

Desafíos y oportunidades en relación con la gestión del agua en España

Noviembre 2025

Con sede en



Con el apoyo de



European
Climate
Foundation



Este informe ha sido elaborado para **alinnea** por Gonzalo de la Cámara, economista especializado en recursos naturales, director académico y profesor adjunto en IE University.

alinnea es un Think & Action Tank de acción climática con sede en IE University y apoyado por la Fundación Europea para el Clima (ECF).



Con sede en



Con el apoyo de



Los hallazgos, análisis y conclusiones presentados en este informe se basan en la información disponible (obtenida de fuentes primarias o de otras investigaciones citadas en el informe, consideradas precisas y fiables) y en las metodologías aplicadas durante el proceso de investigación. Ninguna de las personas e instituciones colaboradoras se harán responsables de la interpretación que se haga de la información contenida en el presente documento, así como tampoco de ninguna pérdida consecuencia de la toma de decisiones de ningún tipo, sobre la base de la información contenida en el presente informe. Igualmente, el reconocimiento y/o agradecimiento a cualquier organización no implica su respaldo al texto final.

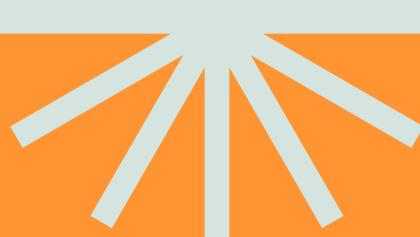
El presente informe ha sido elaborado con el apoyo de la Fundación Europea para el Clima. La responsabilidad de la información y los puntos de vista expuestos en este informe recae en los autores. La Fundación Europea para el Clima no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida o expresada en el presente documento.

Citar como: Fundación Instituto de Empresa (2025). Desafíos y oportunidades en relación con la gestión del agua en España. Serie Panoramas Sectoriales. Informe elaborado para alinnea por Gonzalo de la Cámara.

ÍNDICE



1. Introducción	4
2. Política y marco institucional del agua en España	5
3. Recursos hídricos y cambio climático: necesidades de investigación estratégica	8
4. Instrumentos económicos y gobernanza del agua	10
5. Digitalización y gestión inteligente del agua	11
6. Soluciones basadas en la naturaleza y restauración ecológica¹	12
7. Coordinación de políticas y gobernanza multinivel	13
8. Conclusiones y recomendaciones	13
Referencias	16





1

Introducción

Los recursos hídricos son fundamentales para la economía, la sociedad y los ecosistemas en España. En muchos sentidos, como se indica en este trabajo, se puede afirmar que el agua es, al tiempo, un factor limitante y una gran oportunidad para el desarrollo (Matthews et al., 2024).

En el contexto del trabajo de **Alinnea**, uno de cuyos pilares conecta la alimentación, los usos del suelo y la gestión del agua, es importante enfatizar sobre el hecho de que el agua sustenta la producción agrícola y alimentaria (Cazcarro et al., 2015), abastece de modo estable y con cobertura universal a una población levemente superior a los 49 millones de personas² (y a un flujo de 94 millones de visitantes internacionales en 2024³), y mantiene ecosistemas únicos desde humedales costeros hasta ríos de alta montaña, entre muchos otros usos del agua.

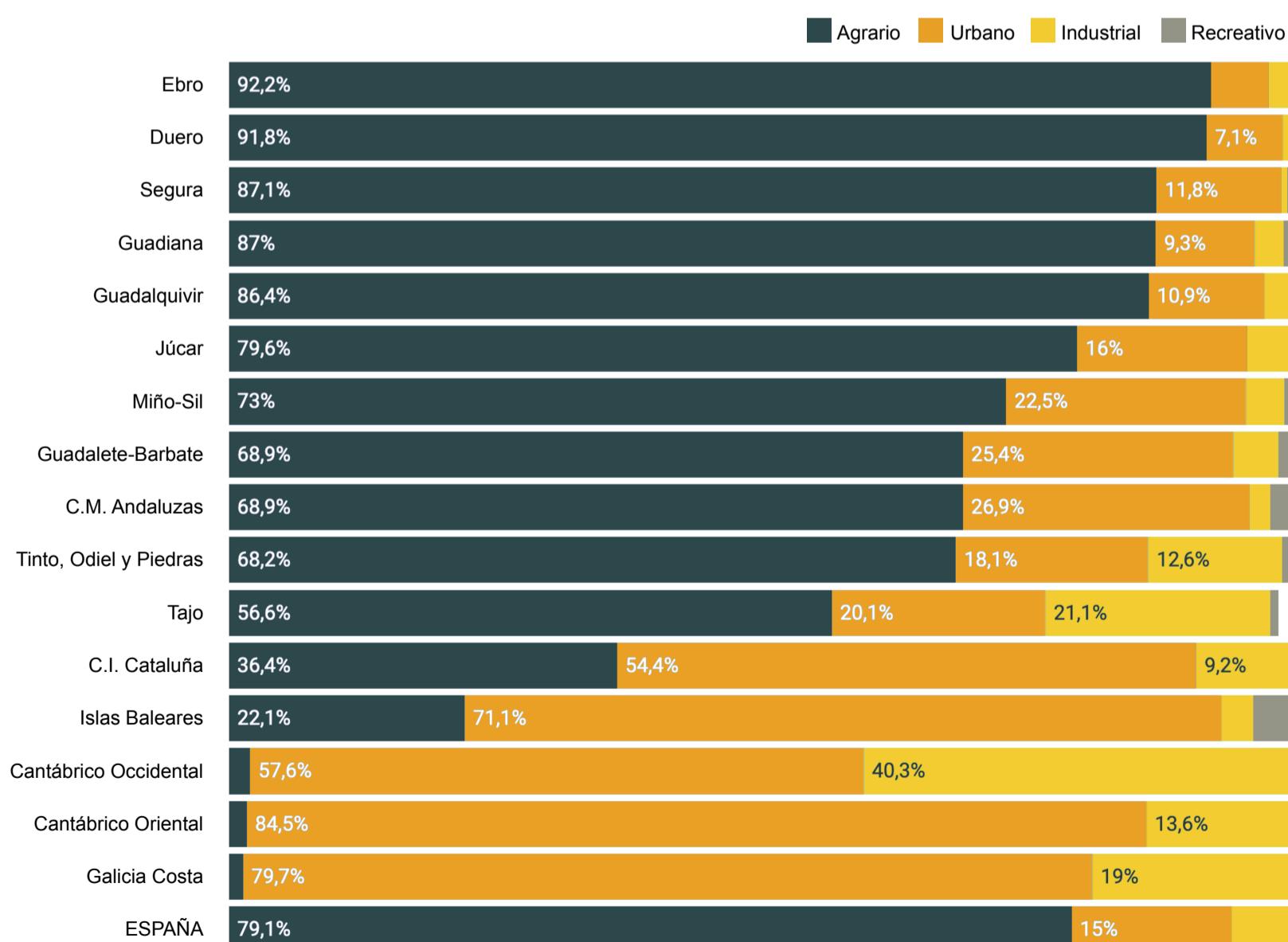
España, con un clima mayoritariamente mediterráneo en términos de población y superficie, enfrenta precipitaciones escasas e irregulares que inequívocamente y de manera creciente, condicionan la disponibilidad hídrica a largo plazo. Las presiones sobre el agua se intensifican por el efecto amplificador del cambio climático, el crecimiento urbano y de la actividad turística y un sector agrario intensivo. Los datos son elocuentes: casi el 80% del agua consumida en España se destina a la agricultura y la ganadería, frente al 15% al abastecimiento urbano (incluyendo el turismo) y poco menos del 6% a la industria manufacturera (ver Cuadro 1). En cuencas del interior, como el Ebro o el Duero, el agua para la agricultura de riego representa el 90% del consumo, reflejando la fuerte dependencia de los

sistemas alimentarios de la disponibilidad de agua (ver Cuadro 2).

Esta realidad convierte a la seguridad hídrica en un elemento inseparable de la seguridad alimentaria del país y, sobre todo, de la capacidad del sistema alimentario español para contribuir al valor agregado bruto de la agricultura de la Unión Europea. A finales de 2019 esta aportación era del 14,4%, tercera en la UE: España es responsable de la mitad de la producción de oliva y un tercio de la de fruta en la UE. En realidad, la seguridad hídrica es un factor esencial para la resiliencia de la economía española en su conjunto. Sin embargo, el avance del cambio climático augura precipitaciones mucho más volátiles en buena parte de la península, menores aportaciones en la cabecera de algunas cuencas y eventos extremos más frecuentes e intensos, agravando sequías e inundaciones. En este contexto, España se ve obligada a replantear la gestión del agua con un enfoque estratégico: integrar la adaptación al cambio climático, proteger y restaurar los ecosistemas acuáticos y asegurar el nexo agua-alimentos-energía.

En las siguientes secciones se analiza el marco institucional y económico de la gestión del agua en España, las necesidades de investigación para enfrentar el cambio climático desde esta perspectiva, y las soluciones innovadoras (tanto tecnológicas como basadas en la naturaleza como de carácter institucional), que pueden fortalecer la gobernanza del agua en el país.

Cuadro 1. Usos principales del agua en las cuencas hidrográficas peninsulares



Fuente · Infografía R1VE a partir de datos de MIECO (2024).

2. 49.077.984 habitantes a 1 de enero de 2025, según la Estadística Continua de Población, Instituto Nacional de Estadística (INE).

3. 93.799.505 visitantes internacionales en 2024, de acuerdo con la Estadística de Movimientos Turísticos en Fronteras (FRONTUR), Instituto Nacional de Estadística (INE).

Cuadro 2. Demandas por usos de agua en las cuencas hidrográficas peninsulares

Volúmenes actuales, en hm³, según los planes hidrológicos 2021-2027

Cuenca	Agrario	Urbano	Industrial	Recreativo
Ebro	8.141	483	208	
Duero	3.346	260	39	
Guadalquivir	3.213	405	103	
Júcar	2.439	490	134	1
Tajo	1.993	707	744	27
Guadiana	1.759	189	55	19
Segura	1.476	200	9	11
C.M. Andaluzas	913	357	25	30
C.I. Cataluña	379	567	96	
Miño-Sil	324	100	16	4
Guadalete-Barbate	284	105	17	7
Tinto, Odiel y Piedras	182	48	34	3
Cantábrico Occidental	7	205	143	1
Cantábrico Oriental	4	196	32	1
Galicia Costa	3	172	41	

Fuente · Infografía RTVE a partir de datos de MITECO (2024).



