interior. 412 pp. En: VVAA. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-prottegidos/31_tcm30-196763.pdf
- Camacho, C., Palacios, S., Sáez, P., Sánchez, S., y Potti, J. (2014): Human-induced changes in landscape configuration influence individual movement routines: lessons from a versatile, highly mobile species. *PLoS One*, 9(8), e104974.
- Camacho, C., Sáez-Gómez, P., Potti, J., y Fedriani, J. M. (2017): Nightjars, rabbits, and foxes interact on unpaved roads: Spatial use of a secondary prey in a shared-predator system. *Ecosphere*, 8(1), e01611.
- Casana Barrera, S. y Olivares, B. O. (2020): *Evolution and trend of surface temperature and wind speed (1994-2014) at the Doñana National Park, Spain*. 37, 20-32.
- CHG (2020): BOE-B-2020-26925. Anuncio de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir por el que se declaran las masas de agua subterránea ES050MSBT00055105 "La Rocina", ES050MSBT00055101 "Almonte" y ES050MSBT00055102 "Marismas" como en riesgo de no alcanzar el buen estado cuantitativo y la masa de agua subterránea ES050MSBT00055105 "La Rocina" como en riesgo de no alcanzar el buen estado químico. Agosto 2020. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-B-2020-26925
- CHG (2020b): Plan Hidrológico del Guadalquivir 2022-2027. Esquema de Temas Importantes. Ficha 10. https://www.chguadalquivir.es/documents/10182/2026165/Ficha+10_Do%C3%B1ana.pdf/42bcfaa6-4f4b-dfb1-1fd2-51323560edd4
- CHG (2021b): Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir y Plan de Gestión del Riesgo de Inundación tercer ciclo: 2022-2027. Evaluación Ambiental Estratégica de las medidas previstas en el Plan sobre el espacio Patrimonio de la Humanidad "Parque Nacional de Doñana". Borrador.
- Coccia C., Almeida B.A., Green A.J., Gutiérrez A.B. y Carbonell J.A. (2021): Functional diversity of macroinvertebrates as a tool to evaluate wetland restoration. *Journal of Applied Ecology* 58, 2999-3011. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1365-2664.14038>
- Coccia, C.; Almeida, B. A.; Badosa, A.; Diniz, L. P.; Brendonck, L.; Frisch, D.; Green, A. J. (2024). Hydroperiod length, not age, determines zooplankton taxonomic and functional diversity in temporary ponds. *Ecological Indicators* 159: 111632 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111632>
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2022). Separata Evaluación Ambiental Estratégica de las medidas previstas en el Plan sobre el espacio Patrimonio de la Humanidad "Parque Nacional de Doñana". Abril 2022. Información en: <https://www.chguadalquivir.es/documents/10182/2230414/separata+EAE+Do%C3%B1ana.pdf/acf94f66-4977-496b-2906-7dcb76120b7c>
- Cramer W., Guiot J., Fader M., Garrabou J., Gattuso J.P., Iglesias A., et al. (2018): Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change* 8, 972-980. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
- Custodio, E.; Manzano, M. y Montes, C. (2008): Perspectiva general del papel y gestión de las aguas subterráneas en el Área de Doñana, Sudoeste de España. *Boletín Geológico y Minero*, 119(1):81-92
- Díaz-Delgado, R.; Aragonés, D.; Afán, I. y Bustamante, J. (2016): Long-term monitoring of the flooding regime and hydroperiod of Doñana marshes with Landsat time series (1974-2014). En prensa. *Remote Sensing*, 8(9):775.
- Espinar, J.L.; Díaz-Delgado, R.; Bravo Utrera, M.A. y Vilà, M. (2015). Linking Azolla filiculoides invasion to increased winter temperatures in the Doñana marshland (SW Spain). *Aquatic Invasions*, 10(1):17-24.
- Gaget E., Galewski T., Jiguet F., Guelmami A., Perennou C., Beltrame C., et al. (2020): Antagonistic effect of natural habitat conversion on community adjustment to climate warming in nonbreeding waterbirds. *Conservation Biology* n/a. <https://doi.org/10.1111/cobi.13453>
- Guardiola Albert, C. y Jackson, C.R. (2011): Potential Impacts of Climate Change on Groundwater Supplies to the Doñana Wetland, Spain. *Wetlands*, 31:907-920.
- Juárez, I.; Custodio, E.; Manzano, M. y Higuera, H. (2012): Relación aguas superficiales-aguas subterráneas y recarga del acuífero de los sotos, Doñana, España. Siaga 2012, Cádiz
- Kohfahl, C., Molano-Leno, L., Martínez, G., Vanderlinden, K., Guardiola-Albert, C., y Moreno, L. (2019): Determining groundwater recharge and vapor flow in dune sediments using a weighable precision meteorological lysimeter. *Science of the Total Environment*, 656, 550-557. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.415>
- McBurnie, G., J. Davis, R. M. Thompson, C. Nano, and J. Brim-Box. (2015): The impacts of an invasive herbivore on arid zone freshwater pools: An experimental investigation of the effects of dung on macroinvertebrate colonisation. *Journal of Arid Environments* 113:69-76.
- MEDWET (2020): Environmental water requirements of wetlands and their importance for river basin management in the Mediterranean, including the effects of climate change on natural water flow. En: Barchiesi, S, A. Camacho, E. Hernández, F. Magdaleno, R. Sánchez, M.J. Viñals, E. Mino. Briefing note of the Specialist Group on Water (Water-SG) of the Scientific and Technical Network of MedWet (MedWet/STN). The Mediterranean Wetlands Initiative. www.medwet.org

MITECO (2019): Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/Seguimiento_habitats_metodologia.aspx

MITECO (2022): Marco de Actuaciones para Doñana. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid. https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/marco-actuaciones-donana/marcodeactuaciondonana_1_diciembre_tcm30-548381.pdf

Montes-Vega, M. J.; Guardiola-Albert, C.; Rodríguez-Rodríguez, M. (2023): Calculation of the SPI, SPEI, and GRDI Indices for Historical Climatic Data from Doñana National Park: Forecasting Climatic Series (2030–2059) Using Two Climatic Scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5 by IPCC. *Water* 2023, 15, 2369. <https://doi.org/10.3390/w15132369>

O'Connor, R. S., Brigham, R. M., y McKechnie, A. E. (2018): Extreme operative temperatures in exposed microsites used by roosting Rufous-cheeked Nightjars (*Caprimulgus rufigena*): implications for water balance under current and future climate conditions. *Canadian Journal of Zoology*, 96(10), 1122-1129.

Olías, M. et al. (2021): Surface and Groundwater Quality Evolution in the Agrio and Guadiamar Rivers After the Aznalcóllar Mine Spill (SW Spain): Lessons Learned. *Mine Water and the Environment* 40: 235-249

Pinero-Rodríguez, M.J., Fernández-Zamudio, R., Arribas, R., Gómez-Mestre, I., Díaz Paniagua, C. (2021): The invasive aquatic fern *Azolla filiculoides* negatively impacts water quality, aquatic vegetation and amphibian larvae in Mediterranean environments. *Biol Invasions* 23, 755-769 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02402-6>

Rodríguez, E., y Gutiérrez, J. (2018): Escenarios-PNACC 2017: Nueva colección de escenarios de cambio climático regionalizados del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). AEMET, CSIC-UC.

Rodriguez-Gonzalez P.M., Albuquerque A., Martinez-Almarza M. y Diaz-Delgado R. (2017). Long-term monitoring for conservation management: Lessons from a case study integrating remote sensing and field approaches in floodplain forests. *Journal of Environmental Management* 202, 392-402

Rodríguez-Rodríguez, M., Aguilera, H., Guardiola-Albert, C., y Fernández-Ayuso, A. (2021): Climate Influence Vs. Local Drivers in Surface Water-Groundwater Interactions in Eight Ponds of Doñana National Park (Southern Spain). *Wetlands*, 41(2). <https://doi.org/10.1007/s13157-021-01425-6>

Roiz, D., Ruiz, S., Soriguer, R. et al. (2014): Climatic effects on mosquito abundance in Mediterranean wetlands. *Parasites Vectors* 7, 333 (2014). <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-333>

Sáez-Gómez, P., Palacios, S., y Camacho, C. (2018): Landscape change promotes the emergence of a rare predator-prey interaction. *Food Webs*, 15, e00078.

Sánchez Navarro, R. (2021): Revisión de la propuesta de caudales ecológicos en el ámbito del Parque Nacional de Doñana. WWF España (2021) Inédito.

Sergio, F., Tavecchia, G., Blas, J. et al. (2022): Hardship at birth alters the impact of climate change on a long-lived predator. *Nat Commun* 13, 5517 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33011-7>

Treviño, J.; Rodríguez-Rodríguez, M.; Montes-Vega, M. J.; Aguilera, H.; Fernández-Ayuso, A.; Fernández-Naranjo, N. Wavelet (2023): Analysis on Groundwater, Surface-Water Levels and Water Temperature in Doñana National Park (Coastal Aquifer in Southwestern Spain). *Water* 2023, 15, 796. <https://doi.org/10.3390/w15040796>

Vélez-Martín A., Davy A.J., Luque C.J. y Castellanos E.M. (2020): Disentangling elevation, annual flooding regime and salinity as hydrochemical determinants of halophyte distribution in non-tidal saltmarsh. *Annals of Botany*. <https://doi.org/10.1093/aob/mcaa078>

Xi Y., Peng S., Ciais P. y Chen Y. (2021): Future impacts of climate change on inland Ramsar wetlands. *Nature Climate Change* 11, 45-51. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00942-2>

LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN DOÑANA

EL PROBLEMA

En Doñana hay dos causas principales de contaminación del agua superficial y subterránea: por un lado, los **vertidos urbano-industriales**, y por otro, los **fertilizantes y otros contaminantes usados en la agricultura (intensiva e industrial)**.

Ambos problemas deberían haberse resuelto hace décadas, ya que **se construyeron depuradoras** para los vertidos desde el año 2002 (Serrano et al., 2006), y la declaración de la zona vulnerable a nitratos (NVZ) data del año 2008². Pero ni las depuradoras se han mantenido y actualizado adecuadamente, ni se han ejecutado programas ambiciosos contra la contaminación difusa agraria, a pesar de estar estas actuaciones programadas con un presupuesto de aproximadamente 1000 millones de euros desde 2010 para toda la cuenca (CHG, 2010 y 2015).

El nuevo Plan Hidrológico del Guadalquivir (2022-2027) vuelve a programar medidas para afrontar los problemas de contaminación, pero ante la **falta de ejecución del plan anterior** caben serias dudas sobre su eficiencia. Aún más, según los datos científicos existentes, el nivel de contaminación se ha agravado en los últimos años, y en algunas zonas afecta significativamente a ecosistemas y especies.

LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SEGÚN LOS PLANES OFICIALES

Según el Plan Hidrológico del Guadalquivir 2022-2027 (*Anejo 7 Valoración del estado de las masas de agua*) hay 12 masas de agua³ de Doñana con estado químico bueno y 14 con estado "malo"⁴. Por su parte, la CHG considera que de la división administrativa actual en 5 masas de agua subterránea del acuífero Almonte-Marismas, 4 tienen buen estado químico (ES50MSBT000055104, ES50MSBT000055103, ES50MSBT000055102, ES50MSBT000055105) y 1 (ES50MSBT000055101) está en mal estado; mientras que la masa de agua subterránea "Condado" correspondiente a la Demarcación del Tinto, Odiel y Piedras está en mal estado químico.

El Plan de Ordenación de los recursos Naturales (PORN, 2016) destaca que la inclusión de una gran extensión de las marismas y humedales presentes en la zona sensible a la contaminación por aguas residuales urbanas denominada Parque Nacional de Doñana y su entorno, representa un aspecto fundamental de cara al

² Decreto 36/2008, de 5 de febrero, por el que se designan zonas vulnerables. Última modificación: Orden de 23 de noviembre de 2020, por la que se aprueba la modificación de las zonas vulnerables definidas en el Decreto 36/2008, de 5 de febrero, por el que se designan las zonas vulnerables y se establecen medidas contra la contaminación por nitratos.

³ ES050MSPF012000004***, ES050MSPF012000028***, ES050MSPF012100003***, ES050MSPF012000027***, ES050MSPF012000025***, ES050MSPF011002041, ES050MSPF011002042, ES050MSPF011002001, ES050MSPF011002040, ES050MSPF013213005*, ES050MSPF013213013*, ES050MSPF014116001**

⁴ ES050MSPF011002004, ES050MSPF013213014*, ES050MSPF011002039, ES050MSPF013213014*, ES050MSPF012100004*, ES050MSPF013213004*, ES050MSPF013213007*, ES050MSPF013213008*, ES050MSPF013213009*, ES050MSPF013213010*, ES050MSPF013213011*, ES050MSPF013213015*, ES050MSPF014114002**, ES050MSPF014116000**

establecimiento de medidas de prevención de la contaminación por vertido de aguas residuales. Asimismo, el Espacio Natural de Doñana se encuentra afectado por la zona vulnerable de contaminación por nitratos del Valle del Guadalquivir (Contreras et al., 2023). La cuenca del río Guadalquivir se caracteriza por un elevado potencial de contaminación difusa, especialmente en todo el valle central del río, donde se concentran usos de suelo dedicados a agricultura intensiva, seguido de las cuencas vertientes a la margen izquierda. Muestra de esa contaminación difusa es la elevada concentración de nitratos medida en estas zonas de mayor vulnerabilidad, que por lo general tiende a ser mayor en años húmedos.

Además, explica que puntualmente pueden darse también problemas relacionados con episodios de contaminación local o con la calidad de las aguas de algunos cursos fluviales tributarios, especialmente durante el periodo de estiaje. Los procesos de eutrofización y proliferación de cianobacterias asociados al aporte de nutrientes pueden llegar a derivar en mortandades de fauna que incrementan significativamente el riesgo de epizootias. Este problema afecta principalmente a las comunidades de anátidas, pero es especialmente crítico para aquellas con efectivos poblacionales menores o que presentan requerimientos de hábitat muy específicos, tales como la focha moruna (*Fulica cristata*), el porrón pardo (*Aythya nyroca*) o la cerceta pardilla (*Marmaronetta angustirostris*). Estas tres especies están incluidas dentro del anexo I de la Directiva de Aves.

LA CONTAMINACIÓN CON NUTRIENTES DE ARROYOS Y DE LA MARISMA

La eutrofización de los afluentes y de la marisma de Doñana cercana a las entradas de ríos y arroyos se ha acelerado en las últimas décadas, y muchas veces alcanza niveles incompatibles con la conservación de la biodiversidad. Adicionalmente, los efectos del cambio climático tienen una gran sinergia con la eutrofización de las aguas, lo que reduce significativamente el margen para un “sistema de operaciones seguras” para la conservación de la biodiversidad en Doñana y su cuenca afluente (Green et al., 2017).

La concentración de nutrientes es significativamente más alta en los arroyos que en la marisma, en particular en los arroyos del Partido y de la Rocina que frecuentemente alcanzan valores correspondientes al mal estado químico. El arroyo del Partido es el afluente más contaminado por nutrientes, particularmente por amonio (NH_4) y nitritos (NO_2). Hay amplios tramos fluviales de la Rocina y el Partido donde se alcanzan niveles de algunos parámetros que se consideran tóxicos para peces (Paredes et al., 2021).

Las concentraciones muy altas de nitrógeno (N) en el arroyo del Partido se deben probablemente a las descargas continuas de las depuradoras de aguas residuales urbanas del Condado de Huelva, Bollulos, Chucena-Escacena-Paterna-Manzanilla, Isla Mayor y Planta Carrión y su incumplimiento con la normativa europea, que además provocan la presencia de una alta diversidad genética de la bacteria *Escherichia coli* en el área noroeste de las marismas de Doñana (Cabal et al., 2017) y que pueden ser causantes de mortandades de aves acuáticas. Las concentraciones de amonio ($> 1 \text{ mg NH}_4^+/\text{L}$) en el arroyo del Partido frecuentemente superan los umbrales establecidos para el buen estado físico-químico y ecológico (Paredes et al., 2019).

En las demás cuencas afluentes, que cuentan con una menor protección ambiental, la contaminación por nutrientes se debe fundamentalmente al incremento de la agricultura intensiva bajo plástico, y que se manifiesta a través de nitrógeno (N) inorgánico, procedente de fertilizantes (Paredes et al., 2019; Paredes et al., 2020).



Invernaderos y cultivos bajo plástico que afectan al flujo de la escorrentía superficial. © Jorge Sierra / WWF España

Además, el abandono del 42 % de la superficie de viñedo tradicional en la cuenca del arroyo del Partido y su transformación a otros cultivos está causando una mayor erosión y consecuentemente deposición final en la marisma. De 1995 a 2006, la zona con índice de erosión alto se ha incrementado desde 1995 a 2006 un 36 % (de 1037 a 1410 ha) y la zona con índice de erosión muy alto un 252 % (de 370 a 931 ha). Todos los cambios de uso de suelo resultan en un aumento de la erosión y en el peor escenario, la carga de sedimentos resultante del abandono de 1.676 hectáreas de viñedo entre 1995 y 2007 puede haber alcanzado 1.173 toneladas/año, de los cuales aproximadamente un tercio (391 toneladas/año) puede también haber sido arrastrado por el arroyo hacia la marisma (Gaitán-Cremaschi et al., 2017; Borja et al., 2009).

La Castañuela (*Bolboschoenus maritimus*) retiene una parte de estos nutrientes en la marisma (Paredes et al., 2019), pero la contaminación está causando la pérdida de diversidad biológica (plantas acuáticas, invertebrados) en la marisma. También incrementa la probabilidad de efloraciones (“blooms”) de cianobacterias (ej. *Microcystis*, *Pseudanabaena*, y *Anabaena*) que pueden resultar en mortandades de peces y aves acuáticas. Este proceso se ve acelerado además con el aumento de las extracciones de aguas superficiales y subterráneas, los efectos del cambio climático previstos (es decir, reducción de las aportaciones de agua y aumento de las temperaturas, Green et al., 2017; Paredes et al., 2019) y el exceso de carga ganadera en la marisma, ya que impide el crecimiento de la vegetación.

Si bien muchas aves acuáticas tienen una alta plasticidad y son relativamente poco sensibles a la eutrofización, aquellas aves acuáticas invernantes con tendencias de población negativas en Doñana —tales como los patos herbívoros— son las que posiblemente más impactos sufran debido a la eutrofización de la marisma. (Rendón et al., 2008; Paredes et al., 2021).

LA CONTAMINACIÓN CON NUTRIENTES DEL ESTUARIO

El estuario del Guadalquivir se caracteriza por un ambiente con una alta carga de nutrientes, lo que podría facilitar su capacidad de producción de biomasa. Sin embargo, esta se ve reducida debido a la alta concentración de sedimentos suspendidos procedentes de la erosión en la cuenca del Guadalquivir y que atenúan el paso de la luz (Diez-Minguito y de Swart, 2020). Estos sedimentos posteriormente se dirigen hacia el Golfo de Cádiz desde la desembocadura del Guadalquivir, e incluso alcanzan el Mar de Alborán (Gomiz Pascual et al., 2021).

