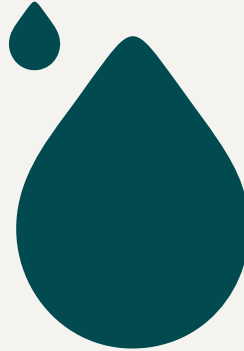
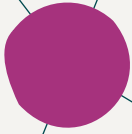


**ericc**

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Agua y recursos hídricos



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autores: Raquel Gómez-Beas (Universidad de Córdoba), Eva Contreras (Universidad de Córdoba), María José Polo (Universidad de Córdoba), Rafael Pimentel (Universidad de Córdoba)



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Gómez-Beas, R., Contreras, E., Polo, M.J. y Pimentel, R. (2025) Agua y recursos hídricos. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.



Contenido

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo / pág. 303

2. Introducción / pág. 305

3. Riesgos relevantes del sector agua y recursos hídricos / pág. 308

3.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración / pág. 315

3.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales / pág. 316

3.3. Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes. / pág. 318

3.4. Riesgo para la seguridad funcional de las infraestructuras hidráulicas por fenómenos meteorológicos extremos / pág. 320

3.5. Riesgo para el patrimonio natural y la biodiversidad derivado de los impactos del cambio climático en el ciclo del agua / pág. 322

4. Riesgos clave / pág. 325

4.1. RC2.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración / pág. 326

4.2. RC2.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales / pág. 339

4.3. RC2.3. Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes / pág. 354



5. Análisis de riesgos complejos / pág. 370

6. Caso de estudio / pág. 374

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector / pág. 376

8. Referencias / pág. 378



1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial Agua y Recursos Hídricos de la Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevado a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"¹ del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"² sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad) como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos, impactos y riesgos en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles

¹ Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

² Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intra-sectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.



casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptual** de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante **cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones**, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos. **Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio** representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el **apartado de limitaciones y particularidades metodológicas** recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la **bibliografía** reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.



2. Introducción

El agua es un bien fundamental en nuestro planeta que utilizamos como un recurso para nuestro desarrollo como sociedad. Este capítulo aborda los riesgos que el cambio climático plantea en la gestión de ese recurso. En España, los Organismos de Cuenca son responsables de esta gestión. En los Planes Hidrológicos de Cuenca (PHC), aprobados en cumplimiento de lo establecido en el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas, se establece un orden de prioridad en la satisfacción de las demandas de los diferentes usos consuntivos³ del agua. En el último informe de seguimiento de los PHC (MITECO, 2021a), se pone de manifiesto que la demanda anual de agua para estos usos en España es aproximadamente de 32.000 hm³/año. En términos medios en toda España, del volumen total de agua el 80,6 % se destina a usos agrarios, el 15,4 % a abastecimiento, el 3,4 % a uso industrial y un 0,6 % a otros usos. En su mayor parte, en un 71,6 %, los recursos hídricos son de origen superficial⁴, representando un 23,1 % los de origen subterráneo, un 2,8 % procede de otros recursos no convencionales (reutilización y desalación) y el 2,5 % restante procede de transferencias entre cuencas.

Esta distribución heterogénea se repite cuando se comparan estos porcentajes por demarcaciones. Por un lado, los usos del agua varían según el territorio, y por otro, la variabilidad climática, hace que nuestro principal aporte de agua, la precipitación, se distribuya de manera heterogénea. Esta variabilidad no es exclusivamente espacial, sino también temporal. Las características intrínsecas de algunos de los climas peninsulares, especialmente el mediterráneo, provocan una alternancia clara entre años secos y húmedos, o que la distribución de la precipitación se concentre en eventos muy intensos, a veces de carácter torrencial. De mismo modo, la presencia de nieve en las cuencas de cabecera de los ríos de montaña y su correspondiente fusión hace que esta distribución sea aún más variable (MITECO, 2021b).

Históricamente, nuestra sociedad ha sabido adaptarse a esta variabilidad. En especial durante el siglo XX, el desarrollo de infraestructuras hidráulicas, principalmente embalses - en término

³ Aquellos que implican una extracción o consumo del agua, para abastecimiento, regadío, industria o acuicultura. La normativa española, a través del Real Decreto Legislativo 1/2001 (Texto Refundido de la Ley de Aguas) y el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, regula estos usos para asegurar su conservación.

⁴ Las masas de agua, de acuerdo con lo previsto en el anejo II de la Directiva Marco del Agua y la Sección Segunda, del capítulo I del título 1º del Reglamento de la Planificación Hidrológica, se clasifican en los siguientes tipos: a) "Masa de agua subterránea": un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos. b) "Masa de agua superficial": una parte diferenciada y significativa de aguas superficiales, como un lago, un embalse, una corriente, río, torrente o canal, parte de una corriente, río, torrente o canal, unas aguas de transición o un tramo de aguas costeras.



medio aproximadamente el 70 % de la capacidad de los embalses se dedica a satisfacer estos usos consuntivos del agua (MIMAM, 2000) - ha facilitado disponer de agua en épocas de precipitaciones escasas, lo que ha permitido en un gran número de ocasiones satisfacer las demandas y fomentado el desarrollo de una economía centrada en el uso del agua. Estos embalses han ayudado también a la laminación⁵ de avenidas fluviales, evitando inundaciones. Además, el desarrollo de otras infraestructuras hidráulicas de captación y distribución ha permitido hacer accesible el recurso agua a toda la población, impulsando el progreso socioeconómico.

Desde el año 2000 con la entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua (DMA) (EC, 2000), los Organismos de Cuenca deben, además de gestionar las demandas, garantizar el buen estado de las masas de agua. Es decir, la gestión de recursos hídricos pasa a integrar aspectos cualitativos. En esta materia, a lo largo de los sucesivos ciclos de planificación, España ha mejorado su capacidad de diagnóstico incrementando el número de puntos de seguimiento y ha progresado en la mejora del estado de las masas de agua⁶. Según el informe sobre los planes del tercer ciclo hidrológico (EC, 2025) en 2021, el número total de masas de agua superficial en buen estado ecológico y químico era del 58 % y 90 %, respectivamente, mientras que el número de masas de agua subterránea en buen estado cuantitativo y químico era del 75 % y 67 %, respectivamente.

En la actualidad, en este contexto de gestión, hay que añadir también el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos. España es uno de los países de la Unión Europea más afectados por estos cambios (ESPON, 2011; Hu y Hewitt, 2024). El informe CLIVAR (MITECO, 2024) hace una revisión de los cambios observados en el clima peninsular durante las dos últimas décadas y de los escenarios de cambio futuro sobre los mismos. Estos cambios están íntimamente relacionados con los peligros climáticos que afectan al sector del agua: (i) la aparición de cambios en los patrones de distribución de la precipitación, (ii) la reducción de la precipitación media anual, (iii) el aumento de la torrencialidad de la precipitación, (iv) el aumento de la temperatura (del aire, suelo, vegetación y agua) y, (v) la alteración de la dinámica de fusión de la capa de nieve.

Todos estos peligros climáticos implicarían la intensificación o aparición de nuevos riesgos asociados a los que hacer frente desde el punto de vista de la gestión de los recursos hídricos. Por ejemplo, las sequías extremas serán más frecuentes, al igual que las inundaciones, y habrá un aumento de la presión sobre los usos de los recursos hídricos (Gómez y Maestu, 2023; Vargas y

⁵ La laminación de avenidas mediante embalses es una técnica de ingeniería hidráulica que reduce el impacto de las crecidas de un río al almacenar el exceso de agua en el embalse, liberándola de forma controlada y progresiva.

⁶ El buen estado de las masas de aguas superficiales implica que tanto el estado ecológico como el estado químico sean al menos "buenos", mientras que en masas de aguas subterráneas, implica que tanto el estado cuantitativo como el estado químico sean al menos "buenos".



Paneque, 2019), con consecuencias socioeconómicas y políticas (Estrela y Vargas, 2012), y un impacto medioambiental directo asociado a una posible pérdida de biodiversidad (Vargas-Amelin y Pindado, 2014). En la última década en España se ha evolucionado hacia una sociedad más consciente de la realidad y los riesgos del cambio climático (Meira *et al.*, 2021), hasta el punto en el que el Gobierno de España declaró el estado de emergencia climática a principios del año 2020. Prueba de ello es que, ya en los planes hidrológicos del segundo ciclo, 2015-2021, aparecían por primera vez aspectos relacionados con el cambio climático. En esta línea, en 2022 se aprobaron las *Orientaciones estratégicas sobre el agua y el cambio climático*, como mandato del artículo 19 de la Ley de cambio climático y transición energética, con el propósito de definir las directrices y actuaciones necesarias en la planificación y gestión del agua en España, reconociendo que la adaptación al cambio climático debe guiar la transformación del sector hacia un modelo más resiliente y sostenible.

El análisis llevado a cabo en este capítulo y la consiguiente definición de los riesgos se centran en los aspectos más relevantes para el sector. Así, desde el punto de vista de la *cantidad* de recursos disponibles se analizan riesgos asociados a disponer de poca agua o demasiada agua, generalmente concentrada en eventos de carácter torrencial; desde el punto de vista de la *calidad* se evalúan los riesgos asociados a disponer de agua en condiciones de calidad no óptimas para su consumo; desde el punto de vista de su *uso* se analizan los riesgos asociados al reparto de recursos hídricos entre los diferentes usos del agua; desde el punto de vista de las *infraestructuras hidráulicas*, se analiza su posible afección y daños, y, por último desde el punto de vista de los *ecosistemas* se analizan los riesgos asociados al patrimonio natural y la biodiversidad.

Es necesario señalar que el sector Agua y recursos hídricos está estrechamente relacionado con muchos de los sectores analizados generando efectos en cascada, que se abordarán con más detalle en cada uno de los capítulos específicos de cada sector.