Política y marco institucional del agua en España

La gobernanza del agua en España se caracteriza esencialmente por la planificación hidrológica a partir de la cuenca como unidad de gestión, alineada con la Directiva Marco del Agua (DMA) de la Unión Europea (2000/60/EC). La DMA estableció el objetivo ambicioso de alcanzar el **buen estado⁴ ecológico y químico de todas las masas de agua** en 2015, plazo ampliado posteriormente hasta 2027, y consagró principios como la sostenibilidad y el no deterioro de las masas de agua. España transpuso estos principios a su legislación (Ley de Aguas, Real Decreto Legislativo 1/2001, y normativa derivada) y adoptó un modelo de gestión descentralizado a través de las **Confederaciones Hidrográficas**, el nombre que en España adoptan las autoridades de cuenca.

Estas entidades autónomas, directamente dependientes del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), a través de su Dirección General del Agua, coordinan la gestión del agua en las demarcaciones hidrográficas intercomunitarias, es decir, aquellas cuencas hidrográficas que afectan a más de una Comunidad Autónoma. Creadas originariamente en 1926 (en el Ebro y el Segura, en primer lugar), son organismos de cuenca que coordinan a la

Administración General del Estado, las Comunidades Autónomas, las Administraciones Locales, los usuarios del agua y organizaciones ambientales y de la sociedad civil en cada demarcación hidrográfica⁵.

Su funcionamiento se basa en la elaboración y ejecución de **Planes Hidrológicos de Cuenca (PHC)** sexenales, sometidos a revisión periódica y participación pública. La planificación por cuencas ha permitido integrar la gestión de recursos superficiales y subterráneos, alineando las decisiones con las realidades ecológicas de cada río más que con límites administrativos, un logro no menor y que no puede encontrarse, de hecho, en la mayor parte de los países del mundo. No obstante, también presenta retos para la consistencia interna del sistema a escala nacional y para la coordinación intercuencas, especialmente ante demandas competitivas y crecientes (agraria, urbana, ambiental, etc.) y fenómenos extremos que trascienden las fronteras de las cuencas y, en sentido estricto, incluso las fronteras nacionales en sí. Parte de estas dificultades deriva de una concepción de la planificación hidrológica que a veces parece equivalente a la calibración de modelos hidrológicos (para ajustar la disponibilidad del recurso a la demanda, a veces sin un análisis profundo de la segunda), en lugar de a la planificación

4. Según la Directiva Marco del Agua de la UE (DMA, 2000/60/CE), el buen estado de las masas de agua se define de manera diferenciada para aguas superficiales y subterráneas. En el caso de las aguas superficiales (ríos, lagos, aguas de transición y costeras), alcanzar el buen estado implica cumplir simultáneamente con el buen estado ecológico y el buen estado químico. El buen estado ecológico se determina en función de la calidad biológica (presencia y abundancia de fitoplancton, macrófitos, invertebrados bentónicos y peces), las condiciones hidromorfológicas (régimen de caudales, continuidad fluvial) y las condiciones fisicoquímicas (niveles de nutrientes, oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, entre otros), permitiendo solo una ligera desviación respecto a las condiciones de referencia. Por su parte, el buen estado químico exige que las concentraciones de sustancias prioritarias, como metales pesados y pesticidas, no superen los valores límite establecidos en los estándares de calidad ambiental (EQS) de la directiva. En cuanto a las aguas subterráneas, el buen estado se evalúa en términos cuantitativos y químicos. El buen estado químico implica que la concentración de contaminantes como nitratos, pesticidas o metales pesados no supere los umbrales fijados y que no se produzca salinización o alteraciones que afecten a ecosistemas dependientes. El buen estado cuantitativo requiere que la extracción de agua no supere la recarga natural del acuífero y que los niveles piezométricos se mantengan estables sin afectar a ecosistemas asociados, como humedales.

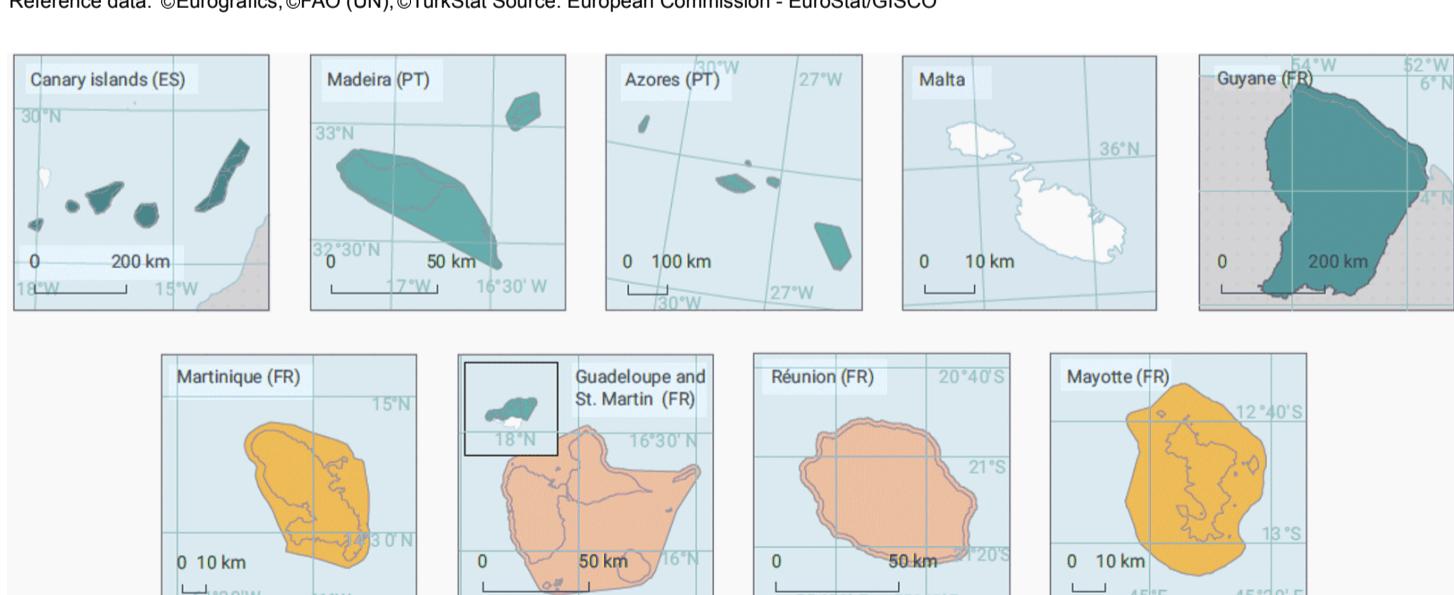
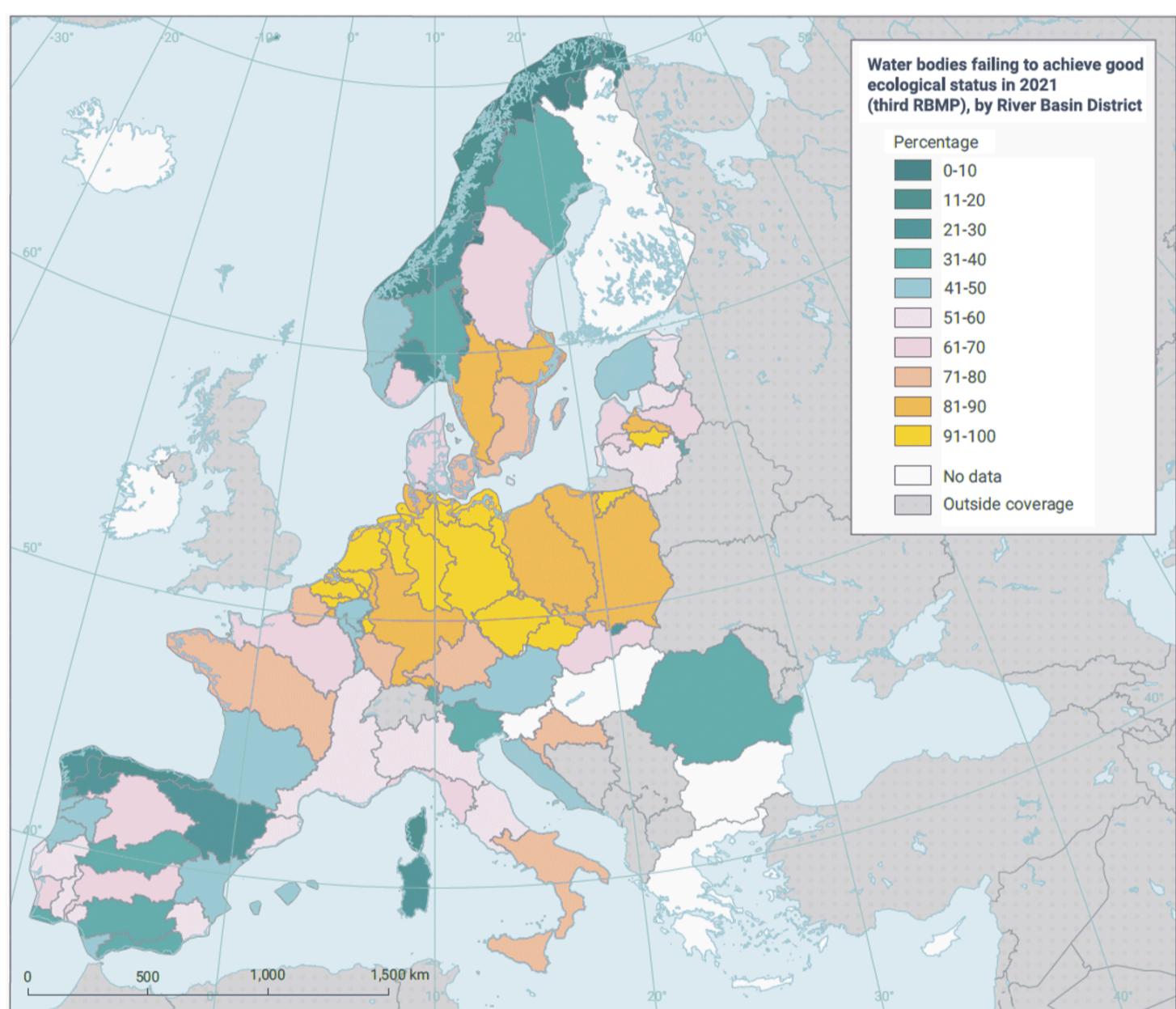
5. Una demarcación hidrográfica es la unidad de gestión del agua basada en una cuenca hidrográfica, incluyendo tanto las aguas superficiales (ríos, lagos, aguas de transición y costeras) como las aguas subterráneas asociadas. Se define en el artículo 2(15) de la Directiva Marco del Agua como "una zona terrestre y marítima constituida por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas subterráneas y costeras asociadas, designada como principal unidad para la gestión de las cuencas hidrográficas"

de diferentes actividades económicas y otros usos del agua sobre el territorio que generan presiones sobre los ecosistemas acuáticos.