Durante el período 1981-2009, la concentración de nitratos en el estuario estuvo por encima del umbral definido en el Plan Hidrológico del Guadalquivir en un 40-50 % de los casos en el tramo bajo (La Señuela) y alto (presa de Alcalá del Río). En el caso del amonio y del fósforo total el umbral se supera con mayor frecuencia en el tramo medio (Puente del Patrocinio), debido a los aportes de aguas residuales desde los núcleos urbanos en la zona del Aljarafe (Contreras et al., 2013).

Debido al intercambio entre aguas dulces y marinas, y las temperaturas registradas, el estuario del Guadalquivir ofrece buenas condiciones para constituir un lugar de cría para diferentes especies comerciales, como la anchoa, la sardina, el langostino o la gamba, todas ellas con alta abundancia de huevos, larvas y post-larvas en primavera y verano. Esto contribuye a la abundancia de estas especies en las pesquerías del golfo de Cádiz (Llope, 2017).

En el caso concreto del estuario, si bien un incremento de las temperaturas impulsado por el cambio climático puede resultar en un incremento de la abundancia de juveniles de anchoa (*Engraulis encrasicolus*), existen evidencia de su efecto negativo sobre el tamaño del cuerpo y la fecundidad de los camarones (Mysida; de Carvalho-Souza et al., 2018).

OTROS CONTAMINANTES

Además de los nutrientes, se han detectado otros contaminantes en Doñana. Hay concentraciones importantes de antiinflamatorios, antibióticos y otros productos farmacéuticos en las aguas y sedimentos de los arroyos de la Rocina y Partido, y de los ríos Guadiamar y Guadalquivir, que muchas veces superan los límites que generan efectos tóxicos en animales y plantas (Camacho-Muñoz et al., 2010a, 2010b, 2013; Martín et al., 2011).

La presencia más elevada de agroquímicos no persistentes se presenta en cangrejos (*Procambarus clarkii*) en la zona arrocera entre los ríos Guadalquivir y Guadiamar, así como en el tramo alto del arroyo de la Rocina. La presencia moderada de estas sustancias se da en el arroyo del Partido (Vioque Fernández et al., 2009). Pueyo et al. (2011) encontraron los siguientes compuestos en el arroyo de la Rocina: PCB138, Bromacyl y Dimethoate; en el arroyo del Partido: 4,4 DDD, Dichloflumid, Folpet, Molinate; y en el tramo Matochal-Guadiamar: Malathion, Bromacyl, Dimethoate, Acrynathrin, Chlorpyrifos, Trifluraline, Penconazole y Methidathion. En cuanto al estuario, se constató para el periodo 1981-2009 un elevado porcentaje (60-80 %) de casos en los que se superaba el umbral definido para los herbicidas terbutilazina y simazina (Contreras et al., 2013).

Un estudio reciente detectó 26 plaguicidas en huevos de aves recogidos durante más de veinte años (1999-2021) en el Parque Nacional de Doñana, siendo 4,4 DDE el más frecuentemente detectado y también el que presentaba las concentraciones más elevadas. En general, se observó una tendencia a la baja de los organofosfatos. Por el contrario, a partir de 2013 se detectó un aumento aparente de los piretroides, especialmente en el caso del fenvalerato, cuya concentración mediana fue de 3 a 5 órdenes de magnitud superior en las muestras más recientes. Además, otros plaguicidas como oxadiazón, oxifluorfen y fenitrotión se detectaron por primera vez en muestras de 2021. Por último, dos variables estimando el impacto acumulativo de los plaguicidas disminuyeron significativamente el rendimiento reproductor de un depredador superior como es el águila calzada (Peris et al., 2023).

Un estudio en la laguna de Santa Olalla y su entorno (Fernández et al., 2022) muestra concentraciones más elevadas de metales pesados después de sequías prolongadas que no se asocian a efectos de concentración por la evaporación del agua sino a la movilización reductiva. Asimismo, Alcorlo y Baltanás (2013) identifican cinco metales pesados (As, Cd, Zn, Cu, Pb) en muestras de cangrejo rojo (*Procambarus clarkii*) en el Brazo del Este, en el río Guadiamar y en el Charco de la Boca (Marisma de Doñana) tomadas en 2000-2001. García Sevillano y otros (2014) detectaron la presencia relevante de varios metales pesados (Mn, Cu, Zn, y Cd) en ratones (*Mus spretus*) en las muestras tomadas en 2011 en el Matochal (arrozales cercanos al río Guadiamar) y cercano al arroyo del Partido. El arsénico natural en aguas subterráneas cerca del Palacio de Marismillas se moviliza hasta elevadas concentraciones

en los zacallones/bebederos artificiales por la actividad de fitoplancton dando lugar a un pH y alcalinidad elevadas, y pasa así a las cadenas tróficas (Kohfahl et al., 2015). En cuanto al estuario, en el periodo 1981-2009 se ha observado una disminución del número de veces en las que se superaba el umbral definido para el zinc (Contreras et al., 2013).

La deposición atmosférica de contaminantes procedentes de la zona industrial de Huelva en el entorno del Parque Nacional de Doñana ha sido demostrada por Castillo y otros (2013) con datos desde 2008 a 2011. El estudio refleja la presencia de antimonio, molibdeno, bismuto, arsénico, plomo, estaño y cadmio cerca de Matalascañas, así como la disolución de cobre, cinc, manganeso y níquel hacia elementos potencialmente tóxicos en las aguas costeras de Doñana. Fernández et al. (2022) también identificaron una influencia significativa por deposición atmosférica de los elementos Cu, Zn, Ni, Sb and Tl en el medio acuático del sistema lagunar de Santa Olalla.

La presencia del antibiótico ciprofloxacina después de la romería de El Rocío (2014) constituye un riesgo ecotoxicológico. La presencia del antibiótico flumequina y del antiepiléptico carbamazepina en individuos del cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) durante los muestreos de 2011 a 2016 indica la persistencia de la contaminación, siendo las fuentes principales de farmacéuticos en el parque las aguas residuales urbanas y las actividades ganaderas, (Camacho-Muñoz et al. 2010a, 2010b; Kazakova et al., 2021). El extensivo uso de Ivermectina en el ganado presente en Doñana ha llevado a una importante pérdida en la biodiversidad de invertebrados coprófagos y a una reducción en el servicio ecosistémico que estos prestan como descomponedores de las deyecciones del ganado (Verdu et al., 2018). Se desconoce cómo este producto puede transmitirse y afectar a otros organismos de la cadena trófica. Además se ha comprobado que cigüeñas y gaviotas en Doñana importan plásticos y bacterias resistentes a los antibióticos a Doñana desde los vertederos cercanos a este espacio protegido (López-Calderón et al., 2023; Sacristán-Soriano et al., 2024).

LAS ACCIONES

El Plan Hidrológico del Guadalquivir para el periodo 2022-2027 (*Anejo 11 Programa de Medidas*), que han sido también recogidas en el Documento Marco de Actuaciones para Doñana (MITERD, 2022) incluye las siguientes 8 medidas para resolver el problema:

- Ampliación de la EDAR de Matalascañas (29,3 millones de euros)
- Adecuación del tratamiento de la EDAR de Sevilla para el vertido a zona sensible en el entorno de Doñana (82,9 millones de euros)
- Agrupación de vertidos y nueva EDAR de Isla Mayor: por convenio (la CH Guadalquivir pondrá 6,063 millones de euros; el resto lo aporta la Junta de Andalucía; total 17,2 millones de euros)
- Agrupación de vertidos y construcción de EDAR de Gerena (7,2 millones de euros)
- Red de saneamiento del entorno de Doñana (varios municipios del Aljarafe) (1,1 millones de euros)
- Saneamiento y depuración del entorno de Doñana (Condado de Huelva II) (1,1 millones de euros)
- Adecuación de la EDAR de Lucena del Puerto (3,5 millones de euros)
- Estudio de localización de fuentes de contaminación química en la cuenca del río Guadiamar (0,1 millones de euros)

Por su parte, la CHG indica que en toda la demarcación (no se ha podido cuantificar qué parte corresponde a Doñana) prevé una inversión de 117 M euros en medidas para hacer frente a la contaminación difusa, entre las que cabe destacar la ampliación de la obligatoriedad de aplicación de programas de actuación en zonas vulnerables, a zonas fuera de estas y el estudio de las principales fuentes de contaminación y evaluación de medidas para la corrección de impactos ambientales derivados del uso de fertilizantes nitrogenados en zonas vulnerables a la contaminación por nitratos en Andalucía.

No se ha podido profundizar más en qué van a consistir estas medidas por falta de información suficiente en los documentos del Plan Hidrológico (2021-2027).

De forma general, la implantación de las medidas para afrontar las presiones ligadas a fuentes de contaminación difusa y puntual que estaban previstas en el plan anterior ha sido limitada. Con la revisión actual se pretenden completar todas las acciones incluidas en el programa de medidas antes de 2027, cuando se realice la cuarta revisión del plan hidrológico basada en una nueva evaluación del estado de las masas de agua de la demarcación del Guadalquivir.

El Plan de Ordenación de los Recursos Naturales y el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Nacional incluyen recomendaciones para promover la disminución de los riesgos de contaminación difusa, fomentar la reducción del uso de fertilizantes y fitosanitarios, así como estudios sobre la contaminación.

VALORACIÓN Y PROPUESTAS

La eutrofización de los afluentes y de la marisma de Doñana cercana a las entradas de ríos y arroyos se ha acelerado en las últimas décadas, muchas veces alcanza niveles incompatibles con la conservación de la biodiversidad. Hay concentraciones importantes de antiinflamatorios, antibióticos y otros farmacéuticos en las aguas y sedimentos de los arroyos de la Rocina y Partido y los ríos Guadiamar y Guadalquivir, que en ocasiones superan los límites para efectos tóxicos en animales y plantas.

Las administraciones competentes deberían:

- Asegurar el buen funcionamiento y mantenimiento de todas las depuradoras urbanas-industriales
- Reducir la contaminación difusa a través de ambiciosos programas para limitar el uso de fertilizantes y agroquímicos, así como promover buenas prácticas que eviten la erosión del suelo agrícola.
- Evitar el sobrepastoreo, ya que elimina la vegetación —en particular, la vegetación de ribera, que ayuda a retener la contaminación por nutrientes— y aumenta la contaminación por productos de uso veterinario. Limitar la cantidad de ganado en la marisma y reducir el uso de antibióticos y antiparasitarios, así como establecer o reforzar el seguimiento de la vegetación de ribera.
- Mejorar el monitoreo de la calidad del agua, en especial en los arroyos que entran a Doñana y en el estuario del Guadalquivir. En el caso del estuario, para captar episodios de turbidez y caracterizar los agentes forzadores, se requiere la realización de mediciones al menos a escala semanal en todos los tramos del estuario, mientras que, para captar episodios de salinidad, esta frecuencia de medida se necesita sólo en el tramo alto; en el tramo bajo donde la marea tiene mayor influencia, la frecuencia mensual es suficiente (Contreras et al., 2012). En los arroyos hay que ampliar el monitoreo de farmacéuticos y nutrientes, y combinarlo con buenas medidas de caudales, incluyendo los que salen de las EDARs en las cuencas vertientes. Es muy importante poder calcular la masa de N, P, etc. que están entrando en Doñana, no solo la concentración por litro.
- Mejorar la representatividad del muestreo de la calidad de las aguas subterráneas. Las muestras normalmente se toman en piezómetros o pozos antiguos de boca muy ancha, lo que hace que el análisis fácilmente no corresponda al valor de la contaminación en el acuífero. Hay que replantear la red de medidas de calidad del agua subterránea tomando las muestras en pozos de extracción en activo. Sin esta acción, es difícil poder tener una idea realista del estado químico del acuífero.
- Seguir las directrices de la guía para la evaluación del estado de las aguas⁵ en cuanto a su evaluación.
- El estado de las aguas que entra en la marisma por los arroyos de Rocina y de El Partido es tan malo que hay que diseñar medidas concretas para tratarlas antes de llegar al Parque Nacional. Por ejemplo, considerar la creación de balsas de tratamiento con vegetación emergente a lo largo del arroyo del Partido.

⁵ Información detallada en el siguiente enlace: https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/guia-para-evaluacion-del-estado-aguas-superficiales-y-subterранеas_tcm30-514230.pdf

REFERENCIAS

- Alcorlo, P. y Baltanás, A. (2013): The trophic ecology of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in Mediterranean aquatic ecosystems: a stable isotope study. *Limnetica* 32(1):121-138.
- Borja et al. (2009): Dinámica hidrogeomorfológica e impacto antrópico en la cuenca del arroyo del Partido (NW del parque nacional de Doñana, Huelva, España, evaluación de procesos actuales. https://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/11162/Dinamica_hidromorfologica.pdf?sequence=2
- Cabal A., Vicente J., Álvarez J., Barasona J.A., Boadella M., Domínguez L., et al. (2017): Human influence and biotic homogenization drive the distribution of *Escherichia coli* virulence genes in natural habitats. *Microbiologyopen* 6, e445
- Camacho-Muñoz D., Martín J., Santos J.L., Aparicio I. y Alonso E. (2010). Occurrence, temporal evolution and risk assessment of pharmaceutically active compounds in Doñana Park (Spain). *Journal of Hazardous Materials* 183, 602-608. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.07.067>
- Camacho-Muñoz D., Martín J., Santos J.L., Aparicio I. y Alonso E. (2013). Distribution and Risk Assessment of Pharmaceutical Compounds in River Sediments from Doñana Park (Spain). *Water Air and Soil Pollution* 224, 1665.
- Camacho-Muñoz M.D., Santos J.L., Aparicio I. y Alonso E. (2010). Presence of pharmaceutically active compounds in Doñana Park (Spain) main watersheds. *Journal of Hazardous Materials* 177, 1159-1162. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.01.030>
- Castillo, S.; De la Rosa, J.D.; Sánchez de la Campa, A.M. y otros. (2013): Heavy metal deposition fluxes affecting an Atlantic coastal area in the southwest of Spain. *Atmospheric Environment*, 77:509-517.
- CHG (2010): Anejo nº 10 - Programa de Medidas. Plan Hidrológico de la demarcación del Guadalquivir 2009-2015. https://www.chguadalquivir.es/documents/10182/41252/anejo10_RD355.zip/9fc79dd8-7a93-4878-ba9a-c63a9f81beb3
- CHG (2015): Anejo nº 12 - Programa de Medidas del Plan Hidrológico de la demarcación del Guadalquivir 2015-2021. <http://www.chguadalquivir.es/documents/10182/238324/ANEJO+N%C2%BA+12.-+PROGRAMA+DE+MEDIDAS.pdf/a978dcb3-200e-465e-88b4-cc7829cc41be>
- CHG (2020): BOE-B-2020-26925. Anuncio de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir por el que se declaran las masas de agua subterránea ES050MSBT00055105 "La Rocina", ES050MSBT00055101 "Almonte" y ES050MSBT00055102 "Marismas" como en riesgo de no alcanzar el buen estado cuantitativo y la masa de agua subterránea ES050MSBT00055105 "La Rocina" como en riesgo de no alcanzar el buen estado químico. Agosto 2020. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-B-2020-26925
- CHG (2020b): Plan Hidrológico del Guadalquivir 2022-2027. Esquema de Temas Importantes. Ficha 10. https://www.chguadalquivir.es/documents/10182/2026165/Ficha+10_Do%C3%B1ana.pdf/42bcfaa6-4f4b-dfb1-1fd2-51323560edd4
- CHG (2021b): Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir y Plan de Gestión del Riesgo de Inundación tercer ciclo: 2022-2027. Evaluación Ambiental Estratégica de las medidas previstas en el Plan sobre el espacio Patrimonio de la Humanidad "Parque Nacional de Doñana". Borrador.
- Contreras, E.; Aguilar, C.; Polo, M. J. (2023): Accounting for the annual variability when assessing non-point source pollution potential in Mediterranean regulated watersheds. *Science of The Total Environment*, 902, 167261 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167261>
- Contreras, E., Aguilar, C., Jurado, A., Polo, M.J. (2013): Calidad de agua del estuario del Guadalquivir y sus aplicaciones en la Directiva Marco de Agua. XII Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos.
- Contreras, E., Polo, M.J. (2012): Measurement frequency and sampling spatial domains required to characterize turbidity and salinity events in the Guadalquivir estuary (Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 12, pp. 2581 - 2589.
- Contreras, E.; Aguilar, C.; Polo, M. J. (2023): Accounting for the annual variability when assessing non-point source pollution potential in Mediterranean regulated watersheds. *Science of The Total Environment*, 902, 167261 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167261>
- De Carvalho-Souza, G. F., González-Ortegón, E., Baldó, F., Vilas, C., Drake, P., y Llope, M. (2018): Natural and anthropogenic effects on the early life stages of European anchovy in one of its essential fish habitats, the Guadalquivir estuary. *Marine Ecology Progress Series*, 2018, 67-79. <https://doi.org/10.3354/meps12562>
- Díez-Minguito, M., y de Swart, H. E. (2020): Relationships Between Chlorophyll-a and Suspended Sediment Concentration in a High-Nutrient Load Estuary: An Observational and Idealized Modeling Approach. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(3), no. <https://doi.org/10.1029/2019JC015188>
- Fernández-Ayuso, Ana; Kohfahl, Claus; Aguilera, Héctor; Rodríguez-Rodríguez, Miguel; Ruiz Bermudo, Fernando; Serrano-Hidalgo, Carmen y Romero Álvarez, Cecilia (2022): Control of Trace Metal Distribution and Variability in a Coastal Wetland. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4153315> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4153315>
- Gaitán-Cremaschi, D., Palomo, I., Baraibar Molina, S., de Groot, R., y Gómez-Baggethun, E. (2017): Applicability of economic instruments for protecting ecosystem services from cultural agrarian landscapes in Doñana, SW Spain. *Land Use Policy*, 61, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.11.011>
- García Sevillano, M.A.; García-Barrera, T.; Navarro, F. y otros. (2014): Use of Metallomics and Metabolomics to Assess Metal Pollution in Doñana National Park (SW Spain). *Environmental Science and Technology*, 48(14):7.747-7.755
- Gomiz-Pascual, J. J., Bolado-Penagos, M., Gonzalez, C. J., Vazquez, A., Buonocore, C., Romero-Cozar, J., Perez-Cayeiro, M. L., Izquierdo, A., Alvarez, O., Mañanes, R., y Bruno, M. (2021): The fate of Guadalquivir River discharges in the coastal strip of the Gulf of Cádiz. A study based on the linking of watershed catchment and hydrodynamic models. *Science of the Total Environment*, 795. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148740>
- Green, A.J., Alcorlo, P., Peeters, E.T.H.M., Morris, E.P., Espinar, J.L., Bravo, M.A., Bustamante, J., Díaz-Delgado, R., Koelmans, A.A., Mateo, R., Mooij, W.M., Rodríguez-Rodríguez, M., van Nes, E.H., Scheffer, M. 2017. Creating a safe operating space for wetlands in a changing climate. *Frontiers in Ecology and the Environment* 15: 99-107