3. Riesgos relevantes del sector agua y recursos hídricos

Los riesgos definidos como relevantes en la metodología desarrollada en este informe son aquellos que tienen un alto potencial de producir consecuencias adversas, pudiendo llegar a afectar negativamente la operatividad, rentabilidad y sostenibilidad social y económica de un determinado sector. Estos riesgos son el resultado de la interacción dinámica entre tres componentes: peligros climáticos, exposición y vulnerabilidad, que pueden variar en el tiempo y el espacio debido a las características fisiográficas de la zona en la que ocurren, a los cambios socioeconómicos y a la toma de decisiones humanas (Reisinger *et al.*, 2020).

Los principales **peligros climáticos** en el sector agua y recursos hídricos están relacionados con las variaciones en precipitación y temperatura, exacerbadas por los efectos del cambio climático (Ranasinghe *et al.*, 2021). Las proyecciones climáticas sobre España muestran que los cambios en estos peligros están relacionados con (**Figura 1**):

- **Cambios en los patrones de distribución de la precipitación:** se prevén variaciones estacionales diferentes dependiendo del tipo de clima, con una disminución general de las precipitaciones de abril a junio en climas más áridos y de septiembre a junio en el caso de climas más húmedos (Barriendos *et al.*, 2019; Del Jesús y Díez-Sierra, 2023). Estos cambios implicarían variaciones en el reparto de flujos dentro del ciclo hidrológico. Es decir, el reparto actual de la precipitación en escorrentía e infiltración se vería alterado. Este cambio en la distribución supone un nuevo escenario para la gestión de recursos hídricos con nuevos desacoples entre la disponibilidad de agua y su uso (de Luis *et al.*, 2010; Miró *et al.*, 2018).
- **La reducción de la precipitación media anual:** de manera general se prevé que la precipitación media anual disminuya a lo largo del siglo XXI en la península, con las consecuentes implicaciones en el aumento de los periodos de sequía (MITECO, 2024; Vicente-Serrano *et al.*, 2014).
- **El aumento de la torrencialidad de la precipitación:** se prevé que los eventos extremos de lluvias sean mayores, más frecuentes y de mayor duración, favorecidos por el aumento de temperatura (Matte *et al.*, 2022). Estos eventos torrenciales son los principales generadores de inundaciones que, por tanto, podrían ser más frecuentes (Amponsah *et al.*, 2018).



- **El aumento de la temperatura:** se prevé un aumento de la temperatura tanto del aire como del suelo, vegetación, capa de nieve y agua en masas de agua superficiales. La península ibérica ha sido identificada como un área que experimentará un aumento de la temperatura media anual superior a la media mundial (Soto-Navarro *et al.*, 2020). Esto tiene implicaciones directas, como el aumento de la demanda evaporativa y cambios en los índices de aridez que definen episodios de sequía o, en la generación de episodios de lluvias convectivas que favorecen eventos de precipitación intensos (Rouhani *et al.*, 2025). Estas variaciones alterarán diferentes componentes del ciclo hidrológico, como la evaporación o la infiltración, y en última instancia condicionarán los riesgos de sequía e inundaciones.
- **Cambios en la dinámica de fusión de la capa de nieve:** como efecto combinado de la disminución de la precipitación media y el aumento de la temperatura, la precipitación en forma de nieve se verá reducida (Faranda, 2020) y el volumen total de nieve también lo hará, tanto en espesor como en superficie (López-Moreno *et al.*, 2017; Pérez-Palazón *et al.*, 2015). A su vez, estos cambios condicionarán las dinámicas de fusión, con un aumento de los eventos de lluvia sobre nieve, un adelanto de las fechas de inicio de la fusión primaveral (López-Moreno *et al.*, 2017) y un aumento de las tasas de evaposublimación desde la capa de nieve a la atmósfera (Herrero y Polo, 2016). Así, el adelanto en la fusión nival unido a la disminución de las precipitaciones en esos meses de verano disminuirá claramente los caudales medios desde junio hasta octubre (MITECO, 2021). Todo esto tendrá un impacto directo en el volumen de recursos hídricos disponible y condicionará la gestión de fenómenos hidrológicos extremos, escasez e inundaciones, con el fin de intentar paliar los daños que producen.

El segundo componente del riesgo es la **exposición**, entendida como aquellos elementos que están presentes en el área donde puede desarrollarse un peligro climático y que por tanto se ven condicionados por este peligro. Estos elementos pueden agruparse en diferentes categorías (**Figura 1**):

- **Población:** el elemento expuesto en este caso es el número de personas que pueden verse afectadas por las consecuencias de un peligro climático, es decir, el número de personas que viven en una zona que puede inundarse o el número de habitantes que quedarían desabastecidos en una situación de escasez de agua.
- **Ecosistemas naturales:** los elementos expuestos incluyen, entre otros, las masas de agua superficiales (ríos, lagos, humedales) y subterráneas (acuíferos), los suelos y las especies de fauna y flora de los ecosistemas acuáticos y terrestres dependientes del ciclo hidrológico. Estos ecosistemas verían alteradas sus dinámicas, procesos ecológicos y hábitats debido a sequías, inundaciones o al aumento de las temperaturas.



- **Bienes muebles e inmuebles:** los bienes tanto muebles (cabezas de ganado, maquinaria, árboles o vehículos) como inmuebles (terrenos, casas o edificios) estarían expuestos a sequías, que pueden hacer perder cosechas, o a inundaciones, que destruyen edificaciones localizadas en zonas inundables.
- **Infraestructuras:** en este cuarto grupo se incluyen todas las infraestructuras que podrían verse afectadas por peligros climáticos. En esta categoría quedarían englobadas desde infraestructuras hidráulicas (presas, potabilizadoras, depuradoras, desaladoras, así como redes de distribución y saneamiento), infraestructuras energéticas (centrales hidroeléctricas, centrales térmicas, líneas de alta tensión, centros de transformación), infraestructuras de transporte (carreteras, líneas de ferrocarril) o infraestructuras de telecomunicaciones (líneas telefónicas). Estas infraestructuras están expuestas a los peligros climáticos relacionados con el agua, y por tanto pueden sufrir daños que conlleven interrupciones en los servicios que prestan, así como afectar a la propia seguridad de las infraestructuras con el consiguiente peligro para la población.
- **Actividades económicas:** la agricultura y la ganadería son actividades ligadas al uso del agua como recurso, por tanto, estarían altamente expuestas a situaciones de escasez generadas por episodios de sequía, o a daños producidos por inundaciones. Del mismo modo, aunque en menor medida, el sector servicios y el sector industrial estarían expuestos a estos riesgos.

La tercera componente del riesgo, la **vulnerabilidad**, entendida como la predisposición de un sistema a ser afectado negativamente por un peligro climático, puede ser analizada desde un punto de vista holístico (Eklund *et al.*, 2023) en cinco categorías (**Figura 1**):

- **La vulnerabilidad ambiental** implica aquellas características propias del entorno que lo hacen estar potencialmente más afectado por un peligro climático. Un factor de vulnerabilidad ambiental puede ser el estado de partida de las masas de agua, tanto en cantidad como en calidad, que puede tener influencia sobre el grado de afección ante los peligros climáticos y su posterior capacidad de recuperación. Otro ejemplo de vulnerabilidad ambiental sería el tipo de orografía y la proximidad al mar de una determinada zona. Ambas condicionan la generación de precipitación convectiva que hace que estas zonas sean más vulnerables a los posibles efectos de una lluvia torrencial. Del mismo modo, la alteración de las condiciones hidromorfológicas de los ríos hace que, ante eventos extremos de precipitación, los cursos naturales del agua se puedan ver fuertemente modificados con respecto a su condición natural, haciendo a estas zonas más vulnerables.
- **La vulnerabilidad social** hace referencia a factores económicos, sociales y demográficos que afectan a personas o grupos impidiendo su plena satisfacción de necesidades y su capacidad para



enfrentar adversidades, lo que conlleva una menor capacidad de resistencia o respuesta que los hace estar más afectados por los peligros climáticos. En sociedades avanzadas, como la española, esta vulnerabilidad social generalmente suele estar ligada a grupos de personas pertenecientes a colectivos vulnerables (p. ej., con bajos ingresos, enfermos o sin acceso a servicios básicos). Ante el riesgo de daños por inundación, son más vulnerables las poblaciones localizadas en llanuras aluviales y áreas catalogadas como inundables. El empleo en el sector primario y terciario también se concentra con frecuencia en estos colectivos, que se verán afectados por la pérdida de empleo que se puede producir ante situaciones de sequía, escasez o inundación. Además, especialmente estos grupos de personas tienen una cultura del riesgo incipiente⁷. El avance social experimentado en las décadas recientes ha hecho que nuestra percepción sobre qué situaciones suponen un riesgo cambie. Por ejemplo, la construcción de infraestructuras de contención ha convertido zonas que solían inundarse con frecuencia en áreas aparentemente seguras, lo que ha llevado a edificar en ellas sin ser plenamente conscientes de las implicaciones directas que esto tiene. De manera similar, disponer de agua almacenada en embalses en épocas de sequía hace que nuestra percepción sobre las situaciones de escasez no sea la misma (Polo *et al.*, 2014). Es fundamental mejorar la información y la concienciación para que todos los actores sepan su vulnerabilidad y las medidas que pueden tomar.