En la actualidad, España se encuentra en el **tercer ciclo de planificación (2021–2027) bajo la DMA**, con los planes hidrológicos de cuenca aprobados en el periodo 2022-2023. Una evaluación crítica de estos planes (EC, 2025) revela avances y déficits persistentes. Por un lado, la incorporación de condicionantes ambientales ha mejorado respecto a décadas pasadas, cuando la política de agua parecía la sublimación de la política de desarrollo agrícola; por otro, subsisten deficiencias estructurales señaladas desde ciclos previos. De hecho, tras más de 20 años desde la aprobación de la DMA, alrededor de la mitad de las masas de agua españolas no alcanza todavía el buen estado ecológico, y es muy probable que una parte importante de ellas no lo logre en 2027 (ver Mapa 1). La salud media de las masas de agua superficiales de la UE es crítica, ya que solo el 39,5% se encuentran en buen estado ecológico y solo el 26,8% alcanzan un buen estado químico (EEA, 2024). Esta realidad contraviene el objetivo vinculante de la directiva, anticipando la necesidad de prórrogas hasta 2033 (el máximo permitido) y medidas mucho más ambiciosas en los próximos años. La Comisión Europea advirtió que el uso insostenible del agua sigue siendo un problema grave en España, exacerbado por el clima más seco e incierto; por ejemplo, la sobreexplotación de aguas para riego contribuye significativamente al incumplimiento de los objetivos ambientales.

Mapa 1. Masas de agua que fallaban en cumplir el buen estado ecológico en 2021

Tercer ciclo de planificación, por demarcación hidrográfica.



Fuente · EEA (2024).

6. Una designación que se otorga a determinadas masas de agua con el objetivo de preservar su estado natural y protegerlas de actividades que puedan alterarlas. Esta figura está regulada en los artículos 244 bis y siguientes del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

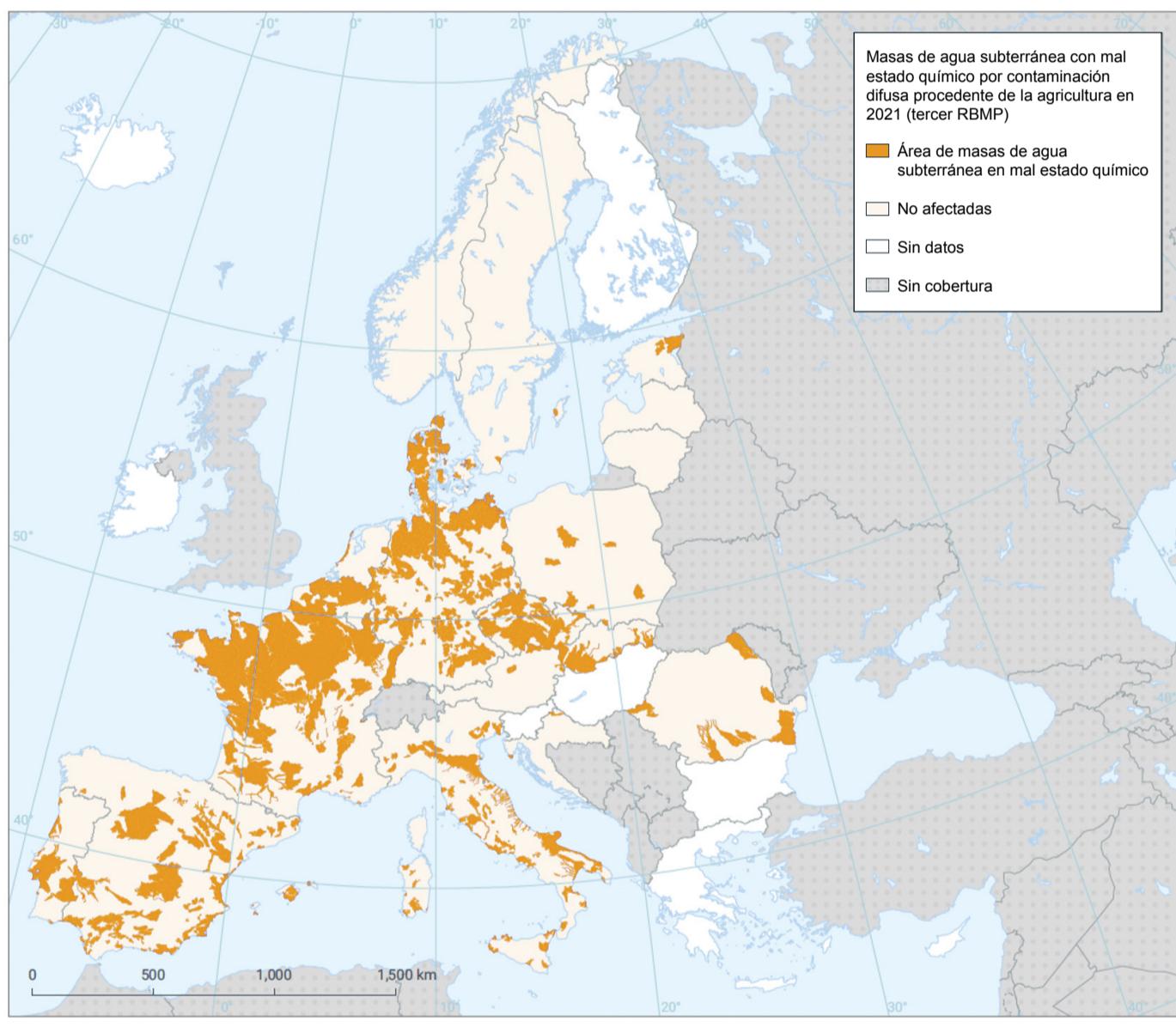
En efecto, las **extracciones excesivas** (es decir, por encima de la capacidad natural de recarga) son responsables de que no se alcance el buen estado cuantitativo o ecológico en un 25% de las masas de agua subterránea y un 11% de las superficiales en España. Este dato evidencia la tensión entre la demanda (principalmente agrícola) y los límites sostenibles de la disponibilidad a largo plazo, tensión que los planes hidrológicos actuales aún no resuelven plenamente.

Los planes hidrológicos 2021–2027 introducen nuevas herramientas y medidas, incluyendo caudales ecológicos más exigentes en muchos ríos, mayor control de vertidos y programas de ahorro y reutilización de aguas regeneradas en distintas cuencas. Sin embargo, hay evidencia de numerosas insuficiencias. La Comisión Europea (EC, 2025) destacó el uso extensivo de excepciones y prórrogas en los PHC españoles, retrasando la consecución de objetivos predeterminados. Asimismo, la consideración del cambio climático en la planificación ha sido parcial: si bien todos los

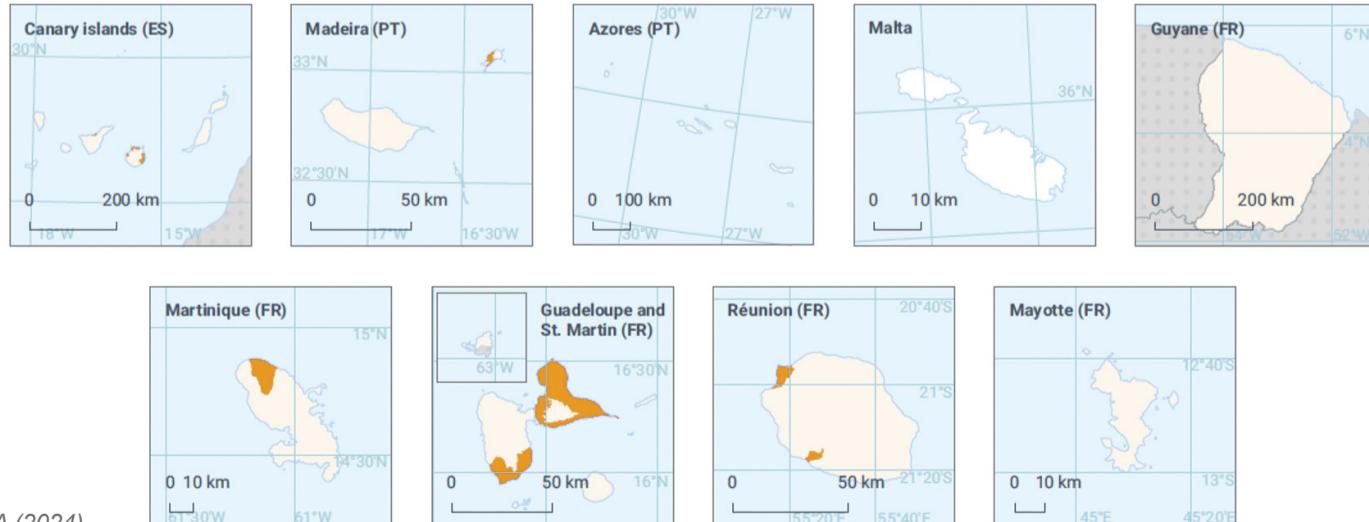
planes incluyen proyecciones de escasez a largo plazo, en la práctica muchos siguen autorizando volúmenes de extracción que no reflejan la reducción esperada de recursos hídricos. Casos paradigmáticos y muy controvertidos en los últimos años como la sobreexplotación del acuífero de Doñana (Andalucía) o la contaminación del Mar Menor (Región de Murcia) evidencian lagunas en la aplicación efectiva de las normas. A pesar de la creación de zonas protegidas y figuras como las reservas hidrológicas⁶, ha faltado una ejecución estricta que detenga el deterioro. Por ejemplo, España padece uno de los problemas más graves de **contaminación difusa por nitratos** en Europa (ver Mapa 2): es el segundo país de la UE con mayores concentraciones de nitratos en aguas subterráneas (Rodríguez-Berbel et al., 2022), solo por detrás de Alemania. Esto se debe principalmente a la escorrentía de fertilizantes de origen agrícola, mostrando la débil coordinación entre la política de agua y la agrícola hasta ahora, que deja a la primera, en el mejor de los casos, un papel de remediación de impactos.

Mapa 2. Masas de agua subterránea con mal estado químico por contaminación difusa de la agricultura en 2021

Tercer ciclo de planificación, por demarcación hidrográfica.



Reference data: ©Eurographics, ©FAO (UN), ©TurkStat Source: European Commission - EuroStat/GISCO



Fuente · EEA (2024).

7. La iniciativa de la Unión Europea para mejorar la resiliencia del agua se denomina oficialmente Estrategia Europea de Resiliencia del Agua (European Water Resilience Strategy). Este plan integral, de carácter multianual y multisectorial, tiene como objetivo abordar los desafíos relacionados con el agua en Europa, con hitos establecidos para 2030 y 2040.

8. El Comité Económico y Social Europeo (CESE) empezó a trabajar en el Pacto Azul en enero de 2023. En septiembre de 2023, la iniciativa cobró impulso político con un llamamiento conjunto del CESE y el Parlamento Europeo, que se manifestó en una carta firmada conjuntamente a los jefes de Estado o de Gobierno de la UE en la que se pedía a los Estados miembros que apoyaran y adoptaran un ambicioso Pacto Azul Europeo. Además, a principios de septiembre del 2023, Oliver Röpke, presidente del CESE, escribió a la presidenta de la Comisión Europea, Ursula von der Leyen, pidiéndole que incluyera el agua entre las principales prioridades de la agenda de la Comisión Europea, algo que ocurrió con la nueva Comisión, pasadas las elecciones. A raíz de esto se produjo la inclusión de la Estrategia antes señalada entre las prioridades de la Comisión para 2024 y su publicación en junio del 2025.