- Kazakova, J., Villar-Navarro, M., Ramos-Payán, M., Aranda-Merino, N., Román-Hidalgo, C., Bello-López, M. Á., y Fernández-Torres, R. (2021): Monitoring of pharmaceuticals in aquatic biota (*Procambarus clarkii*) of the Doñana National Park (Spain). *Journal of Environmental Management*, 297. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113314>
- Kohfahl, C.; Heredia, J.; Guardiola Albert, C. y otros (2015): Creación de una red de seguimiento de la recarga de los acuíferos hídricos en el Espacio Natural de Doñana. SIAGA 2015, Málaga.
- López-Calderón, C.; Martín-Vélez, V.; Blas, J.; Höfle, U.; Sánchez, M. I.; Flack, A.; Fiedler, W.; Wikelski, M.; Green, A. J. (2023). White stork movements reveal the ecological connectivity between landfills and different habitats. *Movement Ecology* (2023) 11:18 <https://doi.org/10.1186/s40462-023-00380-7>
- Llope, M. (2017): The ecosystem approach in the Gulf of Cadiz. A perspective from the southernmost European Atlantic regional sea. In *ICES Journal of Marine Science* (Vol. 74, Issue 1, pp. 382-390). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw165>
- Martin J., Camacho-Munoz D., Santos J.L., Aparicio I. y Alonso E. (2011). Monitoring of pharmaceutically active compounds on the Guadalquivir River basin (Spain): occurrence and risk assessment. *Journal of Environmental Monitoring* 13, 2042-2049
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2022): Marco de actuaciones para Doñana.
- Paredes, I., Ramírez, F., Aragonés, D., Bravo, M. Á., Forero, M. G., y Green, A. J. (2021): Ongoing anthropogenic eutrophication of the catchment area threatens the Doñana World Heritage Site (South-west Spain). *Wetlands Ecology and Management*, 29(1), 41-65. <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09766-5>
- Paredes, I., Ramírez, F., G. Forero, M., y Green, A. J. (2019): Stable isotopes in helophytes reflect anthropogenic nitrogen pollution in entry streams at the Doñana World Heritage Site. *Ecological Indicators*, 97, 130-140. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.009>
- Peris, A.; R. Baos, A. Martínez, F. Sergio, F. Hiraldo, E. Eljarrat (2023): Pesticide contamination of bird species from Doñana National Park (southwestern Spain): Temporal trends (1999-2021) and reproductive impacts, *Environmental Pollution*, Volume 323, 2023, 121240, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121240>.
- Prenda, J., de Sousa Baena, I., y Olías, M. (2018): *Factores ambientales y dinámica a largo plazo de la comunidad de aves acuáticas de una pequeña laguna costera (El Portil, SO España)*.
- Pueyo, C.; Gómez Ariza, J.L.; Bello López, M.A. y otros. (2011). New Methodologies for Assessing the Presence and Ecological Effects of Pesticides in Doñana National Park (SW Spain). En: *Pesticides in the modern world - Trends in pesticides analysis*. M. Sotycheva (ed.)
- [Rendón, M.A., Green, A.J., Aguilera, E. y Almaraz, P. 2008.](#) Status, distribution and long-term changes in the waterbird community wintering in Doñana, south-west Spain. *Biological Conservation* 141: 1371-1388.
- Sacristán-Soriano, O.; Jarma, D.; Sánchez, M.I.; Romero, N.; Alonso, E.; Green, A. J.; Sánchez-Melsió, A.; Hortas, F.; Balcázar, J. L.; Peralta-Sánchez, J. M.; Borrego, C. M. (2024). Storks and gulls increase carriage of antibiotic resistance by shifting from ricefields to landfills. *Science of the Total Environment* 914: 169946, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169946>
- Serrano, L. et al. (2006): *La contaminación por eutrofización en arroyos que vierten a la marisma de Doñana*. Universidad de Sevilla, EBD-CSIC, Universidad Pablo de Olavide, Universidad de Huelva y Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA). Diciembre 2006.
- Vioque Fernández, A.; De Almeida, E.A. y López Barea, J. (2009): Assessment of Doñana National Park contamination in *Procambarus clarkii*: Integration of conventional biomarkers and proteomic approaches. *Science of the Total Environment*, 407(5):1784-1797.

EFECTOS DE LA SOBREEXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO DE DOÑANA

El papel del agua subterránea en el Parque Nacional de Doñana es muy importante. Una vez finalizada la época de inundaciones, la vida animal es posible, en gran parte, gracias a los aportes de aguas subterráneas. Sin éstas no se pueden mantener, ni se hubiera desarrollado la importante reserva ecológica que representa Doñana (Junta de Andalucía, 1988).

EL PROBLEMA

El acuífero de Doñana se enfrenta a una **sobreexplotación local de sus recursos** en las zonas de El Rocío, Matalascañas y Los Hatos desde los años 1990 (ej. Junta de Andalucía, 1988 y 2003), hecho que se ha ido extendiendo a la zona fresera del norte posteriormente. Su principal causa es el **incremento de extracciones para regadío**, dinámica que las administraciones pensaban reducir con la aprobación del Plan de Ordenación Territorial del Ámbito de Doñana (Junta de Andalucía, 2003b) y posteriormente con el Plan Especial de Ordenación de las zonas de regadío ubicadas al norte de la Corona Forestal de Doñana (comúnmente conocido como el '*Plan de la Fresa*', Junta de Andalucía, 2014).

Sin embargo, estos **planes no se han implementado de forma completa**, y por tanto no han tenido los efectos esperados. El regadío ha continuado creciendo, abarcando actualmente una extensión de 9418 hectáreas en la zona fresera según la última cartografía disponible (SAR 21), lo que significa un incremento de la presión en 3418 hectáreas sobre aquellas existentes en 2009 (estimadas en torno a 6.000 hectáreas), en comparación con el plan hidrológico del primer ciclo (2009-2015). Según datos de WWF España estas incluyen 1232,2 hectáreas, presuntamente ilegales, que se han regado en la campaña 2022-2023, además de las **más de 1.700 balsas para el regadío en el entorno de Doñana que acaparan el agua que debería llegar a la marisma** que se llenan desde el acuífero (WWF, 2009; WWF, 2016; WWF, 2023; Paredes et al., 2021). También ha crecido el sector del regadío en el entorno del bajo Guadiamar y Los Hatos.

Para **evitar la declaración del conjunto del acuífero como 'sobreexplotado'**, el Plan Hidrológico del Guadalquivir 2016-2021 (CHG, 2015) dividió el acuífero en cinco masas de agua subterráneas; más una masa de agua subterránea ubicada en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, pero hidrogeológicamente conectada a Doñana. Según el Plan Hidrológico del Guadalquivir 2022-2027 (CHG, 2022), el estado cuantitativo de tres de las masas de agua subterráneas (La Rocina, Almonte y Marismas) es malo (*sobreexplotado*) y bueno para las otras dos masas (Marismas de Doñana y Manto Eólico de Doñana), a pesar de las afecciones significativas de bombeos para la extracción, y de que muchas de las lagunas en estas zonas estén sufriendo la falta de agua.



Proceso de evolución (correspondiente a los años 2001, 2009, 2016), fragmentación y ubicación de las Masas de Agua Subterránea (MASb) que forman el conjunto de los acuíferos de Doñana. Fuente: Kofahl et al., 2019.

EL CONOCIMIENTO SOBRE EL ACUÍFERO

El acuífero de Almonte-Marismas es uno de los mejor estudiados en España, con algunas series largas de datos de seguimiento, una gran cantidad de puntos de muestreo, estudios y diferentes modelizaciones. Sin embargo, siguen existiendo incertidumbres significativas para la estimación de los flujos entre las diferentes masas de agua subterráneas (los límites son de carácter administrativo) y el cálculo del Índice de Explotación. Estas incertidumbres son aún mayores porque no se conoce con certeza cuánta agua se extrae en todo el conjunto del acuífero, lo que impide calibrar adecuadamente el modelo del mismo (Guardiola-Albert et al., 2016; Guardiola-Albert, comm. pers., 2022).

Entre muchos otros, Olías Álvarez y Rodríguez-Rodríguez (2013) ponen de manifiesto que en los piezómetros profundos (acuífero confinado) se detectan descensos preocupantes. Según datos oficiales (CHG, 2020b) *“se observa un acusado descenso piezométrico en una banda de orientación Suroeste-Noreste con una anchura de entre 5 y 10 km. que bordea los límites por el Oeste del Parque Nacional y centrada en dos grandes conos de depresión piezométrica, uno situado al Norte de El Rocío y otro al Sur de Villamanrique de la Condesa”*.

Según la declaración de las masas en riesgo de no alcanzar el estado cuantitativo, correspondiente a la masa de agua subterránea de Almonte (CHG, 2020) en la zona norte de las marismas, justo en la ubicación del ecotono Norte, existe un cono de depresión piezométrica que alcanzó un descenso de unos 20 metros acumulados entre 1976 y 2017. El nivel piezométrico en más de la mitad de los piezómetros se encuentra en su mínimo histórico o próximo a éste. En varios de los piezómetros se observa un descenso continuado con un valor acumulado de hasta 9 metros. En algo menos de la mitad de los piezómetros analizados en el ecotono Norte, los niveles profundos parecen estabilizarse en torno al valor mínimo histórico en los últimos 8 años (CHG, 2021). Todo ello es indicativo de una progresiva disminución de los flujos asociados al ecotono Norte.

El informe de la CHG (2021) muestra también que en las inmediaciones del arroyo de La Rocina distintos piezómetros han dejado de ser surgentes desde el año 2010, último año húmedo. También se observa desde finales de los años 1990 una inversión del potencial hidráulico, y a medida que nos acercamos a la desembocadura de las marismas, un descenso piezométrico que puede alcanzar los 4 metros en los niveles profundos. En otros puntos de la margen derecha del arroyo de La Rocina, muy influenciados por extracciones cercanas, el informe de la CHG (2021) muestra oscilaciones intra-anales de más de 5 metros en los niveles profundos, indicando su directa conexión con los bombeos. En la margen izquierda del arroyo de La Rocina, los datos de CHG (2021) reflejan un descenso paulatino del nivel, desde pocos metros hasta más de 10 metros. En esta zona se identifica un cono de depresión al menos desde el año 2000, que tiene su centro al norte de El Rocío. Este cono se une hacia el este con el cono de bombeo del sur de Villamanrique.

Al crecimiento de las extracciones se une una reducción de las aportaciones de agua, asociadas al impacto del cambio climático. En el periodo 1975-2016, los valores de recarga del acuífero han variado significativamente con respecto a las precipitaciones máximas, lo que indica su dependencia de la salud del suelo, de los usos del territorio y de la heterogeneidad espacial y la distribución temporal de las precipitaciones. Los valores medios de recarga se han reducido significativamente entre los periodos 1975-1995 y 1996-2016 debido a la concentración en menos días de lluvia. Los eventos lluviosos intensos conllevan una recarga proporcionalmente menor a los eventos de precipitaciones más bajas pero prolongadas (Naranjo-Fernández et al., 2020).

En relación con el impacto futuro del cambio climático, Guardiola-Albert y Jackson (2011) estiman que la recarga de acuíferos en 2080 tendrá asociada una disminución media de 14-57 % comparado con datos históricos (1975-1998), vinculada a una bajada del nivel piezométrico del acuífero de hasta 17 metros. Las simulaciones indican que también bajarán de forma importante las descargas a los arroyos, como la Rocina (entre -55 y -25 %) y hacia la Marisma (entre -68 y -43 %).

Modelizaciones más actuales dan en el escenario RCP 4.5 para 2039 un promedio de una reducción de la recarga del 8,5 % en comparación con el promedio de 1980-2018, y valores entre 8 y 9 %, y más del doble para el escenario RCP8.5: un 18,2 % de promedio y oscilando entre 17,6 % y 18,8 % (CHG, 2021).

LOS EFECTOS

La extracción de agua subterránea ha causado múltiples impactos ecológicos a los humedales temporales de Doñana, así como a la vegetación terrestre y fauna y flora asociadas a estos hábitats, y dichos impactos deben ser reducidos urgentemente (Green et al., 2024). El Plan de Ordenación de Recursos Naturales (PORN, Junta de Andalucía, 2016) valora que: *"... la disminución generalizada de los niveles piezométricos tiene a su vez implicaciones sobre la distribución y el estado de la vegetación freatófila en Doñana. En general, los datos disponibles parecen evidenciar que pese a la tendencia negativa de los niveles piezométricos de determinadas áreas del acuífero, agravado por las periódicas sequías interanuales propias del clima mediterráneo, el sistema en su conjunto se mantiene estable, presentando una reducción de las tendencias de descenso mostradas en las series históricas e incluso evidenciando evoluciones positivas en la oscilación de los niveles piezométricos en algunos sectores considerados como preocupantes..."*.

En contra de la valoración del PORN, la situación en Doñana dista mucho de ser estable. El último informe sobre el acuífero de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG, 2022b) indica que existen zonas con un estado piezométrico marcadamente inferior al que cabría esperar de la pluviometría y con tendencia descendente significativa. Éstas incluyen la cuenca vertiente del Arroyo del Partido y la mayor parte del de La Rocina. Destaca la banda de 5 - 10 km de anchura que bordea los límites del Parque Nacional entre El Rocío y Villamanrique de la Condesa, con dos grandes conos de depresión piezométrica con relación a las cotas medidas en 1995, uno situado al Norte de El Rocío y otro al Sur de Villamanrique. Comprende los sectores, Zona Norte, Norte del arroyo de la Rocina, Norte del Rocío, Sector intermedio, Ecotono Norte, Sur de Villamanrique-acuífero libre y Cabecera Sur de la Rocina. Se incluye también el sector costero, con un valor de IE inferior al esperado y tendencia significativa decreciente, aunque sin datos de la amplia zona situada al Sur de Matalascañas. Recientemente también se ha investigado sobre los posibles impactos de las extracciones en los movimientos del terreno de la zona (González-Jiménez, 2023).



Ejemplo de balsa de riego en el entorno de Doñana, alimentada por las extracciones del acuífero. © WWF España

Ya en el informe de seguimiento de 2020 (CHG, 2020) se indicaba que la disminución del nivel freático en el ecotono de La Vera-Retuerta era lo suficientemente importante para afectar a los caños, eliminar manifestaciones hídricas en superficie (ej. lagunas y surgencias) y para alejar el agua capilar del alcance de las raíces de la vegetación. Los niveles profundos sí que claramente muestran un decrecimiento de hasta 6 metros en algún caso. También hay pozos que han dejado de ser surgentes y registran la inversión del potencial hidráulico. Al disminuir el nivel profundo, el nivel superficial ahora alimenta tanto a la marisma y los diferentes ecosistemas como a los niveles de más profundidad.

Esta reducción de agua subterránea tiene efectos sobre la vegetación. Muñoz-Reinoso (2001) informa de cambios desde 1970 hacia una vegetación más xerofítica, debido a una menor disponibilidad de agua: “Las extracciones de agua en el entorno de Doñana han favorecido comunidades vegetales más xerofíticas (*Cistus libanotis*, *Lavandula stoechas*, *Rosmarinus officinalis*, *Halimium commutatum*, *Halimium halimifolium*) frente a comunidades más higrófilas como brezales (*Erica scoparia*, *Calluna vulgaris*, *Ulex minor*, *Genista anglica*, *Myrtus communis*), pastizales (*Mentha pulegium*, *Cynodon dactylon*, *Eleocharis palustris*, *Juncus spp*, *Scirpus holoschoenus*) o matorrales mixtos (*Ulex australis*, *Halimium halimifolium*, *Asparagus aphyllus*)”. Lloret et al. (2016) informan sobre cambios significativos durante la sequía de 2005 en la vegetación del Parque Nacional con un incremento de la vegetación de monte blanco y sabinar. También se ha extendido el sabinar costero en los últimos 40 años incluso en zonas tradicionalmente húmedas (García et al., 2014), siendo posible que se deba a la bajada del acuífero, ya que el sabinar no tolera el freático alto.

En el bosque de ribera del Arroyo de la Rocina se ha observado desde 2005 un incremento de la presencia y densidad del fresno frente al sauce, especies ambas indicadoras del estado del freático. El fresno (*Fraxinus angustifolia*), ha reflejado el impacto de la sequía en su crecimiento anual (Rodríguez-González et al., 2021) y por su parte, el sauce (*Salix atrocinerea*), especie más dependiente de las condiciones de humedad del suelo, presenta una tendencia al declive de sus poblaciones (Rodríguez-González et al., 2017).

LAS ACCIONES

La mayor parte de las actuaciones del programa de Medidas del Plan Hidrológico del Guadalquivir 2022-2027, mencionadas en el apartado correspondiente a las masas de agua superficiales de este documento, podrían incluirse en este apartado. Con relación al Marco de Actuaciones en Doñana se pueden incluir de forma específica las que hacen mención a las aguas subterráneas:

- 1.1. Cierre de pozos ilegales y mejora de la gobernanza, con control estricto de los bombeos, incluyendo seguimiento mediante teledetección y telecontrol de contadores e incremento de labores de guardería (3,8 millones de euros).
- 1.2. Constitución de comunidades de usuarios de aguas subterráneas en acuíferos en riesgo de no alcanzar un buen estado cuantitativo o químico. Redacción de un programa de actuación (4 millones de euros).
- 2.1. Adquisición de terrenos con derechos para la recuperación de las masas de agua en la zona de Doñana (100 millones de euros).
- 2.2. Clausura de pozos y planteamiento de fuentes de agua alternativas. Sustitución de aguas subterráneas por superficiales mediante transferencia de recursos conforme a la Ley 10/2018 (15 millones de euros).
- 2.3. Sustitución de aguas subterráneas por aguas superficiales del embalse de El Agrio (30,0 millones de euros).
- 2.4. Reducción del impacto ocasionado por las extracciones de agua para el abastecimiento a Matalascañas. Primera fase (1,2 millones de euros).
- 2.5. Reducción del impacto ocasionado por las extracciones de agua para el abastecimiento a Matalascañas. Segunda fase. Transferencia a Matalascañas desde la ETAP del Tinto en la DH Tinto, Odiel y Piedras (10 millones de euros).
- 8.2 Mejora del conocimiento de los procesos hidrológicos en Doñana: aguas subterráneas y superficiales (1 millones de euros).
- 8.3 Modelo de funcionamiento de los acuíferos y la hidrología superficial en el perímetro de la corona forestal de Doñana (0,25 millones de euros).
- 8.4 Aumento, mejora y automatización de la red de control piezométrica (2,7 millones de euros).

Con la revisión actual del plan Hidrológico 2022-2027 se pretenden completar todas las acciones incluidas en el programa de medidas antes del final del ciclo, cuando se inicie la cuarta revisión del plan hidrológico y una nueva evaluación del estado de las masas de agua de la demarcación del Guadalquivir. En teoría, el Marco de Actuaciones para Doñana y las acciones que incluyen deben completarse en paralelo al Plan Hidrológico de demarcación.

VALORACIÓN Y PROPUESTAS

El buen estado del acuífero de Doñana es fundamental para la conservación de la biodiversidad de este espacio. Sin embargo, éste se encuentra en grave deterioro desde hace años. Las administraciones competentes deberían:

- Asegurar el control y la medición del agua que se usa en el regadío. A pesar de existir una normativa desde 2009⁶, se desconocen las extracciones reales, lo que impide hacer cálculos adecuados de los índices de explotación y del estado del acuífero.
- Incrementar los esfuerzos para controlar y erradicar el uso ilegal del agua en el regadío.