- **La vulnerabilidad de gobernanza** hace referencia a aspectos y decisiones de gestión pública que nos hacen más vulnerables. El Estado de las Autonomías hace que muchas de las competencias en materia de gestión hidrológica estén transferidas a las administraciones más cercanas al territorio. Esta ventaja puede suponer una vulnerabilidad si la coordinación y colaboración entre administraciones no están alineadas, ya que es necesario integrar políticas y desarrollar estrategias conjuntas de adaptación. Esto puede llevar, por ejemplo, a políticas individuales no coherentes, al uso ineficiente de tiempo y presupuestos, falta de enfoque integrado y transferencia de conocimiento y metodologías, factores que dificultan el aprendizaje y la capacidad de afrontar los peligros climáticos. Del mismo modo, es la administración a través de los organismos de cuenca la encargada de determinar las dotaciones de agua. Cómo se realicen estas asignaciones puede hacer que unas determinadas zonas sean más vulnerables ante las sequías que otras. Así, por ejemplo, en años con suficientes reservas pueden tomarse decisiones sobre dotaciones máximas de regadíos basadas en esta buena situación, sin tener coherencia con la garantía interanual disponible, generando situaciones críticas de escasez en años de sequía (Agudo *et al.*, 2006).
- **La vulnerabilidad físico-tecnológica** hace referencia a las condiciones derivadas del uso de tecno-

⁷ Se refiere a la etapa inicial del desarrollo de una cultura de riesgo en una organización o grupo de personas, donde los valores, creencias y comportamientos relacionados con la gestión de riesgos comienzan a formarse, pero aún no están completamente consolidados ni integrados.



logía o infraestructuras hidráulicas obsoletas diseñadas para escenarios climáticos pasados, lo que limita su capacidad de respuesta frente a peligros climáticos. Entre los factores que contribuyen a esta vulnerabilidad destacan acciones relacionadas con: sistemas de alerta temprana deficientes; infraestructuras envejecidas y con falta de mantenimiento; sistemas de drenaje urbano deficientes y suelos altamente impermeabilizados, que impiden la evacuación ante inundaciones; la modificación de cauces, construcción de diques y motas y la eliminación de meandros, que inciden en la ocupación del espacio fluvial que intenta recuperar su espacio, y que desplaza e incrementa el riesgo de inundación aguas abajo; suelos contaminados y técnicas de manejo del suelo en áreas agrícolas que alteran sus propiedades naturales, haciendo los cultivos más vulnerables en caso de episodios de sequías; o la falta del uso de recursos alternativos como la reutilización y la desalación que limitan la capacidad de respuesta ante situaciones de riesgo.

- **La vulnerabilidad económica**, en el caso del sector del agua en países desarrollados, hace referencia a la falta de recursos económicos y a la toma de decisiones en este marco que condicionan que las afecciones de un peligro climático tengan mayores repercusiones y limitan la capacidad de adaptación. En el caso de España, existe una dependencia del agua en determinados sectores económicos, especialmente la agricultura, la ganadería y el turismo, que hace que zonas exclusivamente dependientes de cada uno de estos sectores sean muy vulnerables ante la falta de agua. La ocurrencia de sequías conlleva unos costes de recuperación, asociados a la reactivación del sector agroalimentario y la industria (como la subida de precios para compensar las caídas de volumen, adaptación a técnicas de riego más eficientes o ayudas a agricultores). De la misma forma, la limpieza, reparación y recuperación tras inundaciones requieren del uso de fondos que pueden llegar muy lentamente, prolongando los impactos del desastre.

Existen además **factores de riesgo subyacentes** (antropogénicos no climáticos) que pueden agravar tanto la exposición como la vulnerabilidad del sector hídrico frente a los peligros climáticos previamente descritos. En particular, el desarrollo urbano, agropecuario, industrial y turístico condiciona la evolución de los recursos hídricos en diversos aspectos (**Figura 1**). Por un lado, la deforestación y cambios en los usos de suelo alteran los hábitats de las zonas húmedas mediante la ocupación de llanuras de inundación, canalización y rectificación de cauces y desconexión de humedales. Por otro, cambios en la demanda y disponibilidad y calidad del recurso pueden ocasionar un déficit de agua que dé lugar a la sobreexplotación de recursos por su uso intensivo y a la generación de conflictos entre los sectores demandantes de agua y conflictos territoriales. El aumento de la temperatura tiene un efecto directo en el aumento de la demanda energética. Por último, la contaminación difusa procedente de la agricultura y ganadería y la puntual generada por vertidos de aguas residuales urbanas empeoran la calidad del agua disminuyendo su disponibilidad para los distintos usos.

Agua y recursos hídricos

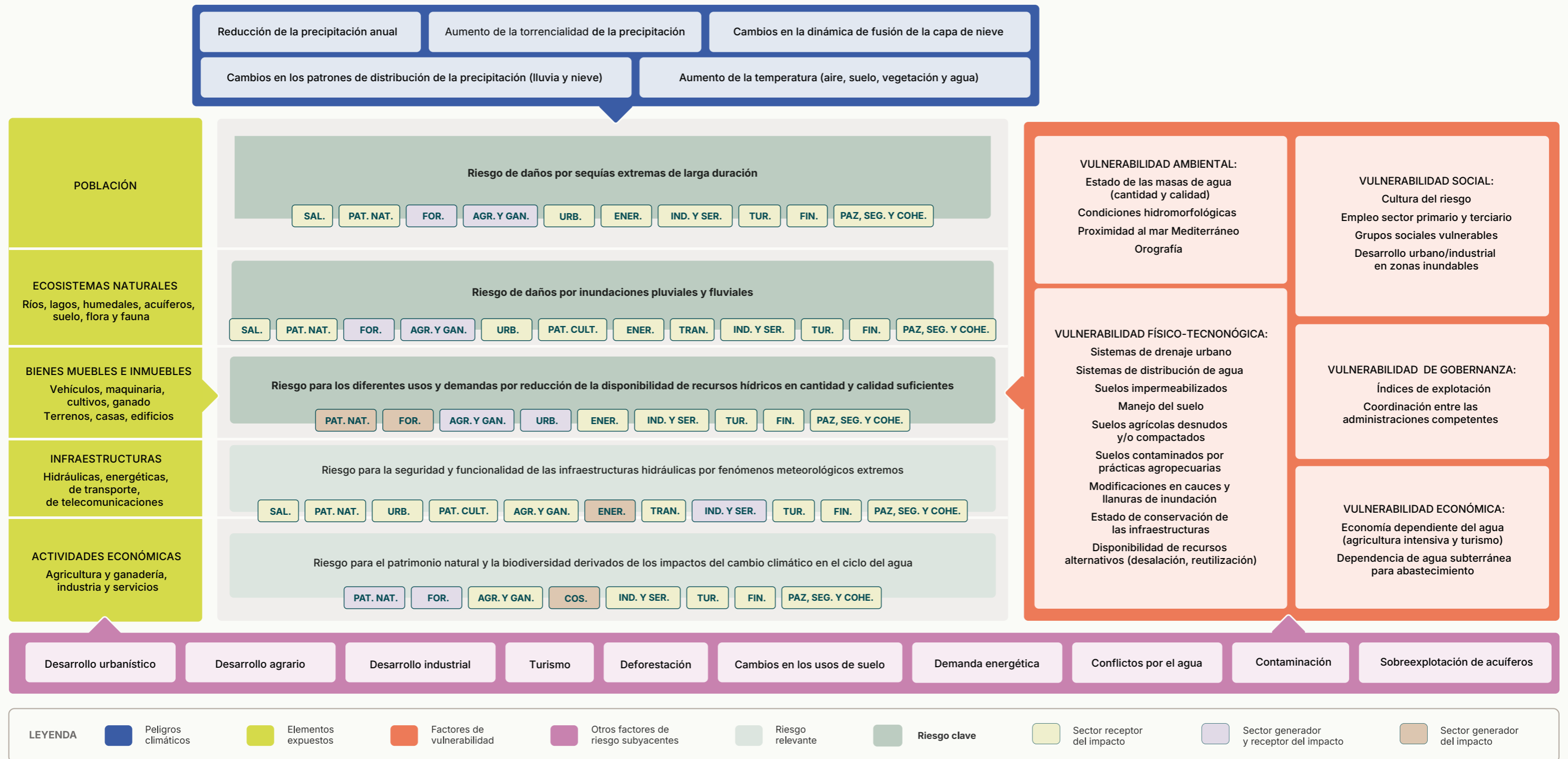


Figura 1. Modelo conceptual elaborado para el agua y recursos hídricos para facilitar la comprensión, visualización y priorización de las distintas componentes de los riesgos relevantes (situados en el centro del modelo) que caracterizan el sector: peligros climáticos, elementos expuestos, vulnerabilidades y otros factores de riesgo subyacentes. Este esquema sigue el marco establecido en la Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto del cambio climático, desarrollada por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022). Para los riesgos claves, se han identificado como factores generadores y/o receptores del riesgo aquellos identificados en el capítulo de Riesgos Complejos. Para los riesgos relevantes, se ha seguido el mismo criterio que en el mencionado capítulo a criterio de los autores. Fuente: elaboración propia basada en UNDRR (2022).



Los riesgos relevantes identificados para el sector se resumen en la **Tabla 1** y se describen a continuación:

Tabla 1. Listado de Riesgos Relevantes (RR) en el sector Agua y recursos hídricos

Id.	Subsistemas	Riesgo Relevante	Riesgo Clave
RR2.1	Medio natural Usos del agua	Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración	RC2.1
RR2.2	Medio natural Sistemas antrópicos Ciclo integral del agua	Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales	RC2.2
RR2.3	Medio natural Usos del agua	Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes	RC2.3
RR2.4	Medio natural Sistemas antrópicos Ciclo integral del agua	Riesgo para la seguridad y funcionalidad de las infraestructuras hidráulicas por fenómenos meteorológicos extremos	
RR2.5	Medio natural	Riesgo para el patrimonio natural y la biodiversidad derivados de los impactos del cambio climático en el ciclo del agua	

Es necesario señalar que el riesgo RR2.5 resultó seleccionado en el AMC al mismo nivel que el RR2.3. Sin embargo, este riesgo queda incluido en el capítulo sectorial Patrimonio natural y biodiversidad, por lo que en este capítulo nos limitamos a su consideración como riesgo relevante, siendo abordado con mayor detalle en el capítulo sectorial Patrimonio natural y biodiversidad.