De cara al **cuarto ciclo de planificación (2028–2034)**, se vislumbran cambios importantes en el panorama institucional y estratégico.

En primer lugar, 2027 marca (en principio), como se señalaba previamente, el fin del plazo de la DMA para lograr el buen estado, por lo que 2028–2034 operaría bajo un régimen de exenciones finales y nuevas metas que la UE podría fijar. Al mismo tiempo, la Comisión Europea ha publicado en junio del 2025 su Estrategia Europea de Resiliencia Hídrica⁷ a nivel europeo para reforzar la seguridad hídrica más allá de la DMA (EC, 2025b). España deberá adaptar sus planes al contexto de crisis climática intensificada y a eventuales nuevas directrices comunitarias (como el anunciado Pacto Azul Europeo⁸).

En segundo lugar, la necesidad de integrar la gestión de inundaciones (Directiva 2007/60/CE) con la planificación hidrológica será cada vez mayor, logrando sinergias entre medidas de prevención de riesgos y objetivos ambientales.

En tercer lugar, se requerirá un modelo más adaptativo y basado en ciencia: la investigación hidrológica y climática deberá traducirse de modo más ágil en políticas (por ejemplo, actualizando concesiones de agua en función de esce-

narios de menor disponibilidad, un aspecto extraordinariamente relevante para España). También habrá que fortalecer la participación pública y la transparencia en la toma de decisiones, empoderando a usuarios y actores locales para un aumento de la corresponsabilidad en la gestión del recurso.

Finalmente, en la esfera internacional, España tendrá que reforzar la cooperación con países vecinos, especialmente Portugal, con quien comparte las cuencas del Duero, Tajo, Guadiana y Miño, a través del Convenio de Albufeira⁹. Hasta ahora, la colaboración hispanoportuguesa en gestión de sequías y escasez ha sido limitada y debe profundizarse en ella para afrontar juntos las variaciones hidrológicas extremas.

En resumen, el marco institucional español del agua se encuentra ante un punto de inflexión: tras décadas de mejora incremental, los desafíos combinados de la ineludible adaptación al cambio climático, las presiones del sector agrario y las mayores exigencias ambientales obligan a replantear instrumentos, rediseñar incentivos y reformular enfoques para garantizar la sostenibilidad en la gestión del agua a largo plazo.

3

Recursos hídricos y cambio climático: necesidades de investigación estratégica

El cambio climático actúa ya como un multiplicador de riesgos hídricos en España, un país con un clima predominantemente templado, con diferentes variedades (ver Tabla 1). Las proyecciones científicas más recientes (IPCC, 2023) confirman tendencias preocupantes para la región mediterránea: es muy probable una **disminución de la precipitación total en las regiones del sur y centro de España, acompañada de una mayor aridez y sequías más frecuentes e intensas**. A medida que las temperaturas medias suben (el país se ha calentado ~1,3°C desde la era preindustrial), se intensifica también la tasa de evapotranspiración (ETP), reduciendo la recarga de acuíferos y el caudal de ríos.

Tabla 1. Clasificación climática de España (tipología Köppen-Geiger)¹⁰

Tipo de Clima	Zonas de España	Características
Mediterráneo (Csa, Csb)	Costa mediterránea, Baleares, Andalucía, Extremadura, Castilla-La Mancha, interior peninsular (Madrid, Valladolid)	Veranos calurosos y secos, inviernos suaves, lluvias esperadas en otoño y primavera
Oceánico (Cfb, Cfc)	Norte y noroeste de España (Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco, Navarra)	Temperaturas suaves todo el año, lluvias abundantes y regulares
Montaña (Dfb, Dfc, ET)	Pirineos, Sistema Central, Cordillera Cantábrica, Sierra Nevada	Inviernos fríos, veranos frescos, precipitaciones frecuentes, nieve en invierno
Semiárido (BSk, BSh)	Sureste peninsular (Murcia, Almería, Alicante, Valle del Ebro)	Precipitaciones escasas, temperaturas altas en verano y moderadas en invierno
Subtropical (Cfa, Af)	Islas Canarias (especialmente Tenerife y Gran Canaria)	Temperaturas suaves todo el año, precipitaciones variables según altitud y orientación

Fuente · Elaboración propia.

9. "Convenio sobre cooperación para la protección y el aprovechamiento sostenible de las aguas de las cuencas hidrográficas hispanoportuguesas" (BOE-A-2000-2882), fue firmado en Albufeira, Portugal, el 30 de noviembre de 1998, y que entró en vigor en febrero de 2000.

10. La clasificación climática de Köppen-Geiger es un sistema de clasificación climática que categoriza los climas de la Tierra en función de temperatura y precipitación, con criterios bioclimáticos que reflejan la vegetación natural asociada a cada clima. Fue desarrollado inicialmente por Wladimir Köppen en 1884 y refinado posteriormente por Rudolf Geiger. Su objetivo principal es delimitar regiones climáticas de manera objetiva utilizando datos meteorológicos. En España, el más extenso es el Csa (mediterráneo con verano seco y caluroso). En zonas más altas del interior predomina el Csb (mediterráneo con verano seco y templado). En la franja atlántica del norte se encuentra el Cfb (oceánico). En áreas de montaña el clima varía entre el Dfc (subártico) en las cumbres más altas y el ET (tundra) en los picos más elevados. En el sureste predomina el BSh (semiárido cálido). Finalmente, en Canarias, se encuentran climas que van desde el BWh (desértico cálido) en Lanzarote y Fuerteventura hasta el Csa y Csb en las zonas más elevadas de islas como Tenerife y La Palma.

Una serie de estudios nacionales ha venido proyectando descensos significativos en la disponibilidad hídrica hacia mediados y finales de siglo.

CEDEX (2010) ya incluía proyecciones que indican una reducción generalizada de las precipitaciones conforme avanza el siglo XXI, lo que resultaría en una disminución de la disponibilidad de agua. Específicamente, bajo el escenario de emisiones A2 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés)¹¹, se anticipaban descensos de precipitación media en España del -5% para el periodo 2011-2040, -9% para 2041-2070 y -17% para 2071-2100. CEDEX (2017) estimaba igualmente, en la mayor parte de sus simulaciones, descensos de precipitación, siendo mayores estos descensos en el cuadrante suroeste de la Península y en los archipiélagos. Para el conjunto de España, la media de los cambios para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 son respectivamente del -2% y -4% para 2010-2040, -6% y -8% para 2040-2070 y -7% y -14% para 2070-2100. Los aumentos en ETP para los RCP 4.5 y 8.5¹² son respectivamente del 3% y 4% para 2010-2040, 7% y 10% para 2040-2070 y 9% y 17% para 2070-2100.

Yeste et al. (2021), por su parte, advertían, para una región tradicionalmente ajena a los desafíos de escasez estructural de agua (el norte peninsular), que los ríos del Pirineo podrían reducir su caudal hasta en un 15% para 2040, observándose reducciones anuales de hasta el 40% en varias partes de la cuenca del Duero para el periodo 2071-2100, bajo el escenario RCP8.5.

Por su parte, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2021-2030) estima una reducción del recurso hídrico renovable del orden del 17% para 2040-2070 en escenarios de altas emisiones, con pérdidas más acusadas en cuencas del sur y este peninsular. La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2023) alerta que, de no mitigarse las emisiones, España enfrentará oleadas de calor más prolongadas, lluvias torrenciales concentradas y periodos secos más extensos, alterando el ciclo hidrológico. Estas tendencias ya se están materializando: la última década ha visto varios de los años más secos desde que hay registros (2017, 2019 y 2022, por ejemplo) y eventos extremos opuestos como la depresión aislada en niveles altos (DANA) de octubre de 2024, fundamentalmente en la Comunidad Valenciana. La variabilidad estacional también aumenta, dificultando la gestión tradicional basada en promedios históricos.

Frente a estas proyecciones, surgen **necesidades de investigación estratégica** para orientar la gestión hídrica. Una prioridad es afinar las proyecciones climáticas regionalizadas enfocadas en variables hidrológicas críticas: precipitación estacional, flujos de escorrentía, recarga de acuíferos y frecuencia de eventos extremos (sequías e inundaciones). Los escenarios del IPCC deben traducirse en impactos hidrológicos concretos por cuenca (downscaling¹³), considerando distintos horizontes (2030, 2050, 2100) y rangos de incertidumbre. Además, se requiere investigar la respuesta de los ecosistemas acuáticos al estrés combinado de clima y usos humanos, identificando umbrales ecológicos (por ejemplo, temperaturas de agua letales para ciertas especies, caudales mínimos para evitar pérdidas adicionales de biodiversidad, en un contexto en el que las tasas de destrucción de ésta son más altas que en ecosistemas marinos y terrestres). Esta ciencia aplicada es clave para definir caudales ecológicos dinámicos que incorporen el cambio climático, en lugar de valores estáti-

cos obsoletos bajo nuevas condiciones. Del mismo modo, en el ámbito de los sistemas alimentarios, la investigación agronómica debe anticipar cómo la disminución de la disponibilidad de agua afectará los rendimientos y qué prácticas adaptativas son eficaces. Diversos estudios apuntan a impactos severos: por ejemplo, se proyecta una caída del rendimiento del olivar del orden del 20% en España bajo escenarios de clima más cálido y seco (Gratsea et al., 2022), mientras que cultivos herbáceos básicos como el trigo podrían reducir su productividad más de un 10% en torno a 2050 (Funes et al., 2021). El IPCC recopiló evidencias de descensos en los rendimientos de numerosos cultivos mediterráneos (trigo, cebada, hortalizas, frutas) asociados al aumento de temperaturas y estrés hídrico. Esto supone un riesgo para la seguridad alimentaria y económica. Por tanto, urge investigar **variedades más resistentes a la sequía, técnicas de riego de precisión y estrategias de siembra adaptadas al nuevo clima**.