⁶ Orden ARM/1312/2009, de 20 de mayo, por la que se regulan los sistemas para realizar el control efectivo de los volúmenes de agua utilizados por los aprovechamientos de agua del dominio público hidráulico, de los retornos al citado dominio público hidráulico y de los vertidos al mismo. <https://www.boe.es/eli/es/o/2009/05/20/arm1312>

- Adaptar las extracciones de agua para el regadío a las recargas, trasladando su reducción por el cambio climático, tal y como está planteado por un Espacio de Operación Seguro (Green et al., 2017).
- Revisar y ajustar los balances del acuífero, eliminando errores que inducen a sobreestimar el agua disponible. Es necesario evaluar y actualizar el seguimiento del estado del agua subterránea y la metodología utilizada para definir su estado de conservación por parte de la CHG que promedia el índice para varios piezómetros, y amortigua la visión de deterioro del estado del acuífero. Por ejemplo, en Francia⁷ se utiliza un indicador tipo *Standardized Precipitation Index* (SPI), basado en la información estadística de la serie. Por otro lado, existe una sobreestimación de la recarga, lo cual debe ser tenido en cuenta a la hora de evaluar el recurso hídrico disponible. Una mayor concentración de la lluvia en menos días bajo el cambio climático incidirá en la recarga estimada, por lo que se requiere que las estimaciones de los planes hidrológicos se actualicen (Naranjo-Fernández et al., 2020).
- Monitorizar los efectos de la sobreexplotación a través de trabajos de teledetección y de campo, controles de hábitats y especies, incluyendo la vegetación de ribera, estableciendo indicadores y su evaluación regular.
- Realizar un estudio geológico de profundidad del acuífero y diseñar e implementar una red de control de intrusión.
- La excesiva compartimentación actual del acuífero en 5 masas de agua subterránea propuesta por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y la masa de agua subterránea del Condado, perteneciente a la Demarcación del Tinto, Odiel y Piedras, dificulta tener una visión global del sistema. Es necesario una coordinación entre ambas autoridades del agua para mejorar el estado de conocimiento y la gestión adecuada de las aguas subterráneas.

⁷ Más información en: <https://www.brgm.fr/en/reference-completed-project/standardised-piezometric-level-indicator-spli-water-resource-management>

REFERENCIAS

- CHG (2015): Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Segundo ciclo de planificación: 2015-2021.
- CHG (2020): BOE-B-2020-26925. Anuncio de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir por el que se declaran las masas de agua subterránea ES050MSBT00055105 "La Rocina", ES050MSBT00055101 "Almonte" y ES050MSBT00055102 "Marismas" como en riesgo de no alcanzar el buen estado cuantitativo y la masa de agua subterránea ES050MSBT00055105 "La Rocina" como en riesgo de no alcanzar el buen estado químico. Agosto 2020. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-B-2020-26925
- CHG (2020b): Plan Hidrológico del Guadalquivir 2022-2027. Esquema de Temas Importantes. Ficha 10. https://www.chguadalquivir.es/documents/10182/2026165/Ficha+10_Do%C3%B1ana.pdf/42bcfaa6-4f4b-dfb1-1fd2-51323560edd4
- CHG (2021). Informe del estado de los acuíferos del entorno de Doñana, año hidrológico 2019-2020. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. <https://www.chguadalquivir.es/documents/10182/41541/INFORME+CHG+DO%C3%91ANA+2019-20.pdf/64c818c9-336e-fd72-0364-c5167eb1d761>
- CHG (2022): Borrador del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Tercer ciclo de planificación: 2022-2027. Documento aprobado por el Consejo Nacional del Agua.
- CHG (2022b). Informe del estado de los acuíferos del entorno de Doñana, año hidrológico 2020-2021. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. https://www.chguadalquivir.es/documents/10182/41541/INFORME_CHG_DO%C3%91ANA_2020-21.pdf/581a5281-0f0b-be08-98f1-f1e4061937cc
- García, C., Moracho, E., Díaz-Delgado, R. and Jordano, P. (2014): Long-term expansion of juniper populations in managed landscapes: patterns in space and time. *J Ecol*, 102: 1562-1571. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12297>
- González-Jiménez, M.; Guardiola-Albert, C.; Ezquerro, P.; Aguilera, H., Béjar-Pizarro, M., Naranjo-Fernández, N. et al. (2023). Analysis of aquifer-system deformation in the Doñana Natural Space (Spain) using unsupervised cloud-computed InSAR data and wavelet analysis. *Water Resources Research*, 59, e2022WR033858. <https://doi.org/10.1029/2022WR033858>
- Green, A. J.; Guardiola-Albert, C.; Bravo-Utrera, M. Á. et al. (2024): Groundwater Abstraction has Caused Extensive Ecological Damage to the Doñana World Heritage Site, Spain. *Wetlands* 44, 20. <https://doi.org/10.1007/s13157-023-01769-1>
- Guardiola Albert, C. y Jackson, C.R. (2011): Potential Impacts of Climate Change on Groundwater Supplies to the Doñana Wetland, Spain. *Wetlands*, 31:907-920.
- Guardiola-Albert, C., Mediavilla Laso, C., Aguilera, H., Naranjo, N. F., Ruíz Bermudo, F., y García-Bravo, N. (2016): Recurso natural o recarga en la gestión del sistema acuífero Almonte-Marismas (Doñana) según la revisión del Plan Hidrológico (2016-2021) de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.
- Junta de Andalucía (1988): Plan Director Territorial de Coordinación de Doñana.
- Junta de Andalucía (2003): Dictamen sobre Estrategias para el Desarrollo Socioeconómico Sostenible del Entorno de Doñana. <https://www.juntadeandalucia.es/servicios/publicaciones/detalle/41400.html>
- Junta de Andalucía (2003b): Decreto 341/2003, de 9 de diciembre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación del Territorio del Ambito de Doñana y se crea su Comisión de Seguimiento. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/04_001_decreto_aprobacion_def_341_2003.pdf
- Junta de Andalucía (2014): Decreto 178/2014, de 16 de diciembre, por el que se aprueba definitivamente el Plan Especial de Ordenación de las zonas de regadío ubicadas al norte de la Corona Forestal de Doñana y el programa de medidas complementarias a dicho Plan. (BOJA nº 254 de 30/12/2014).
- Junta de Andalucía (2016): Decreto 142/2016, de 2 de agosto, por el que se amplía el ámbito territorial del Parque Natural de Doñana, se declara la ZEC Doñana Norte y Oeste y se aprueban el PORN y el PRUG del Espacio Natural Doñana (BOJA nº 185, de 26 de septiembre).
- Lloret, F.; De la Riva, E.G.; Pérez-Ramos, I.M. y otros. (2016): Climatic events inducing die-off in Mediterranean shrublands: are species' responses related to their functional traits? *Oecologia*, 180(4):961-973.
- Muñoz-Reinoso, J.C. (2001): Vegetation changes and groundwater abstraction in SW Doñana, Spain. *Journal of Hydrology*, 242(3):197-209.
- Naranjo-Fernández, N., Guardiola-Albert, C., Aguilera, H., Serrano-Hidalgo, C., Rodríguez-Rodríguez, M., Fernández-Ayuso, A., Ruiz-Bermudo, F., y Montero-González, E. (2020): Relevance of spatio-temporal rainfall variability regarding groundwater management challenges under global change: case study in Doñana (SW Spain). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34(9), 1289-1311. <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01771-7>
- Oliás Álvarez, M. y Rodríguez Rodríguez, M. (2013): Evolución de los niveles en la red de control piezométrica del acuífero Almonte-Marismas (periodo 1994-2012). *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos* (30):1.121-1.130. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. X Simposio de Hidrogeología, Granada.
- Paredes, I., Ramírez, F., Aragonés, D., Bravo, M. Á., Forero, M. G., y Green, A. J. (2021): Ongoing anthropogenic eutrophication of the catchment area threatens the Doñana World Heritage Site (SW Spain). *Wetlands Ecology and Management*, 29(1), 41-65. <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09766-5>
- Plan de Ordenación del Territorio del Ámbito de Doñana. (BOJA nº 22 de 3 de febrero de 2004).
- Rodríguez Gonzalez P.M., Albuquerque A., Martínez Almarza M. y Díaz Delgado R. (2017): Long-term monitoring for conservation management: Lessons from a case study integrating remote sensing and field approaches in floodplain forests. *Journal of Environmental Management* 202, 392-402.
- Rodríguez González, P.M.; M. Colangelo, Á. Sánchez Miranda, R. Sánchez Salguero, F. Campelo, A. Rita, I. Gomes Marques, A. Albuquerque, F. Ripullone, J.J. Camarero (2021): Climate, drought and hydrology drive narrow-leaved ash growth dynamics in southern European riparian forests. *For. Ecol. Manag.*, 490 (2021), Article 119128, 10.1016/j.foreco.2021.119128
- WWF España (2009): Factsheet Fresas en Doñana. https://wwf.es/awsassets.panda.org/downloads/factsheetfresaok_2_.pdf
- WWF España (2016): WWF revela que más de 1700 balsas de riego acaparan el agua de Doñana y la mayoría son ilegales. En Prensa. <https://www.wwf.es/?7760/fresa-en-doana>
- WWF España (2023): *Desordenando el territorio: amnistía de regadíos ilegales en Doñana*. Análisis técnico de la Proposición de Ley "para la mejora de la ordenación de las zonas de regadío del Condado de Huelva" presentada por PP y Vox en el Parlamento de Andalucía. Inédito

EFECTOS DE LAS EXTRACCIONES DE AGUA PARA EL ÁREA TURÍSTICA DE MATALASCAÑAS SOBRE LOS ECOSISTEMAS DE DOÑANA

EL PROBLEMA

Las lagunas peridunares de la Reserva Biológica de Doñana constituyen una de las zonas mejor estudiadas de todo el espacio y durante una serie temporal larga. La preocupación sobre los efectos que las extracciones autorizadas, con un máximo de 2,75 hm³/año de **agua para Matalascañas** (destinadas a un uso doméstico, turístico, y de riego de jardines y espacios verdes) pueden tener sobre las lagunas y su entorno, data de finales de los años 80 y está recogida en el "*Informe Hollis*" (Hollis et al., 1989) así como en el Plan Director Territorial de Coordinación de Doñana y su Entorno (PDTCDE). A pesar de ello, la **extensión de la urbanización** se amplió considerablemente durante la década de los 90. También, se construyó un **campo de golf** que iba a usar agua reutilizada para el riego de su superficie de césped, pero que hasta 2016 extraía ilegalmente agua del acuífero, en parte debido al insuficiente tratamiento de las aguas residuales. Adicionalmente, en 1990-1991, la empresa entonces encargada del abastecimiento a Matalascañas (PROSEIN S.A.) reconocía volúmenes de extracción superiores a los autorizados: 3,2 y 3,0 hm³/año de agua subterránea (Serrano y Serrano, 1996).

Actualmente, existe consenso entre los científicos —y así fue reconocido por la sentencia del Tribunal Europeo de Justicia C-559⁸— sobre la relación directa y significativa entre las extracciones de agua, el **descenso de los niveles de agua del acuífero** (masa de agua subterránea 05.51 Almonte Marismas) y el **deterioro de las lagunas**. Éste se ve agravado por los efectos del incremento de la evaporación debido al aumento de la temperatura del aire (de 0,11 grados por década (Casana-Barrera y Olivares, 2020), de 1 grado en 13 años durante los meses de primavera (Tragsatec, 2016; Tragsatec-CHG, 2015), y de la cobertura vegetal (+0,54 %/año) (Rodríguez-Rodríguez et al., 2021).

Incluso los documentos oficiales reconocen que en la zona de las lagunas peridunares se observa una tendencia descendente desde 1995 hasta la actualidad de unos 2 a 3 metros (CHG, 2021), comparando los valores de 2021 con los de la mayor sequía jamás registrada en Doñana (1994/1995).

⁸ Sentencia del Tribunal de Justicia (Sala Primera) de 24 de junio de 2021. Comisión Europea contra Reino de España. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A62019CJ0559> y <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:62019CJ0559&from=ES>

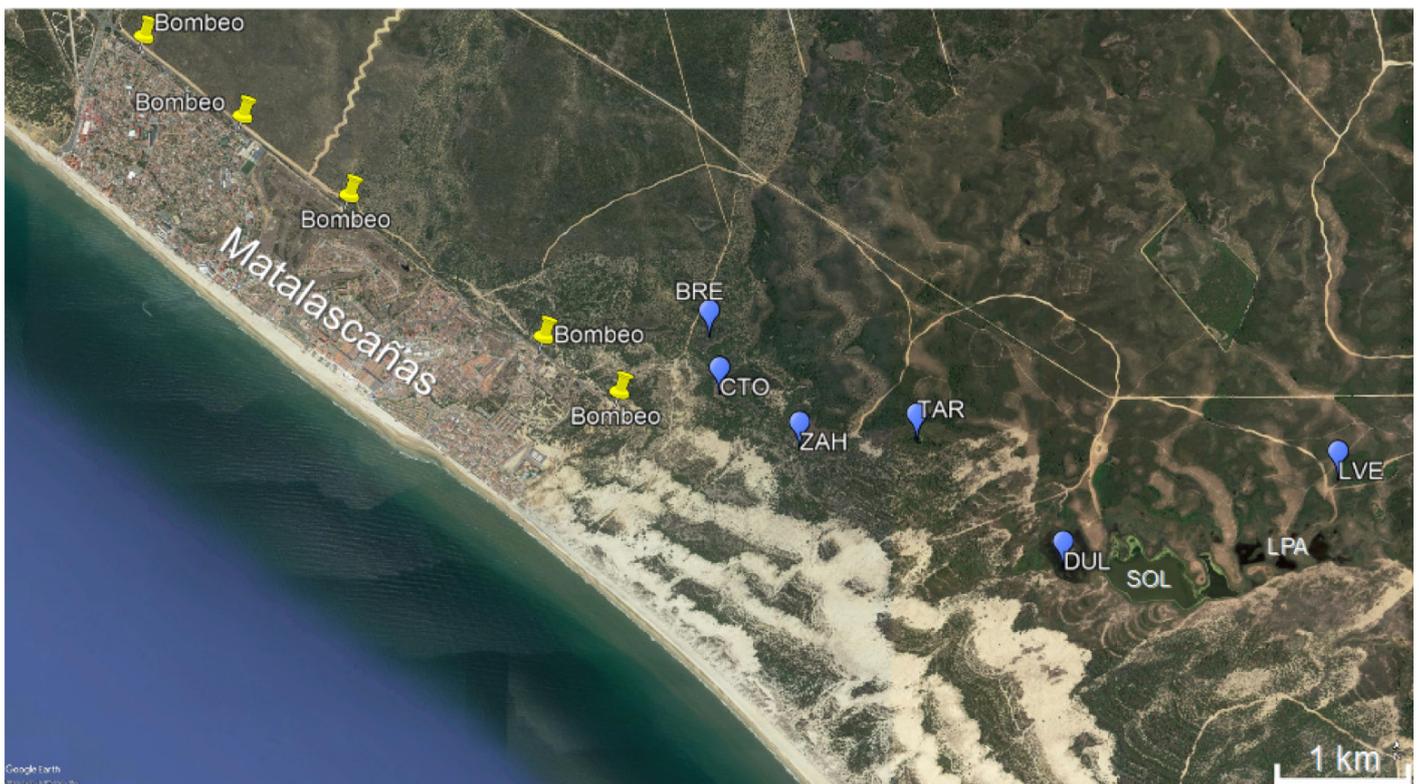


Imagen de satélite mostrando la ubicación de las lagunas peridunares de la Reserva Biológica de Doñana más estudiadas: El Brezo (BRE), El Charco del Toro (CTO), El Zahillo (ZAH), el Taraje (TAR), La Dulce (DUL) y Las Verdes (LVE), Todas ellas son lagunas de hidropériodo temporal junto con el complejo lagunar de Las Pajas (LPA), mientras que Santa Olalla (SOL) es de tipo permanente. En amarillo, la ubicación de los pozos de bombeo de agua del acuífero para

LOS EFECTOS

Las consecuencias más evidentes del descenso de los niveles del acuífero sobre las lagunas peridunares son, la completa desecación que han experimentado algunas de las lagunas, y la reducción de su periodo de inundación anual (Díaz Paniagua y Serrano, 2015), cuestión que se ha comprobado con teledetección (Gómez Rodríguez et al., 2010, Díaz Paniagua y Aragonés, 2015). Si bien inicialmente se consideraba que la extracción de aguas profundas no iba a tener un efecto sobre los acuíferos someros que nutren a las lagunas, varios autores ya han explicado que la reversión de los flujos de agua subterránea puede provocar que los acuíferos profundos dejen de alimentar a los superficiales. Esta es la explicación de que lagunas como El Brezo y el Charco del Toro hayan dejado de ser zonas de descarga del acuífero para convertirse en zonas de recarga del mismo.

Las lagunas peridunares son dependientes de la descarga del acuífero. Las más próximas a Matalascañas son las que se ven más afectadas por las extracciones del agua que se bombea para el abastecimiento a la urbanización. En general, todas las lagunas peridunares han sufrido una reducción gradual de la superficie inundada, que no se explica por la variación de las precipitaciones de los mismos años (ej. Díaz Paniagua y Aragonés, 2015; Serrano et al., 2008)⁹. En tres de las lagunas (Charco del Toro, Zahillo y Taraje), se ha producido una bajada de los niveles piezométricos medios entre el 3,1 y 6,7 % comparando los periodos de 1994-2004 y 2005-2015 (Rodríguez-Rodríguez et al., 2021). La laguna más próxima a Matalascañas, la laguna del Brezo, comenzó a secarse alrededor de 1976, y está actualmente cubierta por pinos y matorral; en la laguna del Charco del Toro se comenzó a detectar la desecación a finales de los años 90 (Coletto, 2003); La laguna del Zahillo y la del Taraje están actualmente significativamente alteradas, con sus cubetas colonizadas por juncales, matorral y pinos jóvenes la primera, además de por *tarajes* la segunda (Díaz Paniagua et al., comm. pers., 2023).

⁹ En 5 de las 8 lagunas, en un rango de entre 52 % y 99 %.

Todas las lagunas, tanto temporales como permanentes, —incluida la laguna de Santa Olalla— se han secado completamente durante el verano de 2022, tras un periodo de 10 años de ausencia de años húmedos.

En el sistema de lagunas de Doñana se han descrito más de 200 especies de plantas, 80 microcrustáceos y rotíferos, 128 macroinvertebrados, 11 de las 13 especies descritas de anfibios de Andalucía occidental, dos especies de culebras de agua y las dos únicas especies de galápagos autóctonos de la península ibérica (Díaz Paniagua et al., 2015).

Las especies más perjudicadas por el acortamiento del hidroperiodo en las lagunas son las que requieren periodos acuáticos más largos para completar sus ciclos vitales o su fase reproductiva, pues el número de lagunas de largo hidroperiodo que van quedando es muy escaso. Entre las especies características de este tipo de lagunas se encuentran los galápagos (*Mauremys leprosa* y *Emys orbicularis*), gallipatos (*Pleurodeles waltl*) y sapos de espuelas (*Pelobates cultripes*), así como muchas especies de odonatos que tienen fases larvianas largas. Entre las plantas, se encuentran las especies flotantes, y algunas sumergidas como *Hydrocharis morsus-ranae*, que se considera actualmente extinguida en Doñana (García Murillo et al., 2000), *Potamogeton lucens*, *P. polygonifolius* o *P. natans* que actualmente ya solo encontramos en zacallones, gracias a que, al profundizarse artificialmente, se mantienen inundados más tiempo (Díaz Paniagua et al., 2019).