3.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración

En España, el riesgo de daños por sequías extremas de larga duración está condicionado principalmente por la reducción de las precipitaciones y el cambio en su distribución, a lo que se une el aumento de la temperatura. En el Catálogo sobre Sequías Históricas (CEDEX, 2013) se recogen más de 184 episodios de sequía registrados desde el 1059 a.C. hasta el primer tercio del XX. Desde entonces, cabe destacar 5 grandes sequías en España: (i) la sequía de 1944-1946 (Lorente, 1945) que afectó principalmente al sector agrícola de la zona centro y sur, así como al abastecimiento y producción eléctrica; (ii) la sequía de los años 1979-1983 (Pérez Cueva, 1983), que afectó a prácticamente la totalidad del territorio peninsular con consecuencias para la agricultura y restricciones al abastecimiento en algunas grandes poblaciones (Sevilla, Badajoz y Ciudad Real); (iii) la sequía que tuvo lugar entre 1991-1995 (Llamas, 1997), con un impacto directo en las regiones central y meridional de España y con afección, de nuevo, al abastecimiento de más de 12 millones de personas que sufrieron restricciones al uso durante este periodo; (iv) la sequía producida entre los años 2016-2017, con el año 2017 considerado como el segundo más seco desde que hay registros, en la que Galicia y Castilla León fueron las comunidades más afectadas, con grandes pérdidas de las cosechas de cereal y un alto impacto en la ganadería, así como una subida considerable del precio de la electricidad (MAPAMA, 2017b); (v) finalmente, la sequía de los años 2022-2023 afectó especialmente a las cuencas catalanas, donde los niveles de precipitación estuvieron muy por debajo de la media histórica afectando la agricultura y al abastecimiento (Bellvert *et al.*, 2025).

Las proyecciones climáticas apuntan a que la frecuencia e intensidad de estas sequías continuará en ascenso (Noguera *et al.*, 2023; Vicente-Serrano, 2022) debido al aumento de las temperaturas y a la reducción de las precipitaciones que se estima que a finales del siglo XXI pueda alcanzar entre el 30-40 % de la actual en el peor escenario de emisiones (Carvalho *et al.*, 2022), no siendo este cambio homogéneo a lo largo del año, y viéndose especialmente acentuado en otoño e invierno (MITECO, 2024). Todo ello implicará una reducción de la producción agraria, especialmente en los cultivos de secano (Gratsea *et al.*, 2022). También se verá afectada la producción de energía hidroeléctrica, debido a la menor disponibilidad de recursos hídricos (Solaun y Cerdá, 2019), y el turismo, con un cambio en los patrones de comportamiento (De la Vara *et al.*, 2024), viéndose favorecidas las zonas con climas menos extremos, en este caso el norte de España. Además, también afectará a las masas forestales, aumentando la desertificación y el riesgo de incendio, así como a los ecosistemas derivados, destruyendo hábitats y afectando al patrimonio natural.

Para afrontar e implementar estrategias de adaptación frente al riesgo de daños por sequía extrema, la Ley 10/2001, del Plan Hidrológico Nacional, exige en su artículo 27 la elaboración de



Planes Especiales de Sequía (PES). Así, las Confederaciones Hidrográficas han desarrollado los PES en el ámbito de su demarcación, como instrumento de gestión extraordinario con el objetivo de minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales de eventuales episodios de sequías coyunturales y situaciones de escasez (sequía hidrológica). La última versión publicada de los PES de las cuencas intercomunitarias fue aprobada el 26 de diciembre de 2018, mientras que las de las demarcaciones intracomunitarias han sido aprobadas entre los años 2017 y 2022. La versión revisada de los PES está en su fase final e incorpora avances significativos en materia de adaptación al cambio climático.

3.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales

En España las inundaciones son un riesgo recurrente; son el peligro natural más devastador en términos de pérdidas humanas y económicas (Barriendos et al., 2019; WWA, 2024). El Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas recoge unas 3000 inundaciones en los últimos 500 años. Entre ellas destacan en el último siglo: la riada de Málaga en septiembre de 1907, con 21 decesos (Pérez-Frías, 2018); la gran riada de Valencia en octubre de 1957, con 81 muertes; la riada del Vallés en 1962, con 800 víctimas mortales; la riada de 1973 en el sureste español y la inundación en Biescas de 1996, con 86 decesos. Otros episodios producidos durante el primer cuarto del siglo XXI fueron las inundaciones de Andalucía, Murcia y Valencia en 2012, y Mallorca en 2018, ambas con 12 víctimas mortales. A estas cifras se suman las de las recientes inundaciones de octubre de 2024 en Valencia y otras zonas del Mediterráneo (Albacete, Cuenca y Málaga), donde la repentina crecida de cauces produjo la pérdida de 232 vidas humanas (Moncloa, 2025) y unas pérdidas que llegaron a los 17.000 millones de euros (Pérez et al., 2025). Todas estas inundaciones generaron grandes pérdidas humanas y de bienes muebles e inmuebles (Barriendos et al., 2019; Bravo-Paredes et al., 2021; Gil-Guirado et al., 2022; Pérez et al., 2025; Sánchez-García y Schulte, 2023).

A partir de los datos de inundaciones históricas, se observa una tendencia al aumento de inundaciones en zonas costeras próximas al Mediterráneo (Sánchez-García y Schulte, 2023). Este tipo de inundaciones son producidas por lluvias de carácter torrencial, generadas mayormente por precipitaciones convectivas, o bien por una depresión aislada de niveles altos (DANA). En ambos casos, la principal causa del episodio de precipitación intensa es el aumento de la temperatura del mar Mediterráneo, especialmente en verano (Soto-Navarro et al., 2020). En el caso de la DANA, la alta temperatura del mar es el motor generador de la inestabilidad atmosférica creada por la diferencia de temperatura en el perfil vertical de la atmósfera entre el mar y las capas altas de la atmósfera (Amengual, 2025; Miró et al., 2018). En el caso de la precipitación convectiva, la



temperatura alta del mar favorece su evaporación dotando a la atmósfera de un aire muy húmedo que al ascender puede generar grandes volúmenes de precipitación (Llasat *et al.*, 2016). Según la *World Weather Attribution* (WWA, 2024), en el sureste español, durante los últimos 75 años, entre los meses de septiembre y diciembre, los extremos de precipitaciones diarias han aumentado significativamente, duplicando aproximadamente su probabilidad y aumentando su intensidad en un 12 %. Así, aunque las inundaciones pueden ocurrir en cualquier época del año, en España el 65,8 % se producen durante estos meses (CCS, 2024).

Sin embargo, existen otros condicionantes que pueden generar inundaciones. En cuencas en las que el agua acumulada en la capa de nieve constituye un volumen considerable del total de los recursos hídricos, los cambios en los patrones estacionales de la dinámica de la nieve – nevadas más tardías, adelanto de la fusión primaveral, aparición de eventos de lluvia sobre nieve – pueden generar también inundaciones. Este es un caso recurrente en las cuencas de cabecera de los Pirineos, la Cordillera Cantábrica, los Sistemas Central e Ibérico y Sierra Nevada, que se encuentra altamente influenciada por la dinámica de la capa de nieve del Pirineo (Balasch *et al.*, 2019).

En cuanto a los escenarios futuros, las proyecciones climáticas muestran un aumento significativo de eventos con caudal máximo por encima del periodo de retorno de 100 años en la mayor parte de Europa, y un aumento de la magnitud de las inundaciones en el sur de Europa (Alfieri *et al.*, 2017; Dankers *et al.*, 2014; Forzieri *et al.*, 2016; Hirabayashi *et al.*, 2013; Rojas *et al.*, 2012; Roudier *et al.*, 2016; Thober *et al.*, 2018). En España, las proyecciones apuntan a un aumento de los extremos superiores de precipitación especialmente a lo largo de la costa mediterránea y el sur de la península en los meses de verano y comienzo del otoño (Molinié *et al.*, 2016), zonas que están más expuestas a inundaciones. Estos cambios se encuentran condicionados al aumento de la temperatura del Mediterráneo, especialmente en verano (Soto-Navarro *et al.*, 2020). Del mismo modo, los estudios de Zittis *et al.* (2021) y Del Jesus y Díez-Sierra (2023) prevén un aumento de las precipitaciones extremas de 50 y 100 años de periodo de retorno, las cuales se encuentran asociadas a riesgos de inundaciones. El MITECO (2021b) ha realizado un estudio para valorar la influencia del cambio climático en España para una serie de periodos de retorno (10, 100 y 500 años) y para diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP4.5, RCP8.5). Se han detectado cambios que conllevan un aumento de episodios de lluvias torrenciales e inundaciones en determinadas zonas, entre las que destacan las cuencas del Ebro, el alto Guadiana y el bajo Segura. Por otro lado, según MITECO (2024), se espera un acortamiento de la temporada de nieve y un cambio en los patrones espaciotemporales, lo que puede tener relación con la influencia de la dinámica de la nieve en inundaciones.

En España, el Real Decreto 903/2010 de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación transpuso la Directiva de Inundaciones de la Unión Europea (EC, 2007) y creó los Planes de Gestión



del Riesgo de Inundación (PGRI) a nivel de demarcación hidrográfica, con el objetivo de lograr una actuación coordinada entre administraciones públicas y sociedad para reducir las consecuencias negativas de las inundaciones. Así, cada Confederación Hidrográfica tiene sus propios PGRI, que se actualizan cada seis años y abordan la gestión de inundaciones en el ámbito de sus competencias mediante: (i) la identificación de Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) que definen la exposición y el peligro de inundación, considerando escenarios de alta, media y baja probabilidad de inundación; (ii) la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI); y (iii) la adopción de medidas adecuadas y coordinadas para reducir el riesgo de inundación en esas zonas, centradas en la población, las actividades económicas, los puntos de especial relevancia y los aspectos ambientales. Los PGRI del segundo ciclo actualmente aprobados incluyen entre su contenido las conclusiones de los mapas de peligrosidad y riesgo.

3.3. Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes

En España, el uso del agua como recurso para el desarrollo económico es clave, de ahí que la aparición de situaciones de escasez suponga un riesgo estructural. Este riesgo, al igual que el RC1, se genera como consecuencia de la reducción de la precipitación, cambios en sus patrones de distribución y aumento de la demanda evaporativa por el aumento de temperatura. Sin embargo, mientras que en el caso del RC1 se trata de sequías extremas de larga duración que realmente tienen impactos directos en múltiples sectores (p. ej., afectando a cosechas, a la salud humana y a los incendios forestales), en el caso del RC3 existen factores antrópicos subyacentes derivados de la sobreexplotación de recursos por el uso intensivo del agua, la contaminación o la necesidad de armonización de las políticas públicas relacionadas con el uso del agua, que tienen especial influencia en el riesgo.