En cuanto a la **gestión de sequías**, España cuenta con amplia experiencia en planes especiales de sequía y observación de indicadores (como las reservas en embalses). No obstante, el carácter progresivo del cambio climático exige actualizar estos instrumentos. Un foco de investigación es mejorar la **predicción estacional y la detección temprana de sequías meteorológicas e hidrológicas, integrando modelos climáticos y teledetección**. La sequía de 2022-2023, por ejemplo, alcanzó tal gravedad que a principios de 2024 el agua embalsada había caído a solo el 45,2% de la capacidad total (25.356 hm³ almacenados), con cuencas como Guadalquivir, Guadiana, Segura o cuencas internas de Cataluña en niveles críticos (entre el 16% y el 20% de capacidad). Disponer de sistemas de alerta que combinen datos climáticos, de humedad del suelo y de caudales podría mejorar la anticipación y la gestión preventiva (restrictiones escalonadas, quizás algunos trasvases temporales, puesta en marcha de pozos de emergencia, etc.). Además, la planificación integrada debe contemplar **escenarios de sequía prolongada multianual**, no solo episodios cortos: ¿están los sistemas preparados para una posible "megasequía" de una década como las ocurridas históricamente en España o de modo más reciente en países como Australia y Chile, con características bioclimáticas muy parecidas a las de las cuencas mediterráneas? Responder esto requiere estudios paleoclimáticos y simulaciones de largo plazo que rebasan los supuestos tradicionales.

En paralelo, el **riesgo de inundaciones** también se amplifica con el calentamiento global, debido a eventos de lluvia extrema más frecuentes en ciertos períodos. España ha sufrido inundaciones devastadoras. La gestión del riesgo de inundaciones se aborda mediante los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI) que complementan a los PHC, pero integrar ambas planificaciones sigue siendo un desafío. La investigación estratégica debe proporcionar herramientas para el **diseño de infraestructuras resilientes** y la ordenación del territorio con criterios de riesgo climático. Por ejemplo, modelizaciones hidráulicas de avenidas extremas bajo distintos escenarios climáticos ayudarán a redefinir las zonas inundables y a actualizar mapas de riesgo. Esto resulta crítico para evitar nuevos desarrollos urbanos en áreas de riesgo y para dimensionar obras de defensa (diques, encaramamientos) adecuadamente. A la vez, es imprescindible estudiar **soluciones basadas en la naturaleza** (restauración de llanuras de inundación, humedales de laminación) como medidas preferentes por sus beneficios ecológicos. La adaptación al cambio climático en materia de inundaciones implica también mejorar los sistemas de alerta temprana meteorológica e hidrológica para protección civil.

11.

12. Los escenarios RCP (Representative Concentration Pathways) son trayectorias de concentración de gases de efecto invernadero (GEI) utilizadas en los informes del IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) para modelizar posibles futuros climáticos. Representan diferentes niveles de forzamiento radiativo (el cambio en la energía neta en la atmósfera debido a los GEI) expresados en vatios por metro cuadrado (W/m²) para el año 2100. RCO 4,5 representa un escenario de mitigación intermedia; RCO 8,5 uno de altas emisiones o inacción climática.

13. El downscaling (desescalado) de modelos climáticos regionales (RCMs) es un proceso que permite refinar las proyecciones climáticas obtenidas de modelos climáticos globales (GCMs, General Circulation Models) para proporcionar información más detallada a nivel local o regional. Dado que los GCMs operan con una resolución espacial gruesa (típicamente entre 100 y 250 km), el downscaling es esencial para evaluar los impactos del cambio climático en escalas más pequeñas, relevantes para la toma de decisiones en sectores como la agricultura, la gestión del agua y la planificación urbana.

En síntesis, la planificación integrada del agua bajo el cambio climático demanda investigación de frontera que aborde sequías e inundaciones de forma conjunta, optimizando las reglas de explotación de embalses para ambos extremos. Un enfoque de gestión del riesgo climático debería permear las políticas hídricas: en lugar de reaccionar a las catástrofes, prepararse con anticipación informada por la mejor evidencia disponible. Avanzar de la gestión de crisis a la de riesgos y oportunidades es un imperativo. Esto incluye considerar medi-

das desafiantes y con no poco nivel de controversia, pero posiblemente necesarias, como la reestructuración de demandantes (por ejemplo, la reducción permanente de superficies de riego en zonas insostenibles) basada en estudios de balance hídrico futuro, pero sobre todo disponer de una mirada más completa y compleja sobre la seguridad hídrica a nivel de cuenca.

4

Instrumentos económicos y gobernanza del agua

La economía del agua desempeña un papel crucial en la gestión sostenible, al influir en los incentivos de uso y en la disponibilidad financiera para infraestructuras y otras medidas de gestión. Un principio central de la DMA es la **recuperación de costes** de los servicios del agua, incluidos los costes ambientales y del recurso, lo cual se implementa principalmente a través del sistema de tarifas. En España, sin embargo, los precios del agua han sido tradicionalmente bajos en comparación con la media europea, especialmente en el sector agrícola, gracias, entre otras cosas, a décadas de inversiones públicas y subsidios implícitos.

Esta brecha tarifaria indica que actualmente el precio no cubre plenamente los costes de los servicios, incumpliendo las recomendaciones de la Comisión Europea y de la OCDE. De hecho, la OCDE advirtió en 2024 que los precios del agua en España no reflejan la escasez del recurso, particularmente en usos agrarios, e instó a promover la eficiencia en el uso de agua mediante señales económicas más eficaces (Farnault and Leflaive, 2024).

Existen varias vías para mejorar la sostenibilidad financiera del agua. Una, quizás la más obvia, es **revisar las tarifas** (niveles, pero sobre todo estructuras) tanto urbanas como agrícolas para avanzar hacia mayores niveles de recuperación de costes, como un medio para un fin. Esto incluye, en núcleos urbanos, incorporar la depreciación de infraestructuras y los costes ambientales (por ejemplo, de tratamientos avanzados de agua en alta y de efluentes de aguas residuales); en agricultura, establecer cánones de riego que reflejen el valor del agua y penalicen consumos excesivos al tiempo que premian consumos eficientes. La evidencia internacional sugiere que la tarificación escalonada (bloques por volumen de consumo) puede proteger un uso básico asequible a la vez que cobra progresivamente más por volúmenes más altos. No obstante, cualquier aumento tarifario enfrenta resistencias políticas y sociales. Por ello, se plantean soluciones graduales y compensatorias: por ejemplo, reinvertir lo recaudado de nuevos cánones directamente en modernización de regadíos y tecnologías de ahorro que beneficien a los propios agricultores, de modo que paguen más pero también consuman menos.

Este tipo de modelos **público-privados de financiación** puede ser eficaz: el sector público fija los objetivos y marcos (por ejemplo, reducción de extracciones), mientras que se incentiva la inversión privada en eficiencia (mejores equipamientos, sensores, inteligencias artificiales, etc.). Ya existen casos en que comunidades de regantes, con apoyo estatal, han cofinanciado la tecnificación de sus redes a cambio de concesiones más seguras, pero con menos dotación total, logrando una situación simbiótica en ahorro y productividad.

Otro instrumento económico que podría resultar relevante (sobre todo a nivel intra-cuenca) son los **bancos de agua y los mercados de derechos de uso y aprovechamiento de agua (contratos de cesión)**, que en España han tenido un desarrollo muy limitado. La Ley de Aguas (artículo 67) permite la cesión de derechos entre usuarios, y se han implementado centros de intercambio en cuencas como la del Segura (Ley 1/2018), especialmente en épocas de sequía. Sin embargo, persisten rigideces legales y falta de transparencia que han impedido un mercado líquido bien entendido (no tanto como un mercado donde se dan muchas transacciones o se intercambia un volumen alto de agua, sino uno en el que se aprovecha todo el potencial para mejorar la eficiencia mediante reasignación). La apertura de mercados de agua bien regulados en pro del interés general podría mejorar la asignación en situaciones concretas de escasez, permitiendo trasladar el recurso hacia usos de mayor valor económico (por ejemplo, de cultivos forrajeros de bajo valor a abastecimiento urbano o a cultivos hortícolas de alto valor). Para que estos instrumentos funcionen, sin embargo, la gobernanza debe garantizar que no se produzcan impactos negativos en terceros ni en el medioambiente (por ejemplo, evitando que se especule con derechos de uso y aprovechamiento de aguas sobreexplotadas) (Delacámarra et al., 2014).

En el **nexo agua-energía**, la integración de políticas ofrece oportunidades de sostenibilidad (De Roo et al., 2021). Por un lado, los servicios de agua demandan energía intensivamente: bombear agua subterránea, transportar caudales por grandes acueductos o desalar agua de mar pueden ser procesos energéticamente exigentes. Se estima que desalar 1 m³ de agua marina requiere en promedio en torno a 3–4 kWh de electricidad, y el bombeo agrícola también representa un porcentaje notable del consumo eléctrico rural. Esto implica que las estrategias de agua deben ir de la mano con las energéticas, promoviendo el uso de energías renovables en instalaciones hídricas (por ejemplo, parques solares en plantas desaladoras o bombeos en horas valle con excedentes eólicos).

España, con 770 plantas desaladoras y desaladoras a diferente escala, es líder europeo (y quinto país con mayor potencia instalada del mundo). Estas plantas tienen una capacidad de producción conjunta de unos 5 millones de m³/día (un volumen suficiente para abastecer ~34 millones de personas), que se sitúa especialmente en regiones con estrés hídrico crónico, como las Islas Canarias, el litoral mediterráneo y las Islas Baleares. No obstante, **muchas desaladoras operan por debajo de su capacidad** (en torno al 16%, en promedio, en las dos últimas décadas) debido fundamentalmente a las dificultades para encon-

trar una demanda efectiva (es decir, no quien necesite esa agua desalada, sino quien esté dispuesto a pagar por ella). Integrar energías renovables y mejorar la eficiencia puede disminuir esos costes, ampliar su utilización también (Sola et al., 2021).

Por otro lado, el nexo agua-energía se observa en la **generación hidroeléctrica**: los embalses españoles (con ~55.000 hm³ de capacidad total) se gestionan no solo para agua, sino también para producir electricidad y regular el

sistema energético. El cambio climático y los nuevos patrones de consumo requerirán optimizar esta doble función, evitando conflictos (por ejemplo, turbinar para electricidad en verano seco puede bajar reservas para riego). Políticas innovadoras podrían incentivar el almacenamiento hídrico como respaldo energético (bombeo reversible en embalses) a la vez que garantizan caudales ecológicos. En suma, los instrumentos económicos y la gestión integrada con la conversión de energía son palancas estratégicas.

5

Digitalización y gestión inteligente del agua

Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (ICT) ofrecen herramientas poderosas para optimizar la gestión hídrica, mejorar la información disponible y apoyar la toma de decisiones en tiempo real (Zafra-Gómez et al., 2024). En España se ha comenzado a transitar hacia el agua inteligente (smart water), aunque con ritmo desigual según sectores y regiones. Uno de los pilares de esta transformación es la gestión de **Big Data y el uso de diferentes modalidades de Inteligencia Artificial (IA)** para procesar grandes volúmenes de datos hidrológicos, meteorológicos y de infraestructura. Por ejemplo, las redes de sensores en ríos, embalses y redes de distribución urbana generan datos continuos de niveles, caudales, calidad del agua y consumos. Aplicando algoritmos de IA, es posible detectar patrones y anomalías: anticipar fugas en tuberías (para disminuir los niveles de agua no registrada, ANR)¹⁴ Copernicus)¹⁵ permite estimar las necesidades hídricas de cultivos parcela a parcela, recomendando dosis óptimas y evitando riegos excesivos. De esta forma, la digitalización contribuye directamente a la eficiencia y la sostenibilidad, reduciendo las pérdidas y ajustando la demanda a la mínima necesaria.