En los años 60, el sapo de espuelas (*Pelobates cultripes*) era una de las especies más abundantes en Doñana (Valverde, 1967), y era frecuente observar enormes cantidades de ejemplares cuando se iniciaba el ciclo de inundación de las lagunas con las primeras grandes precipitaciones que caían después del verano. Sin embargo, en la actualidad, su población ha disminuido considerablemente, ya no se observan tales concentraciones de individuos desde la década de los años 90 y en la actualidad ha reducido un 22 % su área de distribución en el parque respecto a lo que se describía en 2003 (Díaz Paniagua et al., datos no publicados, comm. pers. 2023). Su regresión es generalizada¹⁰ y se puede explicar, por una parte, por la introducción del cangrejo rojo americano, pero especialmente se relaciona con la pérdida de hábitats reproductivos, y con la reducción del hidroperiodo de las lagunas, ya que esta especie es la que presenta mayor periodo larvario. Puntualmente, se ha observado también la mortalidad de todas las puestas que realizaba esta especie en lagunas afectadas por procesos de acidificación. Esto se ha detectado en las lagunas del Charco del Toro y en la del Zahillo, donde tras las primeras lluvias que caen tras el verano, en los primeros encharcamientos que se forman se han llegado a detectar valores de pH inferiores a 4, causados por la oxidación de la pirita contenida en los sedimentos, al quedar expuesta a condiciones oxidantes por el descenso del nivel freático. Puesto que la época de reproducción coincide con dichos momentos de acidez en 2006 y 2007, se observó, la pérdida completa de la inversión reproductiva de estos sapos en la laguna del Charco del toro, y de la mayoría de los huevos que depositaron en la laguna del Zahillo (Serrano et al., 2016).

Los odonatos son excelentes indicadores del estado de conservación de los medios acuáticos (Oertli, 2008), ya que su periodo larvario es acuático, y hay especies características de medios temporales, mientras que otras requieren periodos de inundación superiores a un año. Doñana se considera un lugar privilegiado para los odonatos en la Península Ibérica. Desde 1959 hasta la actualidad, se ha constatado la presencia en Doñana de 43 especies de odonatos. Actualmente hay 15 especies detectadas antes del año 2000 que ya no se están registrando, a pesar de que en la última década se han hecho intensas prospecciones e incluso conteos mensuales. Entre las especies citadas que actualmente no se encuentran hay especies amenazadas, como *Brachytron pratense*, catalogada en España y Europa como especie en peligro, *Coenagrion mercuriale* (vulnerable, Convenio de Berna Anejo II), y *Orthethrum nitidinerve* (vulnerable) (Díaz Paniagua et al., 2014).

Junto con otros factores como la presencia del cangrejo americano (*Procambarus clarkii*), el impacto del ganado o el aumento de la temperatura, el acortamiento del hidroperiodo de las lagunas afecta a la presencia de determinadas plantas acuáticas. En particular se observa actualmente la escasa presencia de las indicadoras de aguas más permanentes, y especies como *Ricciocarpus natans*, *Lemna trisulca*, *Spirodela polyrhiza*, *Wolffia arrhiza*, *Potamogeton*

¹⁰ El informe de evaluación 2013-2018 del estado de conservación de esta especie valora su declive en todo su rango biogeográfico (<https://eunis.eea.europa.eu/species/752>).

lucens o *P. natans*, ya solo se observan en los zacallones de Doñana (Díaz Paniagua et al. 2015). Otras especies importantes se consideran ya extinguidas en Doñana como las plantas "carnívoras" del género *Utricularia* y el ninféido *Hydrocharis morsus-ranae* (García Murillo et al., 2000; De Felipe et al., 2022; Díaz Paniagua et al., 2022).

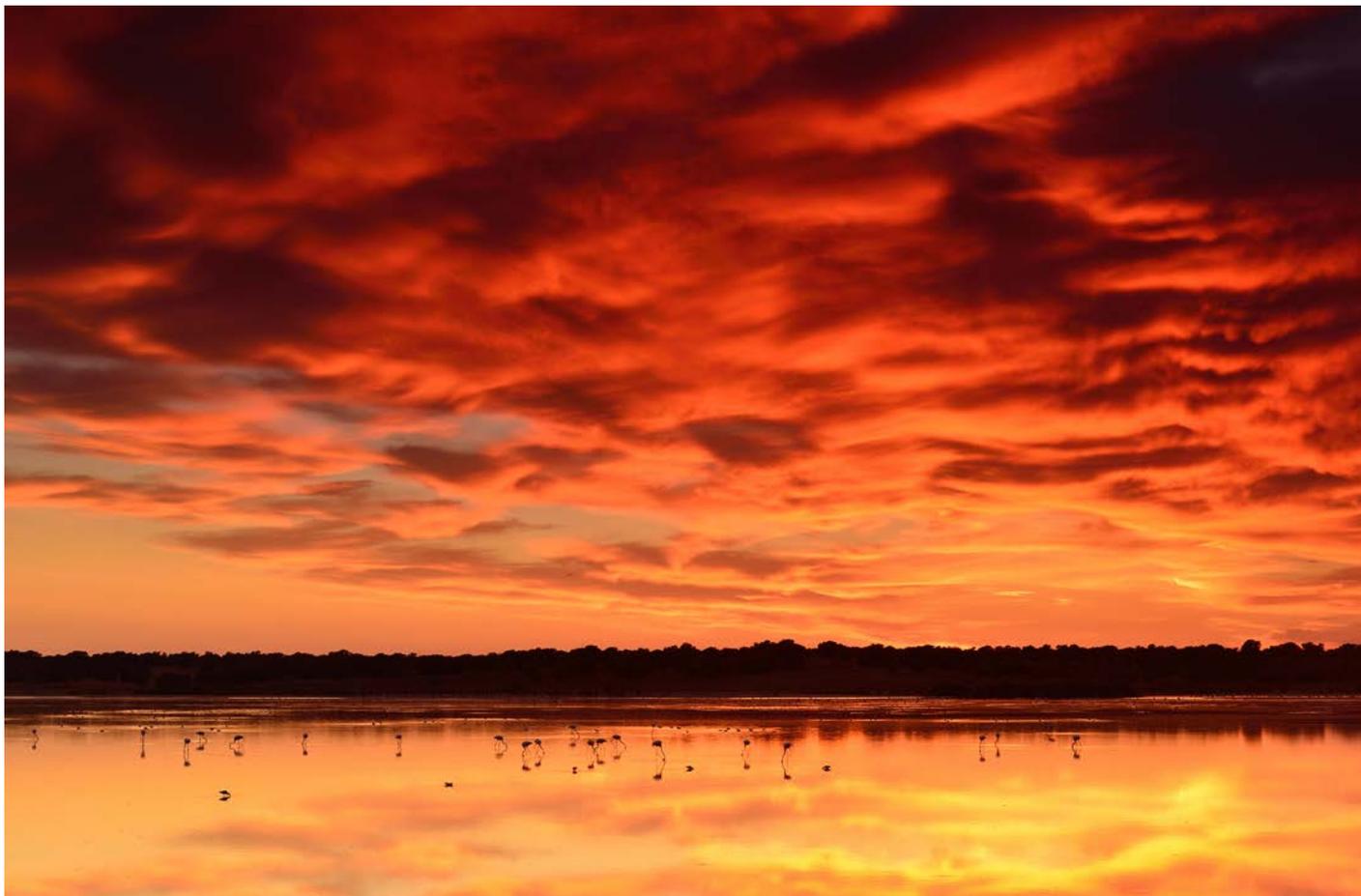
Los peces no suelen encontrarse en las lagunas temporales de Doñana, pero las colonizan en años de grandes inundaciones, y en algunos puntos aislados, como los zacallones, o en las grandes lagunas, pueden mantenerse núcleos aislados. De las siete especies que se detectan en estos medios inestables y frágiles, tres son nativas: colmilleja (*Cobitis paludica*), anguila (*Anguilla anguilla*) y salinete (*Aphanius baeticus*) y cuatro exóticas: gambusia (*Gambusia holbrooki*), carpa (*Cyprinus carpio*), pez sol (*Lepomis gibbosus*) y fúndulo (*Fundulus heteroclitus*). Estas especies, exceptuando el fúndulo, vinculado a procesos mareales, colonizan ocasionalmente, en años de pluviosidad elevada y, consiguientemente, elevada conectividad con la principal fuente de colonizadores que es la marisma, un número variable de lagunas temporales del manto eólico de Doñana.

En el pasado, este proceso debió ser exclusivo de anguilas y colmillejas y quizás de alguna otra especie, hoy rara o extinta en el área, como el cachuelo (*Squalius pyrenaicus*). En la actualidad, desde el punto de vista cuantitativo, las especies con más presencia en las lagunas son exóticas. Las elevadas abundancia y biomasa de peces invasores registradas en algunas lagunas como Santa Olalla y Dulce, no solo han modificado sustancialmente su funcionamiento ecológico, sino que aportan alimento para depredadores aéreos que encuentran en estas especies un recurso trófico que puede ser puntualmente de gran importancia. Estas especies depredadoras, nutria, garzas y otros larolimícolas, podrían ejercer algún control sobre las especies invasoras de peces (Prenda, 2015). Cabe destacar que, en los últimos años, al producirse la desecación de todas las lagunas, incluyendo la de Santa Olalla en 2022, se ha producido la mortalidad de todos los peces que se detectaban en ellas, tanto exóticas como la gambusia, como los autóctonos, entre las que hay que incluir especies amenazadas, como la anguila y el salinete.

La inestabilidad hídrica de las lagunas y la reducción de su hidroperiodo favorece a las especies más oportunistas, con menos requerimientos ecológicos y ciclos de vida más cortos, típico de la icitiofauna exótica. Es previsible, por ello, que lejos de disminuir o estabilizarse, la invasión de estos cuerpos de agua por peces exóticos se acentúe y las especies nativas de peces acaben extinguiéndose, como está ocurriendo ya (Lennox et al., 2019).

En Doñana se han registrado cuatro especies de reptiles acuáticos. Las culebras viperinas (*Natrix maura*) fueron consideradas muy abundantes en todo tipo de lagunas en los años 60 del siglo XX, pero en la actualidad solo se las detecta esporádicamente en las lagunas de mayor permanencia o largo hidroperiodo, además de en la marisma (Díaz Paniagua et al., 2019). Las poblaciones de galápagos se consideraban entre las mejor conservadas en la península ibérica (Da Silva, 2002, Keller y Andreu, 2002). Las de galápagos leproso se localizaban principalmente en las lagunas peridunares, mientras que los europeos se encontraban también en muchas lagunas temporales y en zacallones de todo el parque (Keller et al., 1995). La desecación actual de muchas de estas lagunas temporales ha ocasionado una reducción considerable de esta especie, en la que detectamos actualmente la desaparición de un 30 % de los puntos en los que se detectaba la especie en décadas anteriores (Díaz Paniagua, comm. pers. 2023).

Consta la presencia de al menos 140 taxones de macroinvertebrados en las lagunas de Doñana. Las lagunas de Doñana son importantes porque muchas de las especies de macroinvertebrados acuáticos que son abundantes o frecuentes en ellas, son consideradas especies raras en otras áreas de la península ibérica (e.g. *Haliphus andalusicus*, *Agabus conspersus*, *Ilybius montanus*, *Rhantus hispanicus*, *Dytiscus circumflexus*, *Cybister tripunctatus africanus*, *Hydrochara flavipes*, etc.) (Díaz Paniagua et al., 2019). No hay datos sobre el posible deterioro de todas estas especies. Aparte del deterioro relacionado con la cantidad de agua, es la presencia de la gambusia (*Gambusia holbrooki*) la que parece influir de forma importante en la composición funcional y taxonómica del grupo de macroinvertebrados en las lagunas temporales de Doñana; el cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) afecta a su composición taxonómica, y el caracol de agua dulce *Physa acuta* afecta a la diversidad funcional sin impactar en la composición taxonómica. Los principales taxones afectados por estas especies invasoras son *Cloëon* spp., *Corixa affinis*, y larvas de Notonectidae y Gerridae. (Soto García et al., 2021)



Grupo de flamencos en una de las lagunas de Doñana al atardecer. © Diego López / WWF España

La mayoría de las lagunas de Doñana son de reducido tamaño, pero están catalogadas como hábitats prioritarios por la Unión Europea (Lagunas temporales mediterráneas, código 3170 de la Directiva de Hábitats). En años de grandes precipitaciones, se han llegado a estimar y cartografiar más de 3000 lagunas temporales en el manto eólico del parque nacional de Doñana (Gómez Rodríguez et al., 2010; Gómez Rodríguez et al., 2011). Un estudio realizado con teledetección, detecta la pérdida de inundación desde 2013 en un 60 % de las lagunas que se detectan con imágenes de satélite (mayores de 900 m²) (de Felipe et al., 2023), y en otro estudio que se realiza con observaciones directa en campo, se detecta la invasión de las cubetas lagunares por matorral terrestre y pinos en alrededor de un 60 % de lagunas temporales, principalmente en la zona noroeste del parque nacional (Díaz Paniagua et al., en revisión). La disminución del tiempo que el agua permanece en superficie acelera enormemente el proceso natural de colonización del sedimento fértil de una laguna desecada por parte de la vegetación de matorral e, incluso, por árboles como tarajes y pinos (Muñoz-Reinoso, 2001; Serrano y Zunzunegui, 2008). Entre 1970 y 2016, las extracciones de agua en el entorno de Doñana/ Matalascañas han favorecido comunidades vegetales más xerofíticas. Asimismo, los enebrales (*Juniperus phoenicea*) se están extendiendo sobre áreas históricamente consideradas como matorrales (Muñoz Reinoso et al., 2020; Muñoz Reinoso, 2001).

Por otra parte, una consecuencia adicional de las extracciones del agua del acuífero, podría ser el incremento de la salinidad. Sin embargo, hasta la fecha no se ha detectado intrusión salina en el acuífero de Doñana (Serrano Hidalgo y Fernández Ayuso, 2021).

LAS ACCIONES

El borrador del Plan Hidrológico del Guadalquivir para el periodo 2022-2027 incluye en el Programa de Medidas dos acciones para afrontar el problema de Matalascañas y las lagunas peridunares:

- “Cambio ubicación de sondeos del abastecimiento Matalascañas para disminuir afección al parque natural de Doñana” (con el código ES050_3_Guadalquivir5490 y un presupuesto de 1,2 millones de euros).
- “Transferencia a Matalascañas desde la ETAP del Tinto en la D.H. Tinto, Odiel y Piedras” (con código ES050_3_Guadalquivir5483 y una inversión prevista de 10 millones de euros).

Además, el borrador del Documento Marco de Actuaciones para Doñana (MITERD, 2022) incluye la siguiente medida para resolver el problema: “Reducción del impacto ocasionado por las extracciones de agua para el abastecimiento a Matalascañas”.

No hay referencia a acciones específicas en el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Nacional.

VALORACIÓN Y PROPUESTAS

La reubicación de los pozos de extracción de agua para uso doméstico y turístico en Matalascañas es una medida que aliviará la presión sobre las lagunas peridunares de la Estación Biológica de Doñana, de hecho, ya se contemplaba en el informe de los expertos hace más de 30 años (Hollis et al., 1989). No obstante, dado que se trata de un traslado de las presiones a otra zona situada dentro del Espacio Natural Doñana, donde también se localizan multitud de lagunas temporales (Ruiz-Labourdette et al., 2005), que podrían tener las mismas afecciones que las que se describen para las lagunas peridunares, se debe realizar un estudio detallado con anterioridad a la ejecución de las obras o priorizar otras acciones con menos efectos negativos potenciales.

Las administraciones competentes deberían:

- Promover la reducción del consumo de agua en Matalascañas, con medidas de incremento de la eficiencia, educación ambiental a los usuarios, y una tarificación volumétrica que promueva el ahorro, e incluso restringiendo el abastecimiento en periodos de sequía.
- Abastecer a Matalascañas desde fuentes que tengan menor impacto que la reubicación de los sondeos, considerando la desalinización de aguas marinas o su priorización en las reglas de transferencias de agua existentes desde las cuencas del Tinto y Odiel y fomentando la reutilización.
- Añadir el seguimiento de la flora, la fauna, la superficie de inundación y los hidroperiodos de las lagunas de Doñana al de los niveles piezométricos para poder alertar de la necesidad de restringir las extracciones en periodos críticos para el mantenimiento de los ciclos hídricos de las lagunas.
- Evaluar y, si procede, ejecutar una reducción de la masa forestal de pinares (*Pinus pinea*) mediante una gestión activa puede llevar a una reducción de la evapotranspiración en hasta un 20 %, sobre todo en verano (Escribano y Fernández, 2018).
- Realizar un estudio geológico en profundidad del acuífero en la costa cercano a las extracciones y diseñar e implementar una red de control de intrusión.