En nuestro país, el 71,6 % de los recursos hídricos que abastecen los usos consuntivos proviene de aguas superficiales (embalses, ríos, lagos), siendo un 23,1 % en términos medios el que proviene de aguas subterráneas (acuíferos, pozos) (MITECO, 2021a). La distribución según la procedencia del recurso no es homogénea a lo largo del territorio, aumentando considerablemente el uso de aguas subterráneas en todas las demarcaciones de levante (MITECO, 2021a). Además, el 2,8 % de los recursos hídricos utilizados provienen de fuentes alternativas (desalación y reutilización), concentrándose su uso principalmente en las demarcaciones del Segura, las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, los archipiélagos y las ciudades autónomas (MITECO, 2021a). El 2,5 % restante corresponde a recursos procedentes de transferencias entre cuencas.



Las proyecciones climáticas apuntan a una reducción de la precipitación y a un aumento de la temperatura (Noguera *et al.*, 2023; Vicente-Serrano, 2022), alterando la dinámica del ciclo hidrológico y haciendo que los patrones de escorrentía superficial, infiltración de agua en el suelo y recarga de acuíferos, entre otros, se vean modificados (IPCC, 2022; MITECO, 2020). Estos cambios modificarán los volúmenes de agua disponible con respecto al periodo de control 1961-2000 y, por tanto, condicionarán su uso. En relación con las aguas superficiales se espera una tendencia decreciente en los volúmenes de escorrentía superficial con una disminución media en España del 24 % para el periodo 2070-2100 en el peor escenario de emisiones (MITECO, 2021a). En el caso del agua subterránea, las proyecciones futuras no son tan claras como para el agua superficial, y subestiman los efectos del cambio climático, siendo necesario un mayor esfuerzo en la cuantificación de su impacto (CEDEX, 2017). Aun así, existen estudios que señalan que “bajo un escenario de calentamiento global de 2 °C se estima para España una reducción significativa en la recarga de aguas subterráneas de -3.272 hm³/año (Bisselink *et al.*, 2018) y un descenso en la recarga de acuíferos del 10 % al 20 % en el 53 % del territorio peninsular para 2045 (Pulido-Velázquez *et al.*, 2018)”.

Por otro lado, existe una preocupación creciente de que el crecimiento demográfico, la concentración de la población e industrias en un mismo territorio (He *et al.*, 2021a), así como el aumento de la agricultura intensiva y el consecuente aumento de la demanda de agua (Sánchez *et al.*, 2023), pongan en peligro el suministro de agua para los usos más demandantes (Vargas y Paneque, 2019). Estos factores también inciden en la pérdida de calidad del recurso por fuentes de contaminación puntuales (vertidos de aguas residuales urbanas, industriales), difusas (fertilizantes y productos fitosanitarios derivados de la agricultura, purines y estiércoles de ganadería) o por intrusión salina en áreas costeras sobreexplotadas, que deterioran el medio e inciden también en una pérdida de la capacidad de satisfacción de las demandas por parte de los organismos de gestión (Wang *et al.*, 2024). Asimismo, la afección a la calidad de los recursos hídricos está también estrechamente relacionada con las comunidades biológicas acuáticas que generan floraciones de cianobacterias tóxicas y crecimiento de organismos productores de malos olores, que a su vez están influenciadas por peligros climáticos y otros estresores ambientales (eutrofización).

En España, la competencia en la gestión de los recursos hídricos en una cuenca la tienen los organismos de cuenca estableciéndose éstos en los PHC. Estos planes se basan en ciclos de planificación periódicos, generalmente de seis años, que comienzan con la elaboración de documentos iniciales, pasan por un Esquema de Temas Importantes y culminan en la propuesta del plan hidrológico, todo ello con procesos de consulta pública para garantizar la participación ciudadana. Actualmente están vigentes los correspondientes al tercer ciclo de planificación (2022-2027), estando en preparación los del cuarto ciclo (2028-2033).



3.4. Riesgo para la seguridad funcional de las infraestructuras hidráulicas por fenómenos meteorológicos extremos

Las infraestructuras hidráulicas son claves en el sector del agua como elementos de captación, almacenamiento, tratamiento, distribución de los recursos hídricos, saneamiento y depuración. Su seguridad está intrínsecamente ligada, entre otros, a fenómenos meteorológicos extremos que se verán exacerbados con el cambio climático.

Las presas son las principales infraestructuras hidráulicas de almacenamiento y regulación de recursos hídricos que aseguran su disponibilidad para los diferentes usos y demandas, y facilitan el control y la laminación de avenidas para la reducción del riesgo de inundación. Con 2453 presas y un volumen que puede alcanzar los 61.000 hm³, España es el primer país de la Unión Europea y el décimo a nivel mundial en número de presas (Lax-Martínez, 2024). Un 44 % de dichas presas (1093 presas) han sido además catalogadas como grandes presas según los criterios de la *International Commission of Large Dams* (ICOLD, 2016), poniendo de manifiesto su relevancia como infraestructura de gestión de recursos hídricos.

La mayor parte de estas presas fueron construidas durante el siglo XX. Sin embargo, el intenso ritmo de construcción no se ha visto acompañado de un esfuerzo equivalente en materia de explotación y control de la seguridad de las presas (MITECO, 2023). Un hito fundamental en este aspecto fue la unificación, en 2021, de la *Instrucción de 1967* y el *Reglamento Técnico de 1996* en unas normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses (RD 264/2021). En ellas, se pone de manifiesto la necesidad de incluir los posibles efectos del cambio climático en aspectos de seguridad. De igual forma, el documento sobre las *Líneas de Actuación para la Mejora de la Seguridad de Presas 2023-2033* (MITECO, 2023), que examina la situación actual de las presas españolas en materia de seguridad y plantea las líneas de actuación para su mantenimiento y mejora, señala la mejora de la adaptación de las presas al cambio climático como una prioridad dentro de la "Línea de actuación 5: Promoción de forma continua de la investigación, la mejora del conocimiento y la mayor formación e intercambio de experiencias en materia de seguridad de presas y embalses".

Las proyecciones de cambio climático para la península ibérica apuntan hacia cambios en los patrones de distribución de la precipitación (Barriandos *et al.*, 2019; Del Jesús y Díez-Sierra, 2023), una reducción de su volumen anual (MITECO, 2024; Sanz y Galán, 2020; Vicente-Serrano *et al.*, 2014) y un aumento de la torrencialidad (Matte *et al.*, 2022); acompañado de un aumento generalizado de la temperatura (Rouhani *et al.*, 2025). Estos cambios tendrán consecuencias directas en las infraestructuras hidráulicas. En relación con las presas, estos peligros climáticos podrían suponer



un riesgo para su funcionalidad (Stamou *et al.*, 2025). Las sequías implican un menor aporte de agua a los embalses y, consecuentemente, una disminución en el volumen de agua almacenada, que puede derivar en: la pérdida de estabilidad en los taludes del vaso del embalse (Damiano y Mercogliano, 2013; Fluixá-Sanmartín *et al.*, 2018); el aumento en las concentraciones de sustancias disueltas en el embalse, entre ellas contaminantes (Benítez-Cano *et al.*, 2024; Lin *et al.*, 2023); o la variación en la estabilidad térmica vertical de la columna de agua con implicaciones directas en los procesos de mezcla en el embalse, que puede producir el deterioro de la calidad del agua y un posible aumento de la eutrofización (Rigotti *et al.*, 2023). En el mismo contexto, el aumento de la torrencialidad de la precipitación implica más energía y mayor potencial de erosión del suelo en la cuenca vertiente del embalse, produciendo el arrastre de vegetación u otros elementos localizados en los cauces. Además, los sedimentos transportados producen un aumento de la turbidez en el embalse (González-Rodríguez *et al.*, 2023; Vicente-Serrano *et al.*, 2017) que puede derivar, en el largo plazo, en posibles problemas de colmatación (Millares y Moñino, 2018). De igual forma, la mayor probabilidad de ocurrencia de eventos extremos lleva implícita la necesidad de disponer de una mayor capacidad de laminación en los embalses para hacer frente a posibles avenidas. Este incremento en la necesidad de resguardo disminuiría la capacidad de almacenamiento del embalse y consecuentemente el volumen de recursos hídricos disponibles (Ehsani *et al.*, 2017).

En cuanto al resto de infraestructuras hidráulicas, el otro gran grupo engloba a aquellas responsables del ciclo urbano del agua, que llevan a cabo los procesos de captación del agua en la naturaleza, su potabilización, distribución a los hogares en zonas urbanas y rurales, su recolección tras el uso y su tratamiento final para devolverla al medio ambiente. En España, existen más de 155.000 km de redes de distribución para abastecimiento, incluyendo captaciones, aducciones, depósitos, canales, tuberías, más de 140.000 km de redes de alcantarillado, cientos de estaciones de tratamiento de agua potable y de depuración de aguas residuales, desaladoras y estaciones de bombeo. En total, estas infraestructuras se encargan de proporcionar unos 5.000 hm³ de agua al año para uso urbano (Atarés, 2016; Cabrera, 2007). Durante los últimos años ha habido una reducción de la inversión en el mantenimiento de todas estas infraestructuras con consecuencias para su funcionamiento que engloban pérdidas de agua, capacidad insuficiente o cortes de agua recurrentes (Herrero, 2016). En estos casos los episodios de sequía podrían favorecer la aparición de escenarios de escasez de suministro con la consecuente aparición de problemas asociados al no funcionamiento de estas infraestructuras (Rubio-Martín *et al.*, 2023). De igual forma, un mayor número de episodios de lluvias torrenciales podrían implicar un colapso de los sistemas de saneamiento de agua (Andrés-Doménech *et al.*, 2021). El aumento de la temperatura podría acarrear problemas de olores en estaciones de depuración, así como la pérdida de eficacia en algunos de los procesos de depuración (Sinharoy *et al.*, 2025). En cualquier caso, el número de estudios sobre los posibles efectos del cambio climático sobre estas infraestructuras es más reducido que en el caso de las presas (Herrero, 2016). La mayor parte de los estudios coinciden en que, para este tipo



de infraestructuras hidráulicas, los condicionantes locales poseen mayor peso en las implicaciones de los peligros climáticos (Dong *et al.*, 2020).