Un avance destacado es la implementación de **gemelos digitales** (digital twins) del agua: réplicas virtuales de sistemas hídricos (una planta potabilizadora, un tramo de río, o incluso una cuenca entera) que permiten simular distintos escenarios y respuestas. Mediante un gemelo digital de, por ejemplo, la red de suministro de una ciudad, se pueden ensayar operaciones en el mundo virtual (cierres de válvulas, redistribución de caudales) para ver cómo afectaría al sistema, antes de aplicarlo realmente. También se integran pronósticos meteorológicos para simular el comportamiento de un río ante una crecida, ayudando a gestores a decidir aperturas de compuertas preventivas. España participa en proyectos europeos piloto de gemelos digitales en gestión del agua urbana (como el caso de Barcelona, que ha desarrollado modelos integrados de su red de drenaje urbano para predecir inundaciones locales). Igualmente, las Confederaciones Hidrográficas están modernizando sus Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (SAIH), que desde hace décadas recogen datos en tiempo real de pluviometría, niveles y calidad. La novedad es que ahora estos SAIH se están volcando a plataformas de **datos abiertos y visualización geoespacial** (GIS), accesibles no solo a técnicos sino al público, mejorando la transparencia. El MITECO ha impulsado recientemente la digitalización del ciclo urbano del agua mediante fondos del Plan de

Recuperación (PRTR), recibiendo más de 500 propuestas de entidades locales en su segunda convocatoria. Esto indica un amplio interés por aplicar tecnologías digitales en abastecimiento y saneamiento: desde la sensorización de redes de alcantarillado para detectar intrusiones de agua de lluvia, hasta aplicaciones móviles para que los ciudadanos informen de incidencias en el servicio.

No obstante, la transición digital enfrenta **retos importantes en su adopción y gobernanza de datos**. En primer lugar, la fragmentación institucional puede dificultar estándares comunes: cada confederación o comunidad autónoma podría desarrollar sistemas diferentes, generando silos de información poco interoperables. Se requiere liderazgo estatal (quizá a través del MITECO) para establecer plataformas integradoras y protocolos de intercambio de datos entre administraciones. En segundo lugar, la brecha digital afecta a muchas entidades gestoras, sobre todo ayuntamientos pequeños (el 84% de los municipios españoles tiene menos de 5.000 habitantes) o comunidades de regantes tradicionales, que carecen de recursos técnicos y humanos para aprovechar estas tecnologías. Será necesario invertir en capacitación y asistencia técnica para que la digitalización no se concentre solo en las grandes ciudades o empresas, sino que llegue al conjunto del sistema hídrico. En tercer lugar, surge la cuestión de la **gobernanza de los datos**: quién es propietario de la información, cómo se asegura su calidad, privacidad (en el caso de consumos individuales) y uso ético. Por ejemplo, los datos detallados de consumo doméstico podrían considerarse sensibles; habrá que definir hasta qué punto se comparten o anonimizan esos microdatos. Asimismo, la ciberseguridad es crítica, dado que infraestructuras hídricas digitalizadas podrían ser vulnerables a ataques que alteren mediciones o controles (imaginemos un actor malicioso abriendo compuertas de forma remota). Por tanto, junto a la instalación de tecnología, deben robustecerse las medidas de seguridad informática y los planes de contingencia manual para operar sistemas si fallan los automatizados.

Pese a estos retos, la tendencia hacia una **gestión inteligente del agua** parece imparable por sus evidentes beneficios. En el ámbito económico, se espera que la digitalización reduzca costes operativos (menores pérdidas, mantenimiento predictivo de infraestructuras evitando averías costosas). En el ambiental, facilitará el cumplimiento de

14.

15. El Programa Copernicus es el sistema de observación de la Tierra de la Unión Europea (UE), diseñado para proporcionar datos ambientales en tiempo real con aplicaciones en gestión del cambio climático, seguridad, agricultura, gestión del agua y desastres naturales. Se basa en una combinación de satélites, sensores in situ y modelos de predicción climática para monitorear el estado del planeta.

objetivos al vigilar mejor los caudales ecológicos y detectar vertidos ilegales en tiempo real. También empodera a los usuarios: hoy día un agricultor con un smartphone puede recibir recomendaciones de riego o alertas de corte de suministro con anticipación, y un ciudadano puede monitorear su consumo diario y compararlo con promedios. Para España, aprovechar la **IA, Big Data y sensores** en el sector agua es parte integral de volverse más resiliente al cambio climático. De hecho, la Comisión Europea ha señalado la digitalización del agua como línea de acción prioritaria dentro de una futura estrategia hídrica continental. En conclusión, España debe acelerar la incorporación de tecnologías inteligentes en la gestión del agua, acompañándola de reformas institucionales que aseguren su adopción homogénea y segura.

Cabe señalar, no obstante, la necesidad de incorporar tantas cautelas como sean necesarias en el proceso de digitalización (y especialmente en el uso de IA, que demanda cada vez insights más complejos por parte de los usuarios y, por lo tanto, mayor intensidad en proceso de datos). Hay evidencia creciente sobre la escala del consumo energético y de agua asociados, sobre todo, a los procesos de refrigeración en centros de datos. El objetivo es superar las contradicciones existentes entre transición ecológica y transición digital, y convertir ambas transiciones en plenamente complementarias y sinérgicas. Para ello, conviene explorar la posibilidad de introducir mayor eficiencia en el proceso de datos no sólo por parte de los centros de datos en sí, sino de los clientes finales de los mismos.

6

Soluciones basadas en la naturaleza y restauración ecológica¹⁶

Frente a los desafíos de la seguridad hídrica, las **Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN)** ofrecen enfoques complementarios o alternativos a la infraestructura gris tradicional. En España, país de gran diversidad biológica¹⁷, estas soluciones están cobrando protagonismo en la planificación hídrica y territorial. Un ejemplo emblemático es la **restauración de humedales** degradados. Los humedales actúan como esponjas naturales que retienen de modo natural agua en épocas húmedas y la liberan en épocas secas, además de recargar acuíferos y depurar el agua fijando nutrientes. Programas de restauración como el Proyecto Doñana 2005 lograron reconectar áreas inundables en el Parque Nacional de Doñana, mejorando su hidrología tras décadas de desecaciones. No obstante, problemas recientes en Doñana indican que se necesita ir más allá de restaurar espacios protegidos: es vital controlar las extracciones en el entorno y recuperar flujos de retorno naturales que alimentan esos humedales. Otro caso es el Mar Menor en Murcia, una laguna costera cuya eutrofización severa (causada por escorrentía agrícola con nitratos), provocó mortalidad masiva de peces. Ante esto, se ha propuesto la creación de cinturones verdes filtrantes río arriba y la restauración de salinas abandonadas para aumentar la depuración natural antes de que el agua alcance la laguna. Estos proyectos de SbN buscan restaurar procesos ecológicos que provean servicios hídricos (como la retención de nutrientes y sedimentos), de forma continua y a gran escala.

La **restauración fluvial** es otra línea de acción prioritaria. Durante el siglo XX se construyeron cientos de presas y azudes en los ríos españoles, fragmentando sus cauces. Según datos del *Inventario de Presas y Embalses de España* gestionado por el MITECO, España cuenta con aproximadamente 1.200 grandes presas (el doble que el segundo país europeo que más tiene, Francia, según la Comisión Mundial de Presas). Estas estructuras son aquellas cuya altura supera los 15 metros o tienen una capacidad de embalse superior a 1 hm³. Además de las grandes presas, existen numerosas pequeñas presas y azudes distribuidos por todo el territorio nacional. Estas infraestruc-

turas, de menor tamaño, se utilizan principalmente para derivar agua para riego u otros usos locales. Aunque no hay una cifra exacta disponible, se estima que hay miles de estas estructuras en funcionamiento. En 2023 se eliminaron 487 barreras fluviales obsoletas en ríos de Europa, siendo Francia y España los países que lideraron estas acciones, en cumplimiento de regulaciones vinculantes a nivel europeo. Estas actuaciones no solo benefician a la biodiversidad (permitiendo el libre movimiento de peces y sedimentos), sino que también mejoran la capacidad natural de los ríos para regular avenidas, al recuperar llanuras de inundación. La meta de la UE de restaurar al menos 25.000 km de ríos de curso libre para 2030 ha incentivado a las autoridades españolas a identificar tramos prioritarios y a financiar proyectos de renaturalización.

En la interfaz entre agua y agricultura, las **prácticas de agricultura regenerativa** están demostrando ser soluciones basadas en la naturaleza con múltiples beneficios. La agricultura regenerativa promueve la salud del suelo mediante técnicas como la siembra de cultivos de cobertura, la actividad agroforestal, el pastoreo rotativo y la reducción del laboreo. Esto aumenta la materia orgánica del suelo y su capacidad de infiltrar y retener agua, disminuyendo la necesidad de riego y la escorrentía superficial. Hay evidencia de que estas prácticas mejoran significativamente la eficiencia en el uso del agua, al incrementar la retención de humedad en suelo y mitigar los efectos de eventos de sequía (Magdaleno y Delacámarra, 2015). En zonas áridas y semiáridas de España¹⁸, algunos agricultores pioneros han logrado mantener rendimientos estables con menos aporte hídrico gracias a suelos regenerados que funcionan como "esponja". Además, al reducir o eliminar fertilizantes químicos, se minimiza la contaminación de acuíferos y ríos por nitratos, cerrando el ciclo de nutrientes de forma más segura. De esta manera, la agricultura regenerativa conecta la seguridad alimentaria con la hídrica y la climática: suelo sano retiene más agua, cultivos más resilientes soportan mejor las sequías, y los ecosistemas circundantes se benefician de menores cargas contaminantes. El reto es escalar

16. Sobre Soluciones basadas en la naturaleza, véase también el informe de la misma serie que este documento: *Paisaje transversal (2025)*, *Adaptación de las ciudades españolas al cambio climático mediante la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza*, Alinnea.

17. España e Italia son los Estados miembros de la UE con mayor biodiversidad. España posee el mayor número de especies de plantas vasculares en Europa, con un total estimado entre 8.000 y 9.000 especies, de las cuales entre el 20% y el 25% son endémicas. Además, alberga entre 60.000 y 70.000 especies de fauna, más de un tercio de todas las de la UE, incluyendo aproximadamente 700 vertebrados y una gran diversidad de invertebrados. La gran biodiversidad de ambos países se debe a la variedad de climas, paisajes y su ubicación estratégica como puntos de encuentro de diferentes regiones ecológicas de Europa.