REFERENCIAS

- Casana Barrera, S., y Olivares, B. O. (2020): *Evolution and trend of surface temperature and wind speed (1994-2014) at the Doñana National Park, Spain*. 37, 20-32.
- CHG (2021): Informe del estado de los acuíferos del entorno de Doñana (Año hidrológico 2020-2021)
- Coletto, C. (2003): Funciones hidrológicas y biogeoquímicas de las formaciones palustres hipogénicas de los mantos eólicos del Abalario-Doñana (Huelva). Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 461 págs. Más anexos.
- Custodio E. y M. Palancar (1995): Las aguas subterráneas en Doñana. Rev. Obras Públicas: 142: 31-53. Madrid.
- Custodio, E., Manzano, M., Montes, C. (2009): Las aguas subterráneas en Doñana. Aspectos ecológicos y sociales, Sevilla: Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente
- De Felipe, M., Aragonés, D. y Díaz Paniagua, C. (2022): Unravelling the effect of groundwater abstractions on the conservation of Doñana's National Park pond network. Sibecol. AIL Meeting 2022. (3-8 Julio 2022, Aveiro): Libro de resúmenes: 241.
- De Felipe, M., Aragonés, D., y Díaz Paniagua, C. (2023): Thirty-four years of Landsat monitoring reveal long-term effects of groundwater abstractions on a World Heritage Site wetland. The Science of the total environment, 880, 163329. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163329>
- Díaz Paniagua, C. y Aragonés, D. (2015). Permanent and temporary ponds in Doñana National Park (SW Spain) are threatened by desiccation. *Limnética*, 34(2):407-424.
- Díaz Paniagua, C. Ramirez, B. y Aragonés, D. (en revisión) Pond basin colonisation by terrestrial vegetation indicates wetland deterioration.
- Díaz Paniagua, C. y Serrano, L. (2015): Tendencias de desecación en el sistema de lagunas. En: El Sistema de Lagunas Temporales de Doñana, una Red de Hábitats Acuáticos Singulares, pp:251-270, Díaz Paniagua, C. (coord.). Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Díaz Paniagua, C., Serrano, L., Florencio, M., Sousa, A., Siljeström, P., García-Murillo, P., Fernández-Zamudio, R. y Gómez Rodríguez, C. (2015), La Conservación de Sistema de Lagunas de Doñana. En: pp: 273-289, Díaz Paniagua, C. (coord.). Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Díaz Paniagua, C.; Florencio, M.; Serrano, L.; Siljeström, P.; De Felipe, M.; García Murillo, P.; Sousa, A.; Andreu, A.; Fernández Zamudio, R. (2022): Biodiversity loss related to the deterioration of the pond network in the Doñana National Park (Spain). AIL Meeting 2022. (3-8- Julio 2022, Aveiro): Libro de resúmenes: P056.
- Díaz Paniagua, C.; Martín Franquelo, R.; De los Reyes, L.; Fernández Díaz, P. y Prunier, F. (2014): The dragonflies of Doñana: 1959-2013. *Boletín Rola*, 4: 5-25.
- Díaz Paniagua, C., Serrano Martín, L., Murillo, P. G., Díaz, M. F., Fernández Zamudio, R., y Ribed, P. S. (2019): *Informe sobre la Repercusión de las extracciones de aguas subterráneas en el sistema de lagunas del manto eólico de Doñana*.
- Dimitriou, E., Moussoulis, E., Díaz Paniagua, C., y Serrano, L. (2017): Hydrodynamic numerical modelling of the water level decline in four temporary ponds of the Doñana National Park (SW Spain). *Journal of Arid Environments*, 147, 90-102. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.09.004>
- Escribano, P., y Fernández, N. (2018): Ecosystem Functioning Observations for Assessing Conservation in the Doñana National Park, Spain. In *Satellite Remote Sensing for Conservation Action* (pp. 164-193). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108631129.007>
- García Murillo, P.; S. Cirujano, L. Medina y A. Sousa (2000): ¿se extinguirá *Hydrocharis morsus-ranae* l. de la península ibérica? *Portugaliae Acta Biol.* 19: 149-158. Lisboa, 2000.
- Gómez Rodríguez, C., Díaz Paniagua, C. y Bustamante, J. (2011): Cartografía de Lagunas temporales del Parque Nacional de Doñana. Sevilla, Spain: Agencia Andaluza del Agua. Consejería Medio Ambiente. Junta de Andalucía. <http://last-ebd.blogspot.com/2011/03/%20artograf%C3%ADa-de-lagunas-temporales-del.html>
- Gómez Rodríguez, C.; Bustamante, J. y Díaz Paniagua, C. (2010): Evidence of hydroperiod shortening in a preserved system of temporary ponds. *Remote sensing*, 2:1.439-1.462.
- Hollis, T., Mercer, J. y Heurteaux P. (1989): Implicaciones de la extracción de agua subterránea para el futuro a largo plazo del Coto de Doñana.
- Keller, C., Díaz Paniagua, C., Andreu, A., Bravo, M. A. (1995): Distribution pattern of freshwater turtles in the Doñana National Park (SW Spain). International Congress of Chelonian Conservation. France - Gonfaron - Tortoise Village - 6th to 10th of July 1995. *Proceedings*: 192-195.
- Lennox, R. J., Crook, D. A., Moyle, P. B., Struthers, D. P., y Cooke, S. J. (2019). Toward a better understanding of freshwater fish responses to an increasingly drought-stricken world. *Reviews in fish biology and fisheries*, 29, 71-92.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2022): Marco de actuaciones para Doñana.
- Muñoz-Reinoso, J. C. (2001): Vegetation changes and groundwater abstraction in SW Doñana, Spain. www.elsevier.com/locate/jhydrol
- Muñoz-Reinoso, J. C., Jordán, R. V., y Tejada-Tejada, M. (2020): Analysis of Spatio-Temporal Changes in the Vegetation Cover of the Coastal Landscape of Doñana. *Journal of Coastal Research*, 95 (sp1), 113-117. <https://doi.org/10.2112/SI95-022.1>
- Oertli, B. (2008): The use of dragonflies in the assessment and monitoring of aquatic habitats. Pp. 79-95. In: Córdoba-Aguilar, A. (ed.): *Dragonflies and Damselflies: Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research*. Oxford University Press. Oxford. 304 pp.
- Prenda, J. 2015. Los peces de las lagunas temporales de Doñana. En, Díaz-Paniagua (Coord.): El Sistema de Lagunas Temporales de Doñana, una red de hábitats acuáticos singulares: 215-217. Ed. Organismo Autónomo Parques Nacionales. ISBN: 978-84-8014-880-1.
- Rodríguez Rodríguez, M., Aguilera, H., Guardiola Albert, C., y Fernández Ayuso, A. (2021): Climate Influence Vs. Local Drivers in Surface Water-Groundwater Interactions in Eight Ponds of Doñana National Park (Southern Spain). *Wetlands*, 41(2). <https://doi.org/10.1007/s13157-021-01425-6>

Ruiz Labourdette, D., Coletto, C., Bravo, M.A., Borja, F. y Montes, C., (2005): Formaciones palustres de los mantos eólicos y flecha litoral del Abalarío-Doñana, (E 1:60.000). CMA JA.

Serrano Hidalgo, C., y Fernández Ayuso, A. (2021). *Modeling saltwater intrusion with SUTRA 3.0 in Almonte-Marismas aquifer coast (Doñana Natural Space, Southern Spain)*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-3015>

Serrano, L. y Serrano, L. (1996): Influence of groundwater exploitation for urban water supply on temporary ponds from the Doñana National Park (SW Spain). *Journal of Environmental Management* 46, 229-238. <https://doi.org/10.1006/jema.1996.0018>

Serrano, L. y Zunzunegui, M. (2008): The relevance of preserving temporary ponds during drought: hydrological and vegetation changes over a 16-year period in the Doñana National Park (south-west Spain). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18, 261-279. <https://doi.org/10.1002/aqc.830>

Serrano, L., Díaz Paniagua, C., Gómez Rodríguez, C., Florencio, M., Marchand, M. A., Roelofs, J. G. M., y Lucassen, E. C. H. E. T. (2016): Susceptibility to acidification of groundwater-dependent wetlands affected by water level declines, and potential risk to an early-breeding amphibian species. *Science of the Total Environment*, 571, 1253-1261. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.156>

Soto-García, P., Florencio, M., Alonso, A., y Díaz Paniagua, C. (n.d.): *Aquatic alien species affect the macroinvertebrate diversity of the Doñana pond network EU ERANET Biodiversa project-ResPond-Managing and Restoring Biodiversity and Ecosystem Service of Temporary Pond Habitats View project LAGUNAS View project*. <https://doi.org/10.13039/501100011033>

Tragsatec (2016): Monitoring by remote sensing techniques of the flooded surface of the Doñana coastal ponds and the vegetation of its surroundings. Technical report. Guadalquivir River Basin Authority, Seville, p 57. <https://www.chguadalquivir.es/estudios-tecnicos>

Tragsatec-CHG. (2015): Seguimiento por Técnicas de Teledetección de las Lagunas de los mantos eólicos de Doñana y de la masa vegetal de su entorno. <https://www.chguadalquivir.es/estudios-tecnicos>

Valverde, J. A. (1967): Estructura de una Comunidad de Vertebrados Terrestres. C.S.I.C., Madrid.

IMPACTOS QUE TIENE LA SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR EN DOÑANA

EL PROBLEMA

Doñana es un ecosistema que se generó en la zona de transición entre los ríos y el mar. Esta interacción se ha reducido muy significativamente desde la década de 1980 con la construcción de la *Montaña del Río*, una elevación artificial de la elevación natural con compuertas —reforzada a finales de los 1990— y que actualmente aísla la marisma de Doñana del cauce del río Guadalquivir.

La gestión de la cuenca del Guadalquivir agrava esta desconexión, ya que **los grandes consumos de agua para regadío reducen los caudales de agua dulce circulantes**, provocando además tasas de erosión significativas y aportes de contaminación a lo largo del eje del propio río.

Sin embargo, la subida del nivel del mar es uno de los efectos del cambio climático que puede revertir este proceso, aunque a costa de reducir la superficie de marisma dulce, uno de los valores destacados de Doñana. Debido a la subida del nivel del mar asociado al calentamiento global (Moomaw et al., 2018), **se prevé perder la mayor parte de los humedales costeros** de la región Mediterránea en los próximos 70 años (Spencer et al., 2016). A modo de ejemplo gráfica puede consultarse la inundación prevista con una subida de 1m¹¹, límite que fácilmente puede superarse este siglo y comprobar los efectos estimados.

Hay un **enorme desconocimiento del estuario del Guadalquivir** y desinterés por parte de las administraciones competentes de apostar por una gestión eco-hidrológica del mismo, reflejada por ejemplo en la ausencia de datos y medidas de gestión específicas del Plan Hidrológico y el Plan de Gestión del riesgo de Inundación del Guadalquivir. Tampoco existe una estrategia o documento oficial que haya analizado las **opciones de gestión de Doñana frente a la subida prevista del nivel del mar**, siendo necesario actualizar los instrumentos de gestión del espacio protegido integrando los efectos del cambio climático como se está haciendo en otras áreas protegidas.

DATOS E INFORMACIÓN REFLEJADOS EN LOS DOCUMENTOS DE GESTIÓN OFICIALES

El PHG 2015-2021 (CHG, 2021) determina 3 **masas de agua costeras**, de carácter natural. Según los últimos datos disponibles (2015-2019), dos de las tres masas costeras estarían en mal estado ecológico, *Pluma del Guadalquivir* y *Doñana-Matalascañas*, con incumplimientos en indicadores fisicoquímicos, concretamente en nutrientes. Para el tercer ciclo de planificación se han valorado los indicadores de macroinvertebrados bentónicos (índice BOPA), fitoplancton (Clorofila-A) y nutrientes (Amonio, Nitratos, Nitritos y Fosfatos). A pesar de ser un avance importante respecto al segundo ciclo de planificación, el grado de confianza del proceso de valoración es medio, pues no se han tenido en cuenta elementos de alteración hidromorfológica.

¹¹ Se puede consultar esta información en: <https://flood.firetree.net/>

En Doñana, el PHG 2015-2021 considera 4 **masas de aguas de transición**, todas clasificadas como "*muy modificadas*": las *Marismas de Bonanza* están en mal estado (no se ha valorado el índice BO2A de macroinvertebrados bentónicos, pero sí el índice ITWf de fitoplancton), la *Desembocadura de Guadalquivir-Bonanza* está en mal estado (en este caso se han valorado tanto el índice BO2A de macroinvertebrados bentónicos y el índice ITWf de fitoplancton), la masa del *Brazo del Este* se encuentra también en mal estado (en este caso se han valorado también el índice BO2A y el índice ITWf), y la masa del *GuadamarBrazo del Oeste* que se encuentra en mal estado (se han valorado el índice ITWf y el BO2A que se encuentran en estado deficiente).



Panorámica del estuario del Guadalquivir a la altura de Trebujena. © Rafael Seiz / WWF España

En las cuatro masas de agua de transición se han valorado también los nutrientes (amonio, nitratos, nitritos y fosfatos); todas ellas han mostrado problemas con el amonio y los nitratos, con lo que su estado es deficiente respecto a estos indicadores. El Plan no establece condiciones de referencia para estas masas, excepto para algunos indicadores de calidad físico-química. Tampoco se consideran ni macrófitos ni peces entre los elementos de calidad biológica, ni se han evaluado elementos de calidad hidromorfológica. Por ello el grado de confianza de la valoración es medio.

Por otro lado, de acuerdo con el Plan Hidrológico, se espera una subida del nivel del mar a lo largo del siglo XXI que en la costa de Doñana podría incrementar su nivel respecto al nivel medio local entre un 7 y un 12 % hasta el 2045, y entre un 25 y un 37 % en 2100, en función del escenario RCP asumido. En el estuario esta subida tendría como consecuencia una mayor presencia de aguas saladas en la marisma que afectaría a la distribución de ecosistemas en su interior (CHG, 2021b). Esto podría afectar directamente a la ecología del estuario y también de la zona de marismas, especialmente en el Parque Nacional de Doñana, donde podría haber cambios significativos en la distribución de los ecosistemas (CHG, 2022).

En el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN), en su apartado de diagnóstico, se hace referencia a "*una previsible subida del nivel del mar*" y sus efectos sobre los ecosistemas del Espacio Natural incluyendo los

balances sedimentarios. El índice cualitativo de vulnerabilidad de la costa andaluza a la potencial subida del nivel del mar establece niveles muy altos de vulnerabilidad para todo el conjunto de la playa de Castilla, desde Matalascañas hasta la punta del Malandar, así como para una parte importante del estuario del Guadalquivir. La vulnerabilidad del tramo costero comprendido entre Mazagón y Matalascañas se valora, en términos generales, como moderada.

EL CONOCIMIENTO SOBRE EL ESTUARIO DEL GUADALQUIVIR

A través de las escotaduras naturales de la *Montaña del río* y de los derramaderos del Brazo de la Torre, las mareas entraban en la marisma inundando los lucios de Los Ansares, del Membrillo y los caños de las Nuevas, de Brenes y de la Figuerola (Valverde, 1960; Vanney, 1970). Esta influencia mareal permitía además el contacto e intercambio de diversas comunidades biológicas entre la marisma y la ría del Guadalquivir en determinadas épocas del año, fenómeno ecológico de vital importancia para la distribución y proliferación de las diferentes especies de la comunidad de peces (Valverde, 1960; Fernández Delgado et al., 2000).

En 2010, el CSIC analizó el estado general del río Guadalquivir en sus 110 kilómetros finales y llegó a conclusiones alarmantes. Entre ellas están que: a) el caudal de agua dulce es mínimo; un 60 % menos que hace 70 años y cinco veces inferior al necesario, y b) los espacios que inundaban las mareas en ciclos alternos, los llanos mareales, han desaparecido en un 85 % (CSIC, 2010).

Algunos estuarios grandes (ej. Guadalquivir, Ebro o Verdugo en Vigo) muestran un decrecimiento de sus elementos mareales. La causa fundamental de estos cambios es la pérdida de caudales de agua dulce provenientes de sus cuencas, si bien la elevación del nivel del mar en los últimos 20 años puede haber favorecido este deterioro. Los cambios de caudales impactan sobre la intrusión salina, la estratificación y la distribución de la viscosidad de los remolinos verticales. La amplitud mareal en el Guadalquivir aumenta en su cabecera (0,001 cm/año) si bien se ve reducida en la desembocadura, posiblemente debido a la profundización de los canales de navegación (Diez Minguito et al., 2018).

Un análisis de cuatro índices de vulnerabilidad que caracteriza a los estuarios resulta en una reducción del flujo de masa intercambiada y de la energía mareal entre 2000 y 2015 en la mayoría de los estuarios españoles, si bien la significancia de los cambios fue mayor en el suroeste atlántico, especialmente en el Guadalquivir y en el Guadiana. La reducción de los caudales de agua dulce en los ríos ha sido muy fuerte en años recientes, provocando una mayor intrusión salina en todos los estuarios ibéricos (Serrano et al., 2020).

Para distintos escenarios futuros, resalta el efecto de la profundización del canal actual debido a los dragados para la navegación hasta el Puerto de Sevilla o la elevación del nivel del mar, que incrementaría las amplitudes de las elevaciones, el prisma de marea y, en menor medida, la intrusión salina en el estuario. El incremento de los esfuerzos tangenciales en lecho y márgenes favorecería el incremento de las tasas de erosión local y, por tanto, de la concentración de sedimentos en suspensión y la turbidez (Diez-Minguito et al., 2019).

LA EVOLUCIÓN DEL ECOSISTEMA DUNAR Y SU VEGETACIÓN

Las dunas móviles existentes en dos áreas han desaparecido, y han sido colonizadas por la camarina (*Corema album*), matorrales xerofíticos y pinares (*Pinus pinea*, intensivamente plantado desde el siglo XIX), debido a la reducción de vientos (por las construcciones de Matalascañas) y la pérdida de velocidad del avance de las dunas móviles de 2,37 m/año (en el periodo 1956-1977) a 1,27 m/año (1977-2001), a la falta de aportación de arenas por la construcción del espigón en el estuario del Tinto-Odiel, a los cambios en los vientos y al crecimiento de la vegetación (Muñoz Reinoso et al., 2020; Muñoz Reinoso, 2001).



Vista aérea del sistema dunar de Doñana. © Héctor Garrido / EBD-CSIC

LOS EFECTOS DEL DETERIORO DEL ESTUARIO Y DE LA SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR SOBRE LOS ECOSISTEMAS DE DOÑANA

Las condiciones actuales de bajo oxígeno disuelto con elevados valores de CO₂ y de sólidos en suspensión, así como la falta de hábitats estables intermareales, limita la biodiversidad del Guadalquivir en mayor grado que en otros estuarios (Ruiz et al., 2015).

Estudios recientes han profundizado sobre el escaso conocimiento del que se disponía para el fitoplancton existente en el estuario del Guadalquivir. Se han identificado 12 grupos funcionales de especies de fitoplancton, cuya distribución está principalmente influenciada por el gradiente salino del estuario (Cañavate et al., 2019), con menor relevancia de la estacionalidad e insignificante influencia de la elevada concentración de nutrientes. Cianobacterias y clorofitas son más abundantes en los tramos oligohalinos, mientras que haptofitas y dinoflagelados (no tóxicos) aumentan su contribución a la comunidad de fitoplancton a partir de valores mesohalinos. Esta dinámica del fitoplancton hace que el valor nutricional de la producción primaria en el estuario sea más elevado conforme aumenta la salinidad (Cañavate et al., 2021). La eficiencia de transmisión trófica a consumidores está por lo tanto directamente relacionada con la salinidad del estuario.

El meso-zooplancton ha sufrido importantes cambios en su composición durante las últimas décadas, y está dominada por dos especies eurihalinas, *Calanipeda aquaedulcis* y *Acartia clausi*, de las cuales la primera, que está adaptada a ambientes extremos, domina amplias zonas del estuario (Tagliatalata et al., 2014).

Entre 1997 y 2009 no hubo una relevante variabilidad interanual en la presencia de peces, en particular de alevines, en la zona del estuario, que estuviera relacionada con la variabilidad de precipitaciones y por tanto

descarga de agua dulce por parte del río. Sin embargo, la turbidez (efecto colateral de la escasez de agua y la erosión de suelo en la cuenca) afecta tanto a las características estructurales como a las funcionales de la comunidad piscícola (González Ortegón et al., 2015).

El CSIC (2010) informa sobre los efectos que la situación físico-química de las aguas transicionales tiene sobre algunas aguas costeras más cercanas a la desembocadura: *"... El impacto de la elevada concentración de CO₂ se aprecia tanto en la comunidad zooplanctónica como en la fauna bentónica ... [resultando en una] baja riqueza específica del bentos en el estuario ... La limitación en la concentración de oxígeno disuelto se extiende hasta las riberas del último tramo del estuario, la desembocadura y las zonas litorales adyacentes. Estos eventos pueden conducir a la aparición de 'zonas muertas' costeras..."*. A esto hay que sumar el desequilibrio morfológico de la costa por la intervención humana.

No hay información ni proyecciones específicas para Doñana sobre las inundaciones predecibles conforme a la subida del nivel del mar, pero se puede ver el efecto esperado en cualquier parte del mundo en la página <https://flood.firetree.net/>. La entrada del agua del mar en la marisma y el aumento de salinidad asociada reduciría la riqueza de especies de plantas acuáticas y de invertebrados acuáticos (Frisch et al., 2006; Green et al., 2002). Tendría un impacto negativo sobre especies amenazadas de aves como la focha moruna, y las anátidas en general (Green et al., 2002; Rendón et al., 2008). Cambiaría la composición de la comunidad de aves acuáticas, beneficiando algunas especies de limícolas, pero causando declives en otras aves acuáticas (Ramírez et al., 2018).