La monitorización del estado de las infraestructuras y su funcionamiento es clave a la hora de poder tomar medidas de adaptación. En esta línea, el *Proyecto Estratégico para la Recuperación y la Transformación Económica (PERTE) de digitalización del ciclo del agua 2022-2026* pretende emprender una completa modernización del ciclo del agua con el fin de avanzar hacia una gestión más eficiente y un mejor conocimiento de la situación actual de las infraestructuras hidráulicas.

3.5. Riesgo para el patrimonio natural y la biodiversidad derivado de los impactos del cambio climático en el ciclo del agua

Los ecosistemas acuáticos (ríos, lagos, humedales, estuarios, entre otros) están sometidos a constantes presiones que han hecho que su calidad ecológica se haya visto deteriorada a lo largo del último siglo. El último informe de la Comisión Europea sobre el cumplimiento de la DMA en España (EC, 2025) pone de manifiesto que sólo el 58 % de las masas de agua superficiales poseen un buen estado ecológico; a pesar de que este porcentaje se encuentra por encima de la media europea, del 39,5 %, se encuentra aún lejos de alcanzar el óptimo.

En nuestro país el no cumplimiento de este estándar de calidad está relacionado principalmente con factores antrópicos subyacentes, principalmente: la contaminación difusa por nutrientes procedente de la agricultura y la ganadería (Contreras *et al.*, 2023; López-Ballesteros *et al.*, 2023); la contaminación puntual procedente de las aguas residuales urbanas (Contreras *et al.*, 2024; Dulsat-Masvidal, *et al.*, 2023); la sobreexplotación de acuíferos (Green *et al.*, 2024) y, la alteración de los hábitats debido a cambios morfológicos - rectificación de cauces, canalizaciones, cambios en la estructura del bosque de ribera y la ocupación de su llanura de inundación - en las masas de agua con la consecuente pérdida de conectividad longitudinal, transversal y vertical (Fazelpoor *et al.*, 2021; Nieto-López *et al.*, 2020).

Estos factores se ven directamente condicionados e intensificados por los efectos del cambio climático. El cambio en los patrones de distribución de la precipitación, con variaciones en la cantidad y periodos en que se producen, así como el aumento de la temperatura, son los principales peligros climáticos que afectan a los ecosistemas acuáticos, modificando tanto la calidad como la cantidad de agua. Estos peligros se verán acentuados de acuerdo con las proyecciones de cambio climático en España (MITECO, 2024).



Por un lado, el aumento de la temperatura modifica la estratificación en lagos y embalses, creando capas de agua más cálidas y menos densas que se mantienen en las partes superiores, mientras que las capas más frías y densas se hunden en el fondo. Este proceso limita la mezcla vertical, agotando el oxígeno en las capas profundas y cambiando la distribución de nutrientes. Cuando existe además elevada presencia de nutrientes en los ecosistemas acuáticos, ocurren procesos de eutrofización en condiciones anóxicas que favorecen el crecimiento de algas y plantas acuáticas, así como la proliferación potencial de cianobacterias (Camargo *et al.*, 2025; Pérez-Martín *et al.*, 2023). Estos cambios en lagos y embalses pueden derivar en mortalidad de peces y la pérdida de macroinvertebrados, al reducirse el oxígeno disponible, alterando el equilibrio del ecosistema (Pinero-Rodríguez *et al.*, 2021). Los efectos pueden variar dependiendo de si los sistemas son someros o profundos. En sistemas someros la influencia de las comunidades de macrófitos es más relevante y estos compiten por nutrientes y luz con las comunidades fitoplanctónicas (entre ellas, cianobacterias potencialmente tóxicas), siempre y cuando no se sobrepase un umbral de turbidez determinada y tengan suficiente luz disponible.

Estrela-Segrelles *et al.* (2023) abordan la vulnerabilidad de las masas de agua en España a los riesgos del cambio climático asociados con el avance gradual del aumento de la temperatura, mediante indicadores que integran peligro, exposición y vulnerabilidad. Basado en un aumento de la temperatura del cauce de 1,0 a 3,9 °C según el escenario, cuantifican en un 16 % la pérdida de las condiciones de hábitat por disminución del contenido de oxígeno para las especies de agua fría en el escenario de cambio climático más desfavorable (RCP8.5) en el corto plazo (2020-2050), alcanzando un 23 % en el medio plazo (2050-2080), y a un 40 % en el largo plazo (2080-2110). Sus resultados muestran además que en el 60 % de los cursos de agua analizados la vegetación de ribera posee una alta vulnerabilidad a presentar alteraciones en su estructura, cobertura y calidad. El impacto del cambio climático en las condiciones de hábitat por aumento de la temperatura del agua afecta primero a los tramos intermedios de los ríos, favoreciendo la migración de los peces hacia las cabeceras (García-Vega *et al.*, 2018) en aquellos casos en los que la pérdida de conectividad del cauce no lo impide. Sin embargo, las previsiones de cambio climático apuntan a que la barrera térmica se desplazará río arriba con la altitud hacia las cabeceras, por lo que las condiciones no serán óptimas tampoco en estas zonas. Según la *International Union for Conservation of Nature*, alrededor del 56 % de las especies endémicas de peces de agua dulce están amenazadas en la región mediterránea (IUCN, 2006) por la pérdida de hábitat y conectividad, así como por otros peligros tales como la contaminación y extracción de agua, sequía, la presencia de especies invasoras y la construcción de presas.

Por otro lado, los cambios en los patrones de precipitación no implican necesariamente una reducción uniforme del recurso hídrico, pero sí una mayor variabilidad espacial y temporal, con tendencia a la reducción de caudales, que se acentúa en algunas regiones del territorio. La reducción de



caudal en los cursos de agua podría llevar asociado un deterioro de la calidad del agua durante las sequías, por pérdida importante en la capacidad de dilución y un mayor contenido de pesticidas, nitratos, fósforo y amonio si se producen escorrentías o pulverizaciones (Bolan *et al.*, 2024; Dorado-Guerra *et al.*, 2023), así como y una disminución del oxígeno disuelto (Jiang *et al.*, 2025) aumentando la toxicidad para los ecosistemas (MITERD, 2022). Una de las principales medidas a implementar para mitigar los efectos de la escasez de agua en los ecosistemas acuáticos mediterráneos es el establecimiento de un régimen adecuado de caudal ecológico. El caudal ecológico es aquel que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, 2008). En el caso de ecosistemas costeros, el cambio en los patrones de precipitación que alteran los caudales de los ríos y la recarga de acuíferos, junto con la subida del nivel del mar, tiene consecuencias en la alteración de la dinámica de salinidad, con implicaciones para los ecosistemas (de Felipe *et al.*, 2023; Green *et al.*, 2024; MITERD, 2022).

El riesgo para el patrimonio natural y la biodiversidad derivado de los impactos del cambio climático en el ciclo del agua se considera un riesgo clave parcialmente incluido dentro de uno de los riesgos clave del sector Patrimonio Natural y la Biodiversidad. Por eso, aunque este riesgo está estrechamente vinculado a las alteraciones en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, su análisis se aborda detalladamente en este otro capítulo.



4. Riesgos clave

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). Para la identificación de los riesgos clave del sector agua y recursos hídricos, los cinco riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (2022) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts y Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa (EEA, 2024).

La aplicación de dichos criterios al sector Agua y recursos hídricos y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante pueden consultarse en detalle en el AMC. Las puntuaciones más altas se obtuvieron para los siguientes riesgos relevantes que son catalogados como “Riesgos Clave” y se analizan en profundidad en la siguiente sección:

- RR2.1 Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración (RC2.1).
- RR2.2 Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales (RC2.2).
- RR2.3 Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes (RC2.3).

Del AMC se desprende que el riesgo relevante RR2.5 obtiene la misma puntuación que el riesgo RR2.3. Sin embargo, este riesgo se describe en profundidad en el Capítulo 3 de Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas.

A continuación, se describen en detalle los riesgos clave identificados.



4.1. RC2.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración

De entre los riesgos que obtuvieron una mayor valoración en el AMC, se va a analizar en profundidad en primer lugar el **riesgo de daños por sequías extremas de larga duración**.

La sequía es un fenómeno climático caracterizado por la falta prolongada de agua, ya sea por escasez de lluvias, baja humedad o déficit en los recursos hídricos disponibles en una región. Así, se puede distinguir entre sequía meteorológica, cuando nos referimos a la reducción de las precipitaciones con respecto al promedio en una región y durante un periodo determinado; sequía agrícola, cuando hay menor disponibilidad de agua en los suelos; sequía hidrológica, cuando la reducción de las precipitaciones se traduce en menores caudales en los ríos, agua almacenada en los embalses o reservas subterráneas (Stahl y Demuth, 1999); y sequía socioeconómica, cuando la falta de agua impacta en la población y la economía (Wilhite y Glantz, 1985). Estas sequías se encuentran encadenadas, de forma que la aparición de una puede provocar la siguiente; a este fenómeno se le conoce como propagación de sequía (Van Loon, 2015). Por tanto, diferenciar entre los diferentes tipos nos permite analizar este riesgo clave de manera más precisa, siendo capaces de identificar sus consecuencias e impactos.