18. Según datos del MITECO, más de dos terceras partes del territorio español se clasifican como áreas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Estas categorías corresponden a zonas susceptibles de sufrir desertificación, caracterizadas por una proporción entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial comprendida entre 0,05 y 0,65. El 74% del territorio español está en riesgo de desertificación debido a factores climáticos y de uso del suelo. Este fenómeno afecta especialmente al litoral mediterráneo, las Islas Canarias, la Submeseta Sur y el valle del Ebro.

estas prácticas desde experiencias aisladas hacia una adopción más generalizada. Políticas agroambientales (por ejemplo, en la nueva PAC) podrían remunerar a los agricultores por servicios ecosistémicos como la recarga hídrica o la fijación de carbono orgánico en suelos, dando un incentivo económico a la expansión de la agricultura regenerativa.

En síntesis, las soluciones basadas en la naturaleza se están consolidando como estrategias que generan benefi-

cios mutuos que abordan simultáneamente la resiliencia hídrica, la conservación ecológica y la adaptación climática. No reemplazan por completo a la infraestructura gris (seguiremos necesitando estaciones depuradoras de aguas residuales, embalsamientos y canales), pero sí pueden reducir la necesidad de nuevas obras costosas y aportar flexibilidad adaptativa.

7

Coordinación de políticas y gobernanza multinivel

La complejidad de la gestión del agua, que abarca dimensiones ambientales, económicas, sociales y territoriales, requiere una gobernanza multinivel efectiva. En España, esto implica articular las políticas desde la escala europea, nacional, autonómica, hasta la local, asegurando coherencia y adaptación a cada realidad. Un desafío claro es traducir la abundante investigación científica disponible en **políticas públicas operativas**. Con frecuencia, existe una brecha entre lo que la ciencia recomienda (por ejemplo, reducir extracciones) y lo que las normativas efectivamente establecen de modo vinculante. Para cerrar esta brecha, se necesitan modelos de gobernanza adaptativa (Hjorth y Madani, 2023): marcos legales y administrativos flexibles que puedan incorporar nueva información y ajustar decisiones casi en tiempo real.

Un enfoque prometedor es la creación de **comités científico-técnicos** asesores integrados en la toma de decisiones de las confederaciones hidrográficas y de los gobiernos. Estos comités podrían revisar anualmente indicadores clave (niveles freáticos, evolución climática, estado ecológico) y recomendar ajustes a planes o concesiones sin esperar al siguiente ciclo de planificación sexenal. Asimismo, la planificación hídrica debería coordinarse estrechamente con otras políticas sectoriales (agricultura, energía, turismo, ordenación del territorio, etc.), mediante mecanismos formales.

En el plano internacional, España tiene mucho que aportar y aprender en gobernanza del agua. A nivel europeo, la experiencia de la DMA ha sido un ejercicio de aprendizaje compartido entre países; España puede beneficiarse de las mejores prácticas de otros Estados miembros en áreas como la recuperación de costes (Dinamarca) o la protección de acuíferos (Francia).

La **coordinación multinivel** debe también enfrentar los potenciales conflictos entre administraciones. En España, las competencias de agua son mayormente estatales en cuencas intercomunitarias, pero autonómicas en cuencas internas, lo que puede generar disparidades en enfoques. Es importante crear espacios de coordinación Estado-CCAA, como conferencias sectoriales del agua, que armonicen criterios y difundan éxitos de unas regiones a otras. Asimismo, a nivel local, involucrar a municipios y usuarios es crucial para la implementación efectiva. Muchos problemas (derroche de agua en algunas zonas de regadío, contaminación por nitratos, gestión de inundaciones urbanas) no se resolverán solo con directivas europeas o planes nacionales; requieren la acción concertada de entes locales, comunidades de regantes, empresas y sociedad civil sobre el terreno. Por ello, la gobernanza contemporánea promueve la participación pública activa: en la elaboración de planes hidrológicos recientes en España ha habido procesos participativos, normalmente como procesos formales de consulta pública, pero se puede ir más allá, otorgando cierta capacidad de codecisión a la sociedad civil en temas específicos (por ejemplo, mesas de gobernanza del agua en acuíferos sobreexplotados donde agricultores y ecologistas acuerden extracciones). La transparencia es otro pilar: hacer públicos datos, modelos y decisiones genera confianza y permite el escrutinio ciudadano.

En resumen, avanzar hacia una gestión hídrica resiliente implica un esfuerzo orquestado en múltiples niveles de gobierno. Los modelos adaptativos sugeridos por la ciencia deben institucionalizarse para que las políticas puedan ajustarse con agilidad.

8

Conclusiones y recomendaciones

España se encuentra en una encrucijada en materia de gestión de recursos hídricos. A lo largo de este análisis se han identificado importantes **lagunas de investigación y desafíos de política** que, de no atenderse, comprometerán tanto la seguridad hídrica como la alimentaria y otra serie de objetivos legítimos del país, tanto en un terreno ambiental (crisis climática, pérdida de diversidad biológica, desertificación) o en el desempeño macroeconómico.

18. Según datos del MITECO, más de dos terceras partes del territorio español se clasifican como áreas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Estas categorías corresponden a zonas susceptibles de sufrir desertificación, caracterizadas por una proporción entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial comprendida entre 0,05 y 0,65. El 74% del territorio español está en riesgo de desertificación debido a factores climáticos y de uso del suelo. Este fenómeno afecta especialmente al litoral mediterráneo, las Islas Canarias, la Submeseta Sur y el valle del Ebro.

En primer lugar, persiste una brecha entre las metas ambientales establecidas (en términos de buen estado de las aguas) y la realidad: aproximadamente la mitad de las masas de agua no alcanzan el objetivo y el 90% de las cuencas europeas podrían seguir en mal estado en 2027. Esto evidencia insuficiencias en las medidas aplicadas y exige prolongar esfuerzos más allá de los plazos iniciales de la DMA.

En segundo lugar, el cambio climático tensiona aún más el sistema: menores aportes y eventos extremos ponen en cuestión el equilibrio hídrico, demandando adaptar tanto las infraestructuras como los patrones de uso y consumo.

Tercero, la gestión actual muestra desequilibrios sectoriales: un uso agrícola mayoritario con baja eficiencia relativa, precios que no internalizan costes ambientales y conflictos emergentes entre sectores y territorios (trasvases, regadíos vs. conservación, eliminación de embalses y azudes). Además, la fragmentación institucional puede entorpecer respuestas ágiles: la coordinación entre administraciones y la integración de políticas (agua, agricultura, energía, urbanismo) son ampliamente mejorables.

Ante este panorama, pueden formularse varias **recomendaciones estratégicas**.

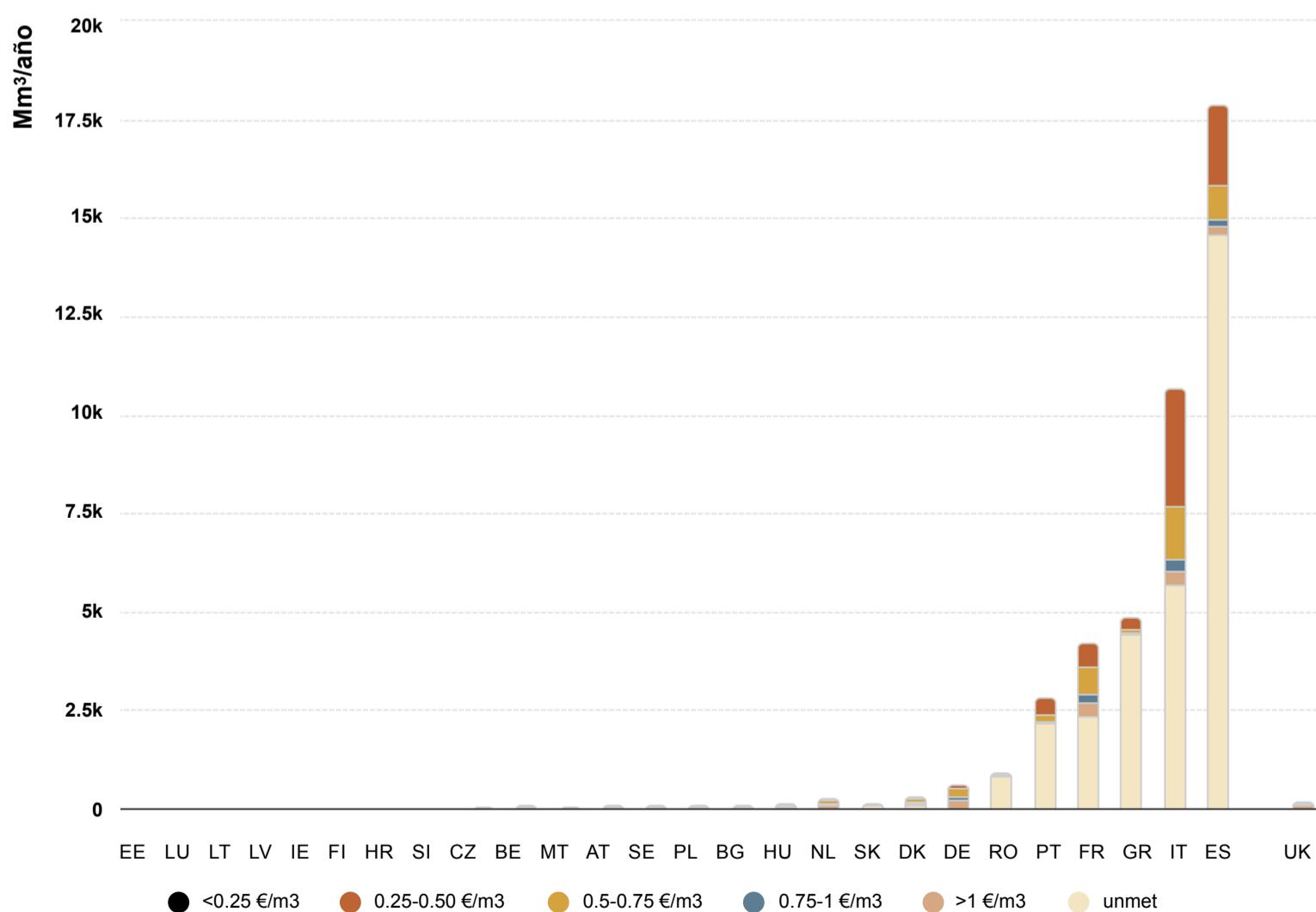
En el plano de políticas e instituciones, es urgente **reforzar la aplicación de la Directiva Marco del Agua** aprovechando al máximo las herramientas que ofrece: condicionar cualquier nueva concesión o aumento de regadío al logro efectivo del buen estado en la cuenca; retirar exenciones salvo casos justificadísimos; y activar sanciones o restricciones automáticas cuando los indicadores ambientales se deterioren. La planificación hidrológica del cuarto ciclo debe ser profundamente adaptativa: incorporar escenarios climáticos vinculantes, revisar dotaciones actuales a la baja donde los balances futuros lo requieran, y priorizar definitivamente las demandas ambientales (caudales ecológicos) por encima de usos económicos, cumpliendo el orden de preferencia

legal. Un giro estratégico recomendado es **realizar una transición para completar la tradicional política de aumento de la oferta a una de gestión de la demanda**: en lugar de buscar nuevas aportaciones basadas en recursos convencionales (aguas superficiales y subterráneas), es importante avanzar en la diversificación de fuentes de oferta (reutilización de aguas regeneradas y desalación de agua salobre y salina, mediante tratamientos avanzados), donde España ya lidera a nivel europeo, pero lejos de su verdadero potencial (ver Cuadro 3), y centrarse en gestionar la demanda existente mediante aumento de la eficiencia en el uso y mecanismos sofisticados de reasignación. Esto implica apoyar tecnológicamente la reducción de consumos (por ejemplo, modernización del 100% del regadío con riego inteligente) y a la vez estar dispuesto a **reconvertir** actividades insostenibles (por ejemplo, sustituir cultivos de alto consumo por otros adaptados, o incluso evaluar el rescate de derechos privativos de uso y aprovechamiento en acuíferos críticos).