LAS ACCIONES

El Plan de Gestión del Riesgo de Inundaciones indica que los principales impactos identificados en la costa son la inundación y erosión, los cuales dependen del oleaje, la marea meteorológica y el aumento del nivel medio del mar. Habitualmente, se ha identificado al aumento del nivel del mar como principal responsable de los impactos del cambio climático en la costa. Sin embargo, una adecuada evaluación de los impactos en la costa requiere tener en cuenta también los cambios en el oleaje y la marea meteorológica. Actualmente, la CHG considera que las decisiones asociadas a las estrategias de adaptación al cambio climático en la costa deben tomarse en un marco incierto, lo que requiere mejorar las metodologías y la información existente, con el fin de acotar la incertidumbre y poder así hacer un uso más acertado y eficiente de los recursos disponibles.

Con el objetivo de actualizar la información generada durante el primer ciclo de aplicación de la Directiva de Inundaciones y cumplir las obligaciones impuestas por la Unión Europea en relación a la incorporación del impacto del cambio climático en las inundaciones costeras, el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria ha desarrollado nuevas bases de datos de proyecciones regionales de cambio climático de variables marinas para estimar el impacto en la inundación costera. Este trabajo ha permitido comparar los eventos extremos de inundación costera proyectados con los históricos, en cada uno de los perfiles y acotando la incertidumbre en la determinación del impacto del cambio climático en la inundación costera en España. Para ello, se han utilizado los escenarios climáticos RCP 4.5 y 8.5, distintos periodos de tiempo (1985-2005, 2026-2045, 2081-2100), modelos climáticos, función distribución de ANMM (aumento del nivel medio del mar) y periodos de retorno (10, 50, 100 y 500 años; estos dos últimos son los que la Directiva de Inundaciones establece como mínimo).

Los resultados para el caso del Guadalquivir indican que los Incrementos Relativos de Cota (CI) y la Distancia de Inundación (DI), aumentan fundamentalmente para el periodo de largo plazo (2081-2100), y también a medida que aumenta el valor de periodo de retorno (o de 10, 50, 100 y 500 años). Las diferencias entre los resultados de los dos escenarios climáticos estudiados (RCP 4.5 y 8.5) no son, en general, muy importantes, aunque siempre son mayores los de RCP 8.5.

De forma específica los valores de incremento relativo máximos de CI y DI, para el medio plazo (2026-2045), tienen una altísima variabilidad a lo largo de la Demarcación Hidrográfica. Los mayores valores para CI oscilan desde aproximadamente incrementos del 15 % para el periodo de retorno de 10 años del RCP4.5, hasta del

orden del 45 % para el periodo de retorno de 500 años del RCP8.5. Por otro lado, los mayores valores para DI oscilan desde aproximadamente incrementos del 25 % para el periodo de retorno de 10 años del RCP4.5, hasta del orden del 50 % para el periodo de retorno de 500 años del RCP8.5. Los valores de incremento relativo máximos de CI y DI, para el largo plazo (2081-2100), son mayores que los del medio plazo y también tienen una altísima variabilidad a lo largo de la demarcación hidrográfica. Los mayores valores para CI oscilan desde aproximadamente incrementos del 30 % para el periodo de retorno de 10 años del RCP4.5, hasta del orden del 80 % para el periodo de retorno de 500 años del RCP8.5. Por otro lado, los mayores valores para DI oscilan desde aproximadamente incrementos del 50 % para el periodo de retorno de 10 años del RCP4.5, hasta del orden del 165 % para el periodo de retorno de 500 años del RCP8.5.

A pesar de las incertidumbres de los resultados propuestos para las inundaciones de origen marino, en la revisión del PGRI no se ha elaborado nueva cartografía de peligrosidad y riesgo en este segundo ciclo, sino que se ha considerado adecuada la cartografía disponible del primer ciclo elaborada por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar. En relación con las medidas propuestas, está previsto continuar y reforzar la ejecución del Programa de mantenimiento, conservación y mejora de cauces, con una inversión anual media aproximada de 3 millones de euros en todo el periodo. Los efectos positivos de este programa, centrado en los cauces, se deben a actuaciones de restauración hidrológico-forestal y ordenaciones agrohidrológicas en la cuenca. Una de las novedades de este ciclo es la inclusión en este ámbito de un Programa de continuidad de sedimentos. De acuerdo con la CHG, el objetivo es mejorar el conocimiento de las alteraciones en la dinámica sedimentaria y de los desequilibrios geomorfológicos que se producen en la cuenca, caracterizar y cartografiar estos procesos identificando zonas prioritarias donde los problemas son más acusados y finalmente proponer medidas para mitigarlos, todo ello en cumplimiento de la nueva Ley de Cambio Climático y Transición Energética.

En lo que se refiere a las normas de gestión de la explotación de embalses que tengan un impacto significativo en el régimen hidrológico, en este ciclo está previsto que materialice un nuevo programa de seguridad de presas conforme al Real Decreto 264/2021, de 13 de abril, por el que se aprueban las normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses y que se mejore la coordinación entre los caudales de desagüe de las presas y posibles afecciones aguas abajo, y los estudios de inundabilidad de las ARPSIs localizadas aguas abajo realizados en el marco del SNCZI, en general a partir de información más actualizada y precisa y con herramientas de cálculo más avanzadas. No se aporta más detalle en la Memoria del PGRI sobre estas medidas concretas de recuperación de cauces.

Con relación a actuaciones específicas relacionadas con las inundaciones de origen marino y/o mareal, existe una tipología de medidas contempladas en el PGRI (*Tipología 11-15.01.01*) con un presupuesto en torno a los 5 millones de euros, y que son medidas para establecer o mejorar los sistemas de alerta meteorológica incluyendo los sistemas de medida y predicción de temporales marinos. Esta medida incluye la elaboración de un "*Protocolo de actuación entre la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la Dirección General del Agua (DGA) para el intercambio de información hidrometeorológica*", la inclusión de nuevos parámetros objeto de aviso en el Plan Meteoaleta y la mejora de la red de observación meteorológica. Esta medida está también contemplada en el PHG 2022-2027 con el siguiente código *ES050_3_Guadalquivir5579*.

No se aporta más información específica sobre otro tipo de medidas concretas para hacer frente a este problema a en el entorno de Doñana, a excepción de un estudio para "*Servicios de consultoría e ingeniería en materia de inundabilidad para la prevención frente avenidas del núcleo urbano de Coria del Río (Sevilla)*" con un presupuesto de apenas 80.000 euros.

El Plan Hidrológico del Guadalquivir para el periodo 2022-2027 (CHG, 2022) incluye las siguientes medidas para resolver el problema:

- En el tercer ciclo de planificación se realizará un estudio para dilucidar las consecuencias de la subida del nivel del mar con mayor detalle. No hay otras acciones actualmente previstas.
- Medidas de mejora de la permeabilidad longitudinal en el bajo Guadalquivir (*ES050_1_Guadalquivir0321*), que incluye actuaciones en la presa de Alcalá del Río y de Cantillana. No se han incluido medidas para la recuperación de llanos mareales ni ninguna que actué directamente sobre las condiciones hidromorfológicas del Estuario.

- Existe una medida de “*Estudio y control de caudales ecológicos*” (ES050_1_Guadalquivir0472) que afecta a todas las masas de agua de la demarcación. No se especifica cómo se va a aplicar en el ámbito del Estuario, a pesar de las reiteradas propuestas de revisión del régimen de caudales que se han presentado en el proceso de consulta pública del PHG 2022-2027. Existe una medida para desarrollar una “*Metodología para considerar ecosistemas costeros y marinos en los caudales ecológicos*” (Código ES050_3_Guadalquivir5633) pero con el bajo grado de detalle que aporta el Programa de Medidas no se puede conocer su alcance.

Estas medidas son un avance respecto al ciclo anterior de planificación 2015-2021, pero al no haberse iniciado aún (aprobación del PHG 2022-2027 en enero de 2022) no se puede valorar progreso alguno en este momento.

No hay referencia a acciones específicas en el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Nacional.

VALORACIÓN Y PROPUESTAS

Según las previsiones actuales, la subida del nivel del mar causará la pérdida la mayor parte de los humedales costeros de la región Mediterránea en los próximos 70 años, y tendrá repercusiones significativas en Doñana (Spencer et al., 2016; Geijzenorffer et al., 2018). Sin embargo, y a pesar de su enorme importancia, hay un enorme desconocimiento del estuario del Guadalquivir y desinterés por parte de las administraciones competentes por una gestión eco-hidrológica del mismo, y falta un análisis y debate sobre las opciones de gestión de Doñana frente a la subida del nivel del mar. Por otro lado, la gestión del agua dulce en la cuenca del Guadalquivir ya tiene importantes repercusiones sobre la calidad y conservación del estuario.

Falta un estudio específico modelando la subida del mar y sus consecuencias en las marismas y estuario del Guadalquivir (p.ej. siguiendo Kulp y Strauss, 2019).

Los procesos de sedimentación en los deltas son muy positivos para contrarrestar la subida del nivel del mar (Giosan y Syvitski, 2014). En cambio, en el Guadalquivir la canalización hace que los sedimentos vayan al mar en vez de depositarse en el delta. Muchos otros sedimentos se quedan atrapados detrás de las presas en la cuenca. Hay que considerar medidas que restauran los procesos de sedimentación en el delta, tal y como se hace en el Mississippi por ejemplo (Xu et al., 2019).

Las administraciones competentes deberían:

- Para contrarrestar los efectos en la salinidad y la influencia de marea, asegurar aportes de agua dulce significativos desde la presa de Alcalá del Río y recuperar extensiones de llanos mareales en la zona baja del Estuario (Diez Minguito et al., 2019).
- Desarrollar una estrategia y medidas de gestión, incluyendo seguimiento, para analizar los riesgos y beneficios de los efectos de la subida del nivel del mar sobre los diferentes ecosistemas de Doñana, así como sobre el conjunto del espacio natural.
- Estudiar cómo afectaría el aumento del nivel del mar al acuífero (aumento de riesgo de intrusión).

REFERENCIAS

- Cañavate J.P., Van Bergeijk S., Giráldez I., González Ortigón E., Vilas C. (2019): Fatty acids to quantify phytoplankton functional groups and their spatiotemporal dynamics in a highly turbid estuary. *Estuaries and Coasts* 42, 1971-1990. <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00629-8>.
- Cañavate J.P., Van Bergeijk S., González Ortigón E., Vilas C. (2021): Contrasting fatty acids with other indicators to assess nutritional status of suspended particulate organic matter in a turbid estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 254: 107329. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107329>.
- CHG (2021): Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir 2022-2027. Apéndice 4. Valoración de Masas de Agua Costeras y de Transición, del Anejo 7. Valoración del estado de las Masas de Agua de la Memoria del PGH-2021-2027. https://www.chguadalquivir.es/documents/10182/2564531/PHGuadalquivir_ANEJO7_Apendice4.pdf/5131aa40-7fe6-7e8d-9c0c-05d83147e042
- CHG (2021b): Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir y Plan de Gestión del Riesgo de Inundación tercer ciclo: 2022-2027. Memoria. Anejo de Programa de Medidas. Evaluación Ambiental Estratégica de las medidas previstas en el Plan sobre el espacio Patrimonio de la Humanidad "Parque Nacional de Doñana". Borrador.
- CHG (2022): Plan Hidrológico de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir (2022-2027). ANEJO N° 15. El Cambio Climático en la cuenca del Guadalquivir. <https://www.chguadalquivir.es/tercer-ciclo-guadalquivir>
- CSIC (2010): Propuesta metodológica para diagnosticar y pronosticar las consecuencias de las actuaciones humanas en el estuario del Guadalquivir". Disponible en: <http://bit.ly/EstudioEstuario>.
- Díaz Minguito, M.; Losada, M.A.; Siles R. (2019): Evaluación de cambios en la onda de marea y salinidad producidos por dragados, recuperación de llanos mareales, subida del nivel del mar y permeabilización de la presa de Alcalá del Río. Grupo de Dinámica de Fluidos. Universidad de Granada. WWF España. (no publicado).
- Díez Minguito, M., Serrano, M., y Cobos, M. (2018): *Multi-decadal trend analysis of tidal constituents in the Spanish estuaries*.
- Fernández Delgado, C.; Drake, P.; Arias, A.M. y García, D. (2000): Peces de Doñana y su entorno. Ministerio de Medio Ambiente.
- Frisch, D., Moreno-Ostos, E. y Green, A.J. (2006): Species richness and distribution of copepods and cladocerans in relation to hydroperiod and other environmental variables in Doñana, south-west Spain. *Hydrobiologia* 556: 327-340.
- Geijzendorffer, Ilse (coordinator), Laurent Chazée, Elie Galet, Thomas Galewski, Anis Guelmami, Christian Perennou (2018): Mediterranean Wetlands Outlook 2: Solutions for sustainable Mediterranean Wetlands, 2018, Tour du Valat, France. https://medwet.org/wp-content/uploads/2018/10/MWO_2018_Technical-report.pdf
- Giosan, L., J. Syvitski, S. Constantinescu, and J. Day (2014): Protect the world's deltas. *Nature* 516:31-33.
- González Ortigón, E.; Baldó, F.; Arias, A. y otros. (2015): Freshwater scarcity effects on the aquatic macrofauna of a European Mediterranean-climate estuary. *Science of the Total Environment* 503- 504:213-221.
- Green, A.J., El Hamzaoui, M., El Agbani, M.A. y Franchimont, J. (2002): The conservation status of Moroccan wetlands with particular reference to waterbirds and to changes since 1978. *Biological Conservation* 104: 71-82. <http://www.ebd.csic.es/andy/BiolConsMaroc02.pdf>
- Kulp S.A. y Strauss B.H. (2019): New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature Communications* 10, 4844. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12808-z>
- Moomaw W.R., Chmura G.L., Davies G.T., Finlayson C.M., Middleton B.A., Natali S.M., et al. (2018): Wetlands in a Changing Climate: Science, Policy and Management. *Wetlands* 38, 183-205. <https://doi.org/10.1007/s13157-018-1023-8>
- Muñoz-Reinoso, J. C. (2001): *Vegetation changes and groundwater abstraction in SW Don Áana, Spain*. www.elsevier.com/locate/jhydrol
- Muñoz Reinoso, J. C., Jordán, R. V., y Tejada-Tejada, M. (2020): Analysis of Spatio-Temporal Changes in the Vegetation Cover of the Coastal Landscape of Doñana. *Journal of Coastal Research*, 95(sp1), 113-117. <https://doi.org/10.2112/SI95-022.1>
- Ramirez F., Rodriguez C., Seoane J., Figuerola J. y Bustamante J. (2018): How will climate change affect endangered Mediterranean waterbirds? *Plos One* 13.
- Ruiz, J.; Polo, M.J.; Díez Minguito, M. y otros. (2015): Chapter 8 - The Guadalquivir Estuary: A Hot Spot for Environmental and Human Conflicts. En: *Environmental Management and Governance: Advances in Coastal and Marine Resources*. C.W. Finkl y C. Makowski (eds.). Coastal Research Library, 8
- Serrano, M. A., Cobos, M., Magaña, P. J., y Díez Minguito, M. (2020): Sensitivity of Iberian estuaries to changes in sea water temperature, salinity, river flow, mean sea level, and tidal amplitudes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106624>
- Spencer T., Schuerch M., Nicholls R.J., Hinkel J., Lincke D., Vafeidis A.T., et al. (2016): Global coastal wetland changes under sea-level rise and related stresses: The DIVA Wetland Change Model. *Global and Planetary Change* 139, 15-30. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.12.018>
- Tagliatalata, S.; Ruiz, J.; Prieto, L. y Navarro, G. (2014): Seasonal forcing of image-analysed mesozooplankton community composition along the salinity gradient of the Guadalquivir estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 149:244-254.
- Valverde, J.A. (1960): Vertebrados de las Marismas del Guadalquivir (introducción a su estudio ecológico). *Archivos del Instituto de Aclimatación*, IX:1-168.
- Vanney, J.R. (1970): L'hydrologie du Bas Guadalquivir. *Publ. Dept. Geogr. Aplicada*, 176 pp. C.S.I.C., Madrid.
- Xu K., Bentley S.J., Day J.W. y Freeman A.M. (2019): A review of sediment diversion in the Mississippi River Deltaic Plain. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 225, 106241. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.05.023>

ESPECIES INVASORAS EN DOÑANA

EL PROBLEMA

Las especies exóticas e invasoras constituyen un **riesgo para la conservación de la biodiversidad** de Doñana, y se ven favorecidas por el deterioro de los ecosistemas, así como por las actividades que puedan llevar estas especies a la zona, tal y como el **transporte marítimo** o las **actividades deportivas**.

DATOS E INFORMACIÓN REFLEJADOS EN LOS DOCUMENTOS DE GESTIÓN OFICIALES

En cuanto a las especies exóticas, el Esquema provisional de Temas Importantes (ETI) de la última revisión del Plan Hidrológico del Guadalquivir (2022-2027) se refiere explícitamente a su introducción por el trasiego de embarcaciones de origen internacional hacia el Puerto de Sevilla, así como a otras causas indirectas.

El Plan Hidrológico del Guadalquivir (PHG) 2022-2027 no hace una referencia específica a las especies exóticas invasoras para el espacio protegido de Doñana. Se hace referencia a que en el caso de la demarcación *"... el problema ha experimentado una tendencia creciente en las últimas décadas. Se ha constatado presencia de especies exóticas invasoras (EEI) en 141 masas de agua tipo río y embalse, 9 masas de agua de transición y en 3 canales de riego"*.

No hace mención concreta a Doñana, con lo que no se puede inferir qué dedicación va a tener la CHG en prevenir y controlar las especies exóticas en el Parque Nacional o en el espacio natural protegido. La única referencia cercana se hace en la Memoria donde se indica que *"... En 2021 se ha confirmado la presencia de Siluro en el Guadalquivir (Silurus glanis), por debajo de la presa de Alcalá del Río¹². Se trata de una especie exótica invasora introducida cuya presencia es especialmente preocupante en el entorno de las Marismas del Guadalquivir, donde se encuentran las muy escasas poblaciones que quedan de cercetas pardillas, malvasías, porrones pardos o fochas cornudas, todas ellas aves en peligro de extinción"*. No se establecen medidas concretas para esta especie, ni para el resto de las especies exóticas invasoras identificadas.

El Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) del Espacio Natural de Doñana reconoce en su diagnóstico el problema de las especies invasoras con importancia *"media"* y menciona explícitamente a algunas especies de peces, el cangrejo americano y plantas, y lo relaciona con el estado de deterioro de los ecosistemas fluviales, así como con la navegación. Insta por la prevención y la detección temprana como instrumentos que en mayor medida pueden mitigar los potenciales efectos negativos de estas invasiones biológicas.

En el Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG), se hace referencia a las especies exóticas e invasoras cuando se habla de los criterios de gestión, *"favoreciéndose el establecimiento de mecanismos y sistemas de detección y alerta temprana en caso necesario"*. Igualmente, *"se impulsará la continuación del programa de trabajo de erradicación de eucaliptales y la posterior restauración de la cubierta vegetal y del suelo de acuerdo con lo especificado en la planificación existente"* y *"se impulsará el desarrollo de medidas de restauración y regeneración, en los terrenos forestales y áreas de marismas y humedales que evidencien problemas de conservación"*. También prevé otras medidas como aquellas de conocimiento e información.