Las sequías de larga duración son un riesgo extraordinario del clima mediterráneo (Cos *et al.*, 2022). En España en el último siglo se han registrado varios episodios de sequía extrema de larga duración: 1944-1946, 1979-1983, 1991-1995, 2016-2017, 2022-2023, cuya duración e intensidad han ido aumentando (Vicente-Serrano *et al.*, 2014). Estas sequías se han distribuido de manera heterogénea en la península ibérica (Vicente-Serrano *et al.*, 2022). En particular, se observa una tendencia creciente del número de sequías en el noreste y sur peninsular, mientras que esta tendencia decrece en el norte de España, especialmente en Galicia (López-Díaz, 2023). Un estudio similar en el sur de España (Hurtado *et al.*, 2024) destaca el aumento de la frecuencia y duración de los periodos de sequía en esta zona.

La **Figura 2** muestra la cadena de impacto del riesgo clave, incorporando los componentes esenciales del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de la acción combinada de dichos componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco, donde confluyen los impactos físicos que resultan de los peligros, los elementos expuestos y los atributos que determinan su nivel de vulnerabilidad. A partir de este nodo central se despliegan las consecuencias del riesgo en forma de impactos directos, así como de riesgos en cascada, tanto propios del sector como derivados de su interrelación con otros sectores.

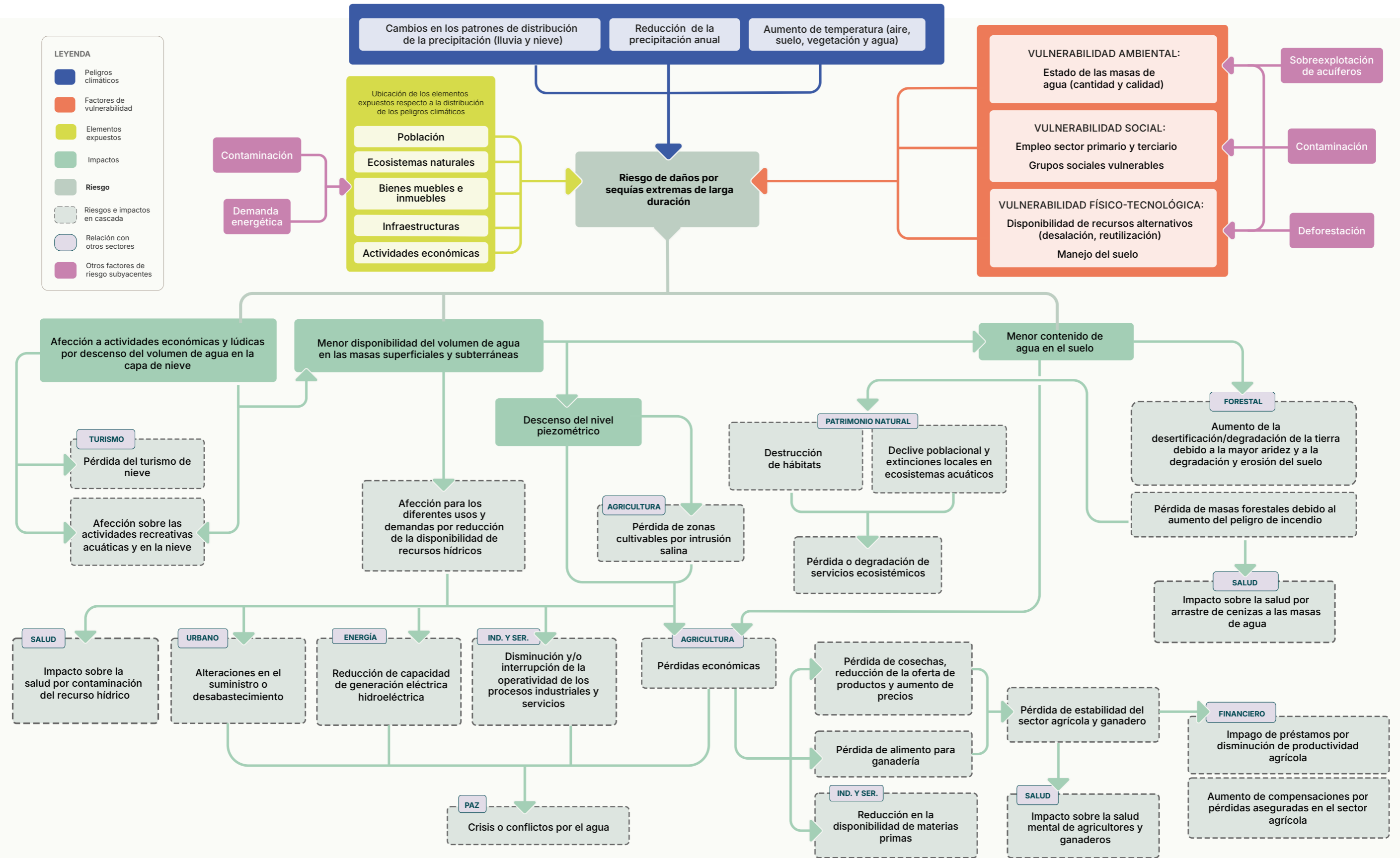


Figura 2. Cadena de impacto. RC2.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración.



A partir de la clasificación climática propuesta por el AR6 WGI del IPCC (Ranasinghe *et al.*, 2021) y de la literatura analizada asociada a este riesgo (Sanz y Galán, 2020; Vicente-Serrano *et al.*, 2014), se han identificado como los principales **peligros climáticos** del RC2.1: *los cambios en los patrones de distribución de la precipitación (lluvia y nieve), la reducción de la precipitación anual, y el aumento de la temperatura.*

La *reducción de la precipitación anual* es el principal peligro climático que genera una sequía meteorológica. Además, los *cambios en los patrones de distribución de la precipitación* pueden favorecer una alternancia de periodos de precipitaciones abundantes y largos periodos sin lluvia, que condicionan el volumen de agua almacenada en los diferentes elementos del sistema: capa de nieve (sequía de nieve), suelo (sequía agrícola), masas de agua (sequía hidrológica) o infraestructuras de almacenamiento (sequía socioeconómica) (de Luis *et al.*, 2010; Miró *et al.*, 2018). Por otro lado, el *aumento de la temperatura* provoca el aumento de la demanda evaporativa de la atmósfera favoreciendo las condiciones de falta de precipitación y un cambio en el reparto de los flujos de agua (evaporación-infiltración-escorrentia).

En este contexto, las proyecciones climáticas sobre la península ibérica apuntan a un aumento de la temperatura y a una reducción en la precipitación anual (MITECO, 2024), lo que favorecerá el aumento de la frecuencia e intensidad de las sequías (Noguera *et al.*, 2023; Vicente-Serrano, 2022). La mayoría de los estudios (p. ej., Camuffo *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2022; Peña-Angulo *et al.*, 2020; Senent-Aparicio *et al.*, 2023; Serrano-Notivol, 2017) apuntan a un ligero descenso (no significativo en todas las zonas) de los totales anuales desde la segunda mitad del siglo XX. El descenso general mostrado está condicionado por importantes contrastes espaciales, no siendo este cambio homogéneo a lo largo del año, destacando en otoño e invierno (MITECO, 2024). Además, el incremento de la temperatura aumentará la demanda evaporativa de la atmósfera, lo que, unido a la reducción de la precipitación, aumentará la aridez total, que se verá acentuada hacia finales de siglo (Gaitán *et al.*, 2020). Según estudios del CEDEX, estos peligros harán que los periodos de sequía de 2 y 5 años sean más frecuentes, incluso en los escenarios de bajas emisiones (CEDEX, 2017). Lorenzo *et al.* (2024) en un reciente estudio sobre sequías a mediados del siglo XXI apuntan a un aumento en la frecuencia, duración, número e intensidad en el norte y sur de la península y un comportamiento menos claro en el centro peninsular (**Figura 3**).

Como **elementos expuestos** del RC2.1, se han identificado cinco elementos: *población, ecosistemas naturales* (masas de agua, suelo, flora y fauna), *bienes muebles/inmuebles* (cultivos y ganado), *infraestructuras* (hidráulicas y energéticas) y *actividades económicas*.

La sequía puede generar situaciones de restricción de agua que pueden afectar al abastecimiento a la *población*. Del mismo modo, los *ecosistemas naturales* se verían expuestos a la sequía. Concreta-

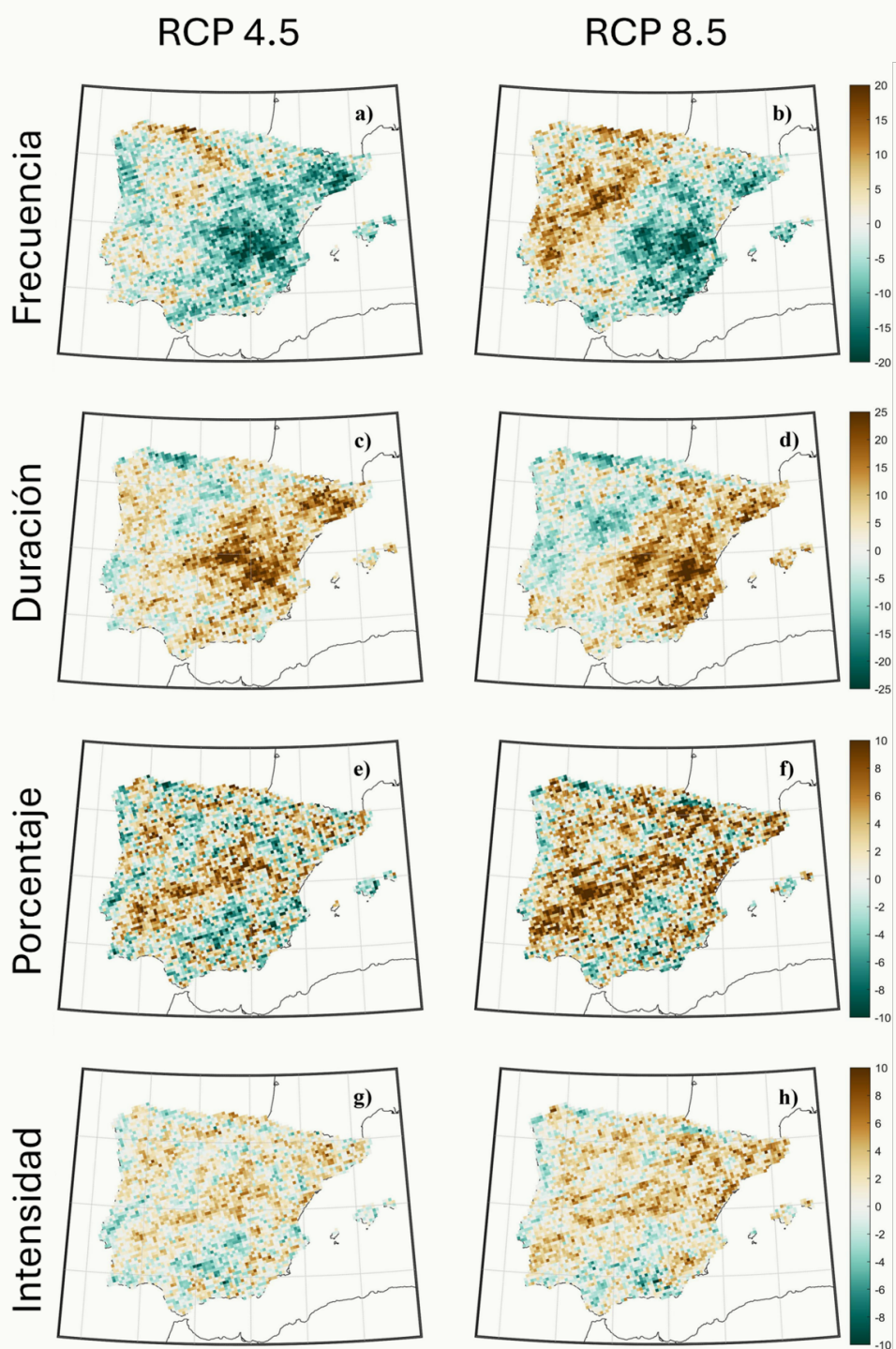


Figura 3. Cambios (%) (el color marrón indica que el porcentaje es positivo y por tanto existe un aumento de la variable, el color verde indica que el porcentaje es negativo y por tanto que existe una disminución) **del indicador de sequías SPI-3 en el periodo 2041-2075 relativos al periodo de referencia (1971-2005)**, para la frecuencia (a, b), duración (c, d), porcentaje de sequías (e, f) e intensidad (g, h) de las sequías de larga duración, para los escenarios futuros RCP 4.5 (bajas emisiones) y RCP 8.5 (altas emisiones), Lorenzo *et al.* (2024).



mente las masas de agua subterránea y las masas de agua superficiales, -incluyendo en estas tanto ríos, lagos, aguas de transición, y embalses (De Girolamo *et al.*, 2022), como otras masas de agua más pequeñas, como pequeños humedales (Downing *et al.*, 2006) - pueden verse expuestas a la disminución del recurso en términos cuantitativos (menor cantidad de agua disponible) y cualitativos (contaminación por concentración de contaminantes, intrusión salina) (Pulido-Velázquez *et al.*, 2018; Vicente-Serrano *et al.*, 2021). Esto hace que, por ejemplo, en ocasiones masas de agua permanentes se conviertan en temporales y masas de agua temporales desaparezcan por completo (Woolway *et al.*, 2022). Por otro lado, la sequía modifica la estructura del suelo favoreciendo su pérdida debido a un aumento de las tasas de erosión por la mayor erodibilidad (Masroor *et al.*, 2022), así como el correcto desarrollo y funcionalidad de los ecosistemas (Vicente-Serrano *et al.*, 2021). En relación con los *bienes muebles e inmuebles*, los principales elementos expuestos son los cultivos, debido a un menor volumen de agua en el suelo (sequía agrícola) y por extensión, el ganado, al disminuir las fuentes de agua y el forraje. Por último, *las infraestructuras* hidráulicas y de generación de energía y las *actividades económicas* dependientes del uso del agua, están también expuestas en situaciones de sequía, ante la necesidad de ver satisfecha su demanda de agua (BOE, 2023; Geng *et al.*, 2015; Hurtado *et al.*, 2024; Liu *et al.*, 2024; Martínez-Dalmau *et al.*, 2023; MITECO, 2020; Pérez-Pérez y Barreiro-Hurlé, 2009; Scott *et al.*, 2023; Torrelló-Sentelles y Franzke, 2022).

Entre los factores de **vulnerabilidad** para el RC2.1 se ha identificado **como vulnerabilidad ambiental el estado de las masas de agua**, tanto superficiales como subterráneas (Leduc *et al.*, 2017). Así, por ejemplo, una masa de agua en mal estado cuantitativo por sobreexplotación, o en mal estado químico por exceso de contaminación, se prevé menos resiliente ante de los efectos de una sequía de larga duración, ya que las condiciones de partida son más desfavorables pudiendo alcanzar un nivel de deterioro mayor, lo que dificultaría la recuperación del sistema.

Como factores de **vulnerabilidad social** se han identificado aquellas comunidades que dependen de la agricultura, ganadería y turismo (sector primario y terciario), al afectar la sequía directamente sus medios de subsistencia y aquellos grupos de personas con pobreza o bajos ingresos o sin acceso a servicios básicos, ya que pueden ver limitado aún más el acceso a agua, alimentos y otros recursos esenciales.

Finalmente, como **vulnerabilidades físico-tecnológicas** hay que señalar la *limitada disponibilidad de recursos alternativos*, como la desalación o la reutilización de aguas regeneradas. El uso de este tipo de recursos podría paliar los efectos de las sequías prolongadas. Sin embargo, en España la desalación apenas alcanza los 1.71 hm³ diarios, mientras que la reutilización se sitúa en niveles aún inferiores. Aun así, existen ciertas diferencias a nivel del territorio en la disponibilidad de estas tecnologías existiendo, por ejemplo, un gran volumen de recursos hídricos no convencionales (procedentes de reutilización y desalinización) en las demarcaciones insulares, en Ceuta y Melilla,



y en la demarcación del Segura. No hay que olvidar que las aguas regeneradas ya poseen un uso ambiental minimizando los impactos negativos de vertidos de aguas depuradas. Así, la reutilización es una opción interesante desde el punto de vista de la adaptación siempre que sustituya otras fuentes convencionales del recurso (aguas superficiales o subterráneas), de manera que no se incremente el consumo neto. Si, por el contrario, aumentamos la oferta y reducimos su retorno, estamos agravando el problema. Solo en el caso de depuradoras que vierten al mar se podría ampliar. De igual modo, el *manejo inadecuado del suelo*, mediante labranza intensiva y continua, o monocultivo, prácticas que degradan la estructura del suelo y reducen su contenido de materia orgánica y porosidad, disminuyendo así la infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua, puede aumentar la vulnerabilidad ante la sequía agrícola al disminuir su capacidad para retener agua (Du et al., 2022; Stanchi et al., 2021).

Existen **factores de riesgo subyacentes** que pueden suponer un incremento en la exposición de estos elementos ante los peligros climáticos y agravar la vulnerabilidad de los factores identificados. La *demand energética* de agua para generación de energía hidroeléctrica y para refrigeración en procesos industriales supone un factor de riesgo que afecta a las actividades económicas relacionadas. Cambios en la demanda y disponibilidad y calidad del recurso, puede ocasionar un déficit de agua que dé lugar a la sobreexplotación de recursos por el uso intensivo del agua. Un ejemplo es la *sobreexplotación de acuíferos* que se ha ido produciendo mediante pozos ilegales para regadío, acción que merma la capacidad de abastecimiento para pequeñas poblaciones que tienen en estos sistemas el acceso más cercano y de menor coste a agua potable (Agudo y del Moral, 2023). Además, el sistema se vuelve más vulnerable ante la sequía y los diferentes usos se ven más expuestos cuando existe *contaminación* difusa procedente de la agricultura y ganadería y contaminación puntual generada por vertidos de aguas residuales urbanas, que empeora la calidad del agua disminuyendo su disponibilidad para los distintos usos. Por último, la *deforestación* supone un factor agravante de la pérdida de capacidad del suelo para retener agua y aumenta su aridez.

La acción combinada de los peligros climáticos, la exposición y las vulnerabilidades provoca **impactos** significativos. Los impactos se relacionan con los distintos tipos de sequía. La sequía meteorológica supone una reducción de la precipitación, tanto en forma de lluvia como en forma de nieve, siendo el primer tipo de sequía en el proceso de propagación de sequía. En zonas de montaña, el *descenso del volumen de agua almacenada en la capa de nieve* (Pérez-Palazón et al., 2018) *afecta a actividades económicas y lúdicas* relacionadas con la presencia de nieve. Este menor volumen modificaría el reparto de los flujos de fusión y evaporesublimación (Scheidt et al., 2024). En zonas sin nieve las sequías impactarían directamente en un *menor contenido de agua en el suelo*, provocando la sequía agrícola, que afectará a las especies forestales y a los cultivos, tanto de secano como de regadío (Bellvert et al., 2025). Finalmente, podría existir una afección global por la *menor disponibilidad del volumen de agua en las masas superficiales* y



subterráneas, provocando así, la sequía hidrológica. La disminución en la disponibilidad de agua y el menor contenido de agua en el suelo puede producir un *descenso del nivel piezométrico* al verse afectada la recarga de acuíferos (Rouhani *et al.*, 2025), que a su vez puede favorecer la contaminación por intrusión salina en acuíferos costeros (Sanz y Galán, 2020). Las causas de la alteración en la recarga de acuíferos pueden ser naturales (reducción de la infiltración por sequía meteorológica e hidrológica), o antropogénicas (sobreexplotación de acuíferos por encima de su tasa de recarga, como sustitución de recursos no disponibles ante una sequía en el abastecimiento a la población y a los cultivos).

Como consecuencia de las sequías extremas de larga duración, y a partir de los impactos señalados, se han identificado una serie de **impactos y riesgos en cascada** relacionados con el propio sector Agua y recursos hídricos y con otros