En materia económica y de gobernanza, se recomienda **revisar el esquema de precios y financiación del agua, en el contexto de un profundo rediseño de incentivos**. Avanzar hacia la recuperación de costes completa en todos los sectores debe ser un objetivo a corto plazo. Para lograrlo sin impactos distributivos desproporcionados y contraproducentes, se sugiere: establecer bloques de consumo básicos a bajo precio para usos vitales y aumentar tarifas exponencialmente para consumos menos prioritarios o usos productivos intensivos; aplicar el principio de “quien contamina o paga” con tasas por nitratos, etc., destinando esos fondos a la restauración ambiental; y promover acuerdos de responsabilidad social con el sector turístico e industrial para cofinanciar infraestructuras hídricas. Asimismo, parece deseable mejorar la **transparencia y la rendición de cuentas del sistema de financiación de los servicios de agua**: hoy es difícil saber cuánto cuesta realmente el agua de riego subvencionada o qué inversión hace falta en depuración en determinadas cuencas.

Cuadro 3. Volúmenes de reutilización de aguas regeneradas para la agricultura

Millones de metros cúbicos al año.



Fuente · Pistocchi et al. (2018).

Nota: Cantidad de agua regenerada que podrían utilizarse a diferentes costes totales en los 27 Estados miembros de la UE (sin incluir Chipre, debido a la falta de estimaciones sobre el riego). «Unmet» representa la demanda de riego estimada para el país, que supera el suministro potencial de agua regenerada.

Desde la perspectiva tecnológica y ambiental, las recomendaciones incluyen **acelerar la inversión en digitalización y en soluciones basadas en la naturaleza**, pero garantizando que se establecen las medidas de acompañamiento para que ambas puedan realmente contribuir a la consecución de objetivos ambientales y de desarrollo. El Estado, apoyado por fondos europeos, debería completar la cobertura de sensores y sistemas inteligentes en todas las redes principales para 2030, y crear un data lake nacional del agua que concentre información de calidad, cantidad y usos accesible para análisis avanzados.

En paralelo, el momento es propicio para establecer un plan nacional de **renaturalización hídrica**, como parte de los esfuerzos europeos de restauración de ecosistemas y para cumplir con compromisos internacionales de conservación de la diversidad biológica: identificar tramos fluviales y acuíferos prioritarios donde retirar presión (reducción de extracciones, eliminación de barreras, reforestación de cuencas sobre la base de criterios racionales que no conduzcan a efectos indeseados) y ejecutar algunos proyectos emblemáticos, que sirvan de modelo replicable (de referencia, no de molde).

En agricultura, es importante escalar programas piloto exitosos de agricultura regenerativa a nivel de cuenca, vinculando a cooperativas y grandes distribuidores para que apoyen a agricultores en la transición a prácticas sostenibles a cambio de producir con menores presiones sobre los ecosistemas acuáticos. Tales iniciativas pueden venir acompañadas de sistemas de **pagos por servicios ecosistémicos**: remunerar, por ejemplo, a quienes mantengan cubiertas vegetales que recarguen acuíferos o a ganaderos extensivos que con su manejo prevengan incendios y conserven pastos que retienen agua.

Finalmente, es importante destacar el rol que España puede desempeñar en la **gobernanza global del agua**. Como país pionero en ciertos ámbitos (desalación, reutilización, gestión de cuencas) y a la vez muy vulnerable a la escasez, España está en posición de liderar por ejemplo alianzas internacionales por la adaptación hídrica. De la mano de la recién publicada **Estrategia Europea de Resiliencia Hídrica**, España puede ir compartiendo sus lecciones aprendidas en sequías o diversificación de fuentes de oferta e incentivando metas más allá de 2027. Igualmente, reforzar la cooperación con Portugal (con quien se comparten ríos vitales) para gestionar conjuntamente escenarios extremos: la reciente carta conjunta de 11 países pidiendo ambición climática para 2040 es un buen precedente.

En conclusión, **España debe redoblar sus esfuerzos estratégicos en economía y gobernanza del agua** para enfrentar un futuro desafiante. La adaptación al cambio climático, la seguridad hídrica y alimentaria y la salud de los ecosistemas están interconectadas; por tanto, las soluciones deben ser integrales. No bastan medidas reactivas o incrementales: se requieren transformaciones en cómo valoramos, usamos y gestionamos el agua. Implementar las recomendaciones aquí esbozadas, conducirá a un sistema hídrico más resiliente, equitativo y sostenible y, con ello, a una economía igualmente más resiliente, competitiva y justa. España, históricamente innovadora en el manejo del agua en climas áridos, tiene la oportunidad de demostrar nuevamente liderazgo en esta materia crítica, asegurando que el agua siga siendo sostén de su economía y bienestar en las próximas décadas.



Referencias

AEMET (2023) Evaluación de métodos de regionalización estadística para la generación de proyecciones climáticas en el marco del PNACC-2 2021-2030, Nota técnica 41 de AEMET.

CEDEX (2010) Efecto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural. Encomienda de gestión al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) por la Dirección General del Agua con la participación de la Oficina Española del Cambio Climático, diciembre de 2010.

CEDEX (2017) Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España. Informe Técnico para Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), Secretaría de Estado de Medio Ambiente, Oficina Española de Cambio Climático (OECC), Informe Final, Tomo único, Clave CEDEX: 42-415-0-001, Madrid, julio de 2017.

Delacámarra, G., Gómez, C. M., & Maestu, J. (2014). Water trading opportunities and challenges in Europe. Routledge Handbook of Water Economics and Institutions, 281-295.

De Roo, A., Trichakis, I., Bisselink, B., Gelati, E., Pistocchi, A., & Gawlik, B. (2021). The water-energy-food-ecosystem nexus in the Mediterranean: current issues and future challenges. *Frontiers in Climate*, 3, 782553.

Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.

Dunlop, T., Khojasteh, D., Cohen-Shacham, E. et al. (2024) The evolution and future of research on Nature-based Solutions to address societal challenges. *Commun Earth Environ* 5, 132
<https://doi.org/10.1038/s43247-024-01308-8>.

European Environment Agency (2024). Europe's state of water 2024: the need for improved water resilience. EEA Report No 07/2024. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN: 978-92-9480-653-6. doi: 10.2800/02236

European Commission (2025). Informe de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la aplicación de la Directiva marco sobre el agua (2000/60/CE) y la Directiva sobre inundaciones (2007/60/CE), COM(2025) 2 final, Bruselas, 4.2.2025.

European Commission (2025b). Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. European Water Resilience Strategy. Brussels, 4.6.2025 COM(2025) 280 final

Farnault, A. y X. Leflaive (2024), "Cost recovery for water services under the Water Framework Directive", OECD Environment Working Papers, No. 240, OECD Publishing, Paris.

Funes, I., Savé, R., de Herralde, F., Biel, C., Pla, E., Pascual, D., ... & Aranda, X. (2021). Modeling impacts of climate change on the water needs and growing cycle of crops in three Mediterranean basins. *Agricultural Water Management*, 249, 106797.

Gratsea, M., Varotsos, K. V., López-Nevado, J., López-Feria, S., & Giannakopoulos, C. (2022). Assessing the long-term impact of climate change on olive crops and olive fly in Andalusia, Spain, through climate indices and return period analysis. *Climate Services*, 28, 100325.

Hjorth, P., & Madani, K. (2023). Adaptive water management: on the need for using the post-WWII science in water governance. *Water resources management*, 37(6), 2247-2270.

IPCC (2023) Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

Ley 1/2018, de 6 de marzo, por la que se adoptan medidas urgentes para paliar los efectos producidos por la sequía en determinadas cuencas hidrográficas y se modifica el texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.

Magdaleno, F., y Delacámarra, G. (2015). Las Medidas Naturales de Retención de Agua: del diseño a la implementación a través de proyectos europeos. *Ingeniería Civil*, 179, pp. 131-138.

Matthews, J.H., Maestu, J., Kolkaila, A., Ei Phyoe, P.E., Gomez, C.M., Muñoz Castillo, R., Rodriguez, D.J., Duel, H., Panella, T., & Vlaanderen, N. (2024). Managing Water for Economic Resilience: De-risking Is Not Enough. Corvallis: Alliance for Global Water Adaptation (AGWA).

Pistocchi, A., Aloe, A., Dorati, C., Alcalde Sanz, L., Bouraoui, F., Gawlik, B., Grizzetti, B., Pastori, M., Vigiak, O. (2018). The potential of water reuse for agricultural irrigation in the EU: A Hydro-Economic Analysis. EUR - Scientific and Technical Research Reports

Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA). Publicado en BOE núm. 176, de 24/07/2001.



Referencias

Rodríguez-Berbel, N., Soria, R., Ortega, R., Lucas-Borja, M. E., & Miralles, I. (2022). Agricultural land degradation in Spain. In Impact of Agriculture on Soil Degradation II: A European Perspective (pp. 263-297). Cham: Springer International Publishing.

Sola, I., Sáez, C. A., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2021). Evaluating environmental and socio-economic requirements for improving desalination development. *Journal of Cleaner Production*, 324, 129296.

Yeste, P., Rosa-Cánovas, J. J., Romero-Jiménez, E., Ojeda, M. G. V., Gámiz-Fortis, S. R., Castro-Díez, Y., & Esteban-Parra, M. J. (2021). Projected hydrologic changes over the north of the Iberian Peninsula using a Euro-CORDEX multi-model ensemble. *Science of The Total Environment*, 777, 146126.

Zafra-Gómez, E., Garrido-Montaños, M., López-Pérez, G., & Navarro-Ruiz, M. A. (2024). Transparency and Digitalization in Water Services: Reality or Still a Dream?. *Water*, 16(3), 367.



Con sede en



Con el apoyo de