¹² Se tiene constancia al menos desde 2015 (Sáez-Gómez, comm. Pers. 2023)

EL CONOCIMIENTO

El estado de conservación de los peces nativos en la cuenca del Guadalquivir es malo. Del total de 18 especies encontradas en 2008, el predominio global de especies introducidas fue del 25 %, lo que se considera un valor alto. Las especies introducidas más presentes fueron la gambusia (*Gambusia holbrooki*) y el pez sol (*Lepomis gibbosus*) con un 10 % del predominio. En 2014, en los muestreos realizados por el Equipo de Seguimiento de Procesos Naturales de la EBD, se registraron 16 especies de peces en toda el área de Doñana, de las que 6 (37,5 %) fueron exóticas. En los muestreos de lagunas la riqueza obtenida fue de 9 especies, 6 de ellas exóticas (67 %). Finalmente, en las lagunas peridunares exclusivamente se detectaron 4 especies de peces de las que 3 eran foráneas (75 %).

En la actualidad la penetración de las especies exóticas ha aumentado, convirtiendo a este segmento de la biodiversidad como el más amenazado de Doñana (Prenda, 2022). Se asocia al cambio del modelo agrario hacia su intensificación, asociado a unas tasas de erosión del suelo muy altas, a extracciones de agua cuantiosas y a la regulación de caudales en presas y canales, así como a la presencia de contaminantes como pesticidas que eliminan los peces de las secciones fluviales en la llanura. También han desaparecido peces como el espinoso (*Gasterosteus aculeatus*) así como la mayoría de las especies migradoras (Esturión, *Acipenser sturio*; Lamprea, *Petromyzon marinus*; Sábalo, *Alosa alosa*; Saboga, *Alosa fallax*). Las especies nativas aún presentes ha reducido marcadamente su distribución, hasta hace poco muy abundantes, como la anguila (*Anguilla anguilla*) y la pardilla (*Iberochondrostoma lemmingii*) (Sáez-Gomez et al., 2020; Sáez-Gómez y Prenda, 2022).

Existe muy poca información sobre los peces de las lagunas temporales en Doñana. De las seis especies en estos medios inestables y frágiles, tres son nativas: colmilleja (*Cobitis paludica*), anguila (*Anguilla anguilla*) y salinete (*Aphanius baeticus*) y tres exóticas: gambusia (*Gambusia holbrooki*), carpa (*Cyprinus carpio*) y fúndulo (*Fundulus heteroclitus*). En la actualidad, desde el punto de vista cuantitativo, las especies con más presencia en las lagunas son exóticas (Prenda, 2015).

La presencia de la gambusia (*Gambusia holbrooki*) parece influir de forma importante a la composición funcional y taxonómica del grupo de macroinvertebrados en las lagunas temporales de Doñana; el cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) afecta a su composición taxonómica, y el caracol de agua dulce (*Physa acuta*) afecta a la diversidad funcional sin impactar en la composición taxonómica. Los principales taxones afectados por estas especies invasoras son *Cloëon* spp., *Corixa affinis*, y larvas de Notonectidae y Gerridae. (Soto García et al., 2021). La introducción del cangrejo afecta a las redes tróficas de las lagunas, deteriorando la calidad del agua, la biomasa de macrófitos, alterando la composición de zooplancton y depredando sobre las larvas de anfibios (Arribas et al., 2014).

Además, hay cuatro nuevas especies de peces recientemente introducidas en la cuenca del Guadalquivir: el chanchito (*Australoheros facetus*), el pez gato negro (*Ameiurus melas*), el siluro (*Silurus glanis*) y un piscardo (*Phoxinus* spp.) de origen desconocido. Desde la primera detección del pez gato negro en 2007, se ha producido una fuerte expansión, incluyendo el Parque Nacional de Doñana, llegándose a observar cardúmenes de varios miles de ejemplares en la Rocina 2010 (Sáez-Gomez y Prenda, 2019).

Otras especies exóticas con impacto son el corixido *Trichocorixa verticalis* (un depredador, que excluye algunas especies autóctonas de corixido y puede afectar los crustáceos autóctonos, Céspedes et al., 2019) y *Artemia franciscana* (que elimina las especies nativas de *Artemia*, e implica una pérdida de biodiversidad de endoparásitos; Horvath et al., 2018).

Desde los años 90, la hormiga argentina (*Linepithema humile*) está muy lentamente invadiendo los alrededores de un pequeño asentamiento humano permanente, si bien su avance está muy limitado a un conjunto de alcornoques (Castro-Cobo et al., 2019).

La invasión de *Azolla filiculoides* produce densas capas en la superficie del agua, que reduce la entrada de luz en la columna del agua, ocasionando la eliminación de los macrófitos, reduciendo el pH y oxígeno, y aumentando la concentración de nutrientes del agua, lo cual afecta también al desarrollo de las larvas de anfibios que viven en los ambientes invadidos (Pinero-Rodríguez et al., 2017).

La invasión de *Spartina densiflora* excluye plantas emergentes autóctonas como la castañuela o candejejo, con mucha expansión en Isla Mayor en las últimas décadas (Bustamante et al., 2016). Es probable que cualquier medida para aumentar la conectividad entre el estuario y la marisma le favorezca mucho, y algunas zonas restauradas en el estuario se han colonizadas por completo por esta especie.

Cotula coronopifolia es una planta invasora que coloniza gran parte de la marisma en años secos, y que compite con *Ranunculus* y muchas otras especies autóctonas (Costa et al., 2009; Gassó et al., 2012).

Además de las invasiones más conocidas, tanto de plantas como de animales, cada vez se están aportando más evidencias sobre el incremento de la susceptibilidad de los ecosistemas acuáticos de latitudes templadas a ser efectivamente colonizados por microorganismos de distribución tropical como consecuencia de los cambios en las condiciones ambientales provocados por el cambio climático (Paerl y Huisman, 2008; Carey et al., 2012; Lurling et al., 2017; Mantzouki et al., 2018). Este puede ser el caso de diversas especies de cianobacterias invasoras de origen tropical, muchas de ellas productoras de toxinas, que se van a ver favorecidas por el cambio climático en aquellos ambientes en los que se den condiciones adecuadas, tales como las de los lagos y lagunas eutrofizadas (Paerl y Otten, 2013; Rigosi et al., 2014; Thomas y Litchman, 2014). Estas toxinas, por ejemplo, podrían afectar a la fauna que abreva en medios lénticos, produciendo tanto efectos agudos como crónicos (Codd et al., 2017; Fastner et al., 2018).

LAS ACCIONES

El Plan Hidrológico del Guadalquivir (PHG) 2022-2027 no hace una referencia específica a las especies exóticas invasoras para el espacio protegido de Doñana. El Programa de Medidas contiene una medida genérica para "*Seguimiento y Control de Medidas ante las Especies Exóticas en la cuenca del Guadalquivir*" (ES050_3_Guadalquivir5471 con 2 millones de euros de presupuesto) y otra referida al "*Estudio piloto para el control de los briozoos y otros organismos con efectos adversos en filtros, conducciones y otras estructuras de distribución y aplicación del agua, tanto en riego como en abastecimiento*" (ES050_1_Guadalquivir0414 con 1,2 millones de euros de presupuesto).

El Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) del Espacio Natural de Doñana incluye una medida propuesta que se refiere a "*Control y vigilancia para evitar la expansión de especies exóticas invasoras ya detectadas o la aparición de otras nuevas*".

No hay referencia a acciones específicas en el Plan Rector de Uso y Gestión del Espacio Natural, que se limita a criterios de gestión y líneas de acción. El Plan de trabajo 2023 del Parque (Consejería de Sostenibilidad, 2022) incluye medidas como continuar las labores de control y vigilancia sobre especies exóticas invasoras, mantener la vigilancia para la detección temprana de introducción de nuevas especies de flora y fauna, como el caso del mapache (*Procyon lotor*), cuya presencia se ha constatado en arroyos cercanos a Doñana y ya se han observado algunas incursiones en el Espacio Natural Doñana, y eliminación cuando proceda. Igualmente, se mantendrá el seguimiento de especies de peces de reciente introducción como el pez gato (*Ameiurus melas*), y de otras especies. Por otro lado, se prevé aumentar la superficie de los hábitats de interés comunitario característicos de los ecosistemas fluviales y de ribera del Espacio Natural.

VALORACIÓN Y PROPUESTAS

El Plan hidrológico del Guadalquivir para el periodo 2022-2027 no establece ninguna medida específica para abordar la proliferación de especies exóticas en el ámbito de Doñana. De la información referida en el Programa de Medidas no se puede establecer si se van a desarrollar acciones concretas o no en Doñana.

Las administraciones competentes deberían:

- Reforzar la restauración de ecosistemas naturales, fomentando su resiliencia frente a invasiones de especies exóticas.

REFERENCIAS

- Bustamante J., Aragonés D., Afan I., Luque C.J., Perez-Vazquez A., Castellanos E.M., *et al.* (2016): Hyperspectral Sensors as a Management Tool to Prevent the Invasion of the Exotic Cordgrass *Spartina densiflora* in the Doñana Wetlands. *Remote Sensing* 8.
- Carey, C.C.; Ibelings, B.W.; Hoffmann, E.P.; Hamilton, D.P.; Brookes, J.D. (2012): Eco-physiological adaptations that favour freshwater cyanobacteria in a changing climate. *Water Res.* 2012, 46, 1394-1407.
- Céspedes, V., Coccia, C., Carbonell, J.A., Sánchez, M.I., Green, A.J. (2019): The life cycle of the alien boatman *Trichocorixa verticalis* (Hemiptera, Corixidae) in saline and hypersaline wetlands of south-west Spain. *Hydrobiologia* 827: 309-324 DOI: [10.1007/s10750-018-3782-x](https://doi.org/10.1007/s10750-018-3782-x)
- CHG (2021b): Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir y Plan de Gestión del Riesgo de Inundación tercer ciclo: 2022-2027. Evaluación Ambiental Estratégica de las medidas previstas en el Plan sobre el espacio Patrimonio de la Humanidad "Parque Nacional de Doñana". Borrador.
- CHG (2022): Plan Hidrológico de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir (2022-2027). ANEJO N° 15. El Cambio Climático en la cuenca del Guadalquivir. <https://www.chguadalquivir.es/tercer-ciclo-guadalquivir>
- Codd, G.A.; Meriluoto, J.; Metcalf, J.S. (2017): Introduction: Cyanobacteria, Cyanotoxins, Their Human Impact, and Risk Management. In Handbook of Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis; John Wiley y Sons, Ltd.: Hoboken, NJ, USA, 2017.
- Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul (2022): Plan Anual de Trabajo 2023 del Espacio Natural de Doñana.
- Costa J.C., Neto C., Arsenio P. y Capelo J. (2009): Geographic variation among Iberian communities of the exotic halophyte *Cotula coronopifolia*. *Botanica Helvetica* 119, 53-61. <https://doi.org/10.1007/s00035-009-0056-2>
- Fastner, J.; Beulker, C.; Geiser, B.; Hoffmann, A.; Kröger, R.; Teske, K.; Hoppe, J.; Mundhenk, L.; Neurath, H.; Sagebiel, D.; *et al.* (2018): Fatal Neurotoxicosis in Dogs Associated with Tychoplanktic, Anatoxin-a Producing *Tychonema* sp. in Mesotrophic Lake Tegel, Berlin. *Toxins* 2018, 10, 60.
- Gassó N., Thuiller W., Pino J. y Vilà M. (2012): Potential distribution range of invasive plant species in Spain. *NeoBiota* 12, 25-40.
- Horváth, Z., Lejeune, C., Amat, F., Sanchez-Matamoros, J., Vad, C.F., Green, A.J. (2018): Eastern spread of the invasive *Artemia franciscana* in the Mediterranean Basin, with the first record from the Balkan Peninsula. *Hydrobiologia* 822, 229-235. DOI: [10.1007/s10750-018-3683-z](https://doi.org/10.1007/s10750-018-3683-z)
- Lurling, M.; van Oosterhout, F.; Faassen, E. (2017): Eutrophication and Warming Boost Cyanobacterial Biomass and Microcystins. *Toxins* 2017, 9, 64.
- Mantzouki, E.; M. Lüring, J. Fastner, L. *et al.* (2018): Temperature effects explain continental scale distribution of cyanobacterial toxins. *Toxins* 2018, 10: 156.
- Paerl, H.W.; Huisman, J. (2008): Blooms like it hot. *Climate* 2008, 320, 57-58.
- Paerl, H.W.; Otten, T.G. (2013): Harmful cyanobacterial blooms: Causes, consequences, and controls. *Microb. Ecol.* 2013, 65, 995-1010.
- Paredes, I., Ramírez, F., Aragonés, D., Bravo, M. Á., Forero, M. G., y Green, A. J. (2021): Ongoing anthropogenic eutrophication of the catchment area threatens the Doñana World Heritage Site (South-west Spain). *Wetlands Ecology and Management*, 29(1), 41-65. <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09766-5>
- Prenda, J. (2015): Peces de las lagunas temporales de Doñana. En, Diaz-Paniagua (Coord.): El Sistema de Lagunas Temporales de Doñana, una red de hábitats acuáticos singulares: 215-217. Ed. Organismo Autónomo Parques Nacionales. ISBN: 978-84-8014-880-1.
- Prenda, J. (2022): Ictiofauna continental onubense. In Biología de Huelva: Naturaleza, Biodiversidad, Bioindicadores y Biomarcadores R. Torronteras (Ed.): 295-334. Universidad de Huelva. ISBN 978-84-18984-95-2.
- Rigosi, A.; Carey, C.C.; Ibelings, B.W.; Brookes, J.D. (2014): The interaction between climate warming and eutrophication to promote cyanobacteria is dependent on trophic state and varies among taxa. *Limnol. Oceanogr.* 2014, 59, 99-114.
- Sáez-Gómez, P., y Prenda, J. (2019): Updating the distribution data of recently introduced freshwater fish in the Guadalquivir river basin (Spain). *BiolInvasions Records*, 8(4), 924-932. <https://doi.org/10.3391/bir.2019.8.4.21>
- Sáez-Gómez, P., y Prenda, J. (2022): Freshwater fish biodiversity in a large Mediterranean basin (Guadalquivir River, S Spain): patterns, threats, status and conservation. *Diversity*, 14(10), 831. <https://doi.org/10.3390/d14100831>
- Sáez-Gómez, P., Ramos-Merchante, A., y Prenda, J. (2020): Multiscale effects on freshwater fish distribution in a highly disturbed Mediterranean-type basin: community-level and species-level responses. *Aquatic Ecology*, 54(3), 869-887. <https://doi.org/10.1007/s10452-020-09783-9>
- Soto-García, P., Florencio, M., Alonso, A., y Díaz Paniagua, C. (n.d.): *Aquatic alien species affect the macroinvertebrate diversity of the Doñana pond network EU ERANET Biodiversa project- ResPond-Managing and Restoring Biodiversity and Ecosystem Service of Temporary Pond Habitats View project LAGUNAS View project.* <https://doi.org/10.13039/501100011033>
- Thomas, M.K.; Litchman, E. (2016): Effects of temperature and nitrogen availability on the growth of invasive and native cyanobacteria. *Hydrobiologia* 2016, 763, 357-369.

CONCLUSIONES

Durante décadas, Doñana ha sido la joya de la corona de la conservación de la naturaleza en España, y uno de los lugares más emblemáticos de la biodiversidad de Europa. Sin embargo, el incremento de las presiones ligadas a la contaminación de sus aguas, la sobreexplotación del acuífero y el sobrepastoreo de la marisma han deteriorado significativamente los ecosistemas de Doñana, y en particular, aquellos dependientes del agua y que caracterizaban el destacado valor natural de este espacio único para la conservación de la biodiversidad.

Esto ha sido detectado y destacado desde hace décadas por un amplio grupo de personas vinculadas con el mundo de la investigación científica, y WWF España —tal y como ya hizo con su papel destacado en la creación del Parque Nacional en 1969— ha intentado impulsar estrategias y acciones para conservar sus ecosistemas y su biodiversidad, no sólo en el espacio protegido, sino también en su entorno cercano y en el estuario del Guadalquivir apostando por estrategias de desarrollo sostenible.

Sin embargo, la gestión de Doñana sigue ignorando las evidencias científicas que muestran su degradación en muchas de las decisiones que toma. Mientras que algunas políticas, como las propuestas de legalizar regadíos ilegales, se ha demostrado abiertamente promueven el deterioro de los valores naturales, muchos de los proyectos de conservación y restauración que se incluyen como acciones en los planes gubernamentales no se llegan a ejecutar. A modo de ejemplo, algunas acciones del proyecto “Doñana 2005” nunca han sido completadas. Tampoco se ha definido e implementado un régimen de caudales ecológicos completo en los cauces que alimentan a este espacio y que son esenciales para garantizar el aporte de agua a las diferentes zonas de la marisma. Las administraciones responsables no han sido capaces de controlar todas las extracciones de agua para regadío, lo que ha contribuido al avance del uso ilegal del agua en la zona, agravando las presiones sobre el agua del acuífero que sustenta buena parte de los hábitats de Doñana.

Las administraciones competentes tampoco han tenido estrategias y planes de acción robustos para preservar los ecosistemas y la biodiversidad frente a los impactos del cambio climático que ya se están haciendo patentes en Doñana, y que suponen una presión adicional para los hábitats y las especies, un impacto negativo significativo sobre la disponibilidad de aportaciones de agua suficientes a medio plazo.

Las propuestas que se han detallado en los apartados de este informe se pueden resumir en las siguientes:

1. Convertir el conocimiento científico más actual en la base para la gestión, restauración y seguimiento de Doñana frente a los retos para la conservación de sus valores naturales que tiene por delante.
2. Mejorar el conocimiento sobre las presiones (ej. medir de forma eficaz todas las extracciones de agua para el regadío) y sus efectos sobre los ecosistemas y su biodiversidad.
3. Recuperar las funciones y la estructura de los ecosistemas degradados de Doñana.
4. Desarrollar una estrategia de gestión del espacio que aborde las presiones actuales a las que está sometido y proporcione vías de adaptación al impacto del cambio climático que ya está siendo patente en Doñana.

WWF España defiende que es urgente resolver los problemas ambientales que afectan a Doñana de una forma integrada para detener las tendencias de deterioro preocupantes, asociadas a la insostenible gestión del territorio en la zona. Los efectos del cambio climático van a suponer una presión adicional a los valores naturales de Doñana y un gran reto para los gestores con responsabilidades en este lugar singular y esencial para la biodiversidad. Es momento de abrir los ojos ante las evidencias científicas que apuntan al deterioro de este espacio, para de una vez por todas, poner en marcha acciones ambiciosas y compromisos firmes con la recuperación de este humedal. No hay tiempo que perder.



© Diego López/ WWF-España



Trabajamos para conservar
la naturaleza para las
personas y la vida silvestre.

juntos es posible™

wwf.es

© 2024

© 1986 Logotipo del Panda de WWF-World Wide Fund for Nature (Inicialmente World Wildlife Fund).

® "WWF" es Marca Registrada de WWF.

WWF España, Gran Vía de San Francisco 8-D, 28005 Madrid. Tel.: 91 354 0578.
Email: info@wwf.es

Para más información visite wwf.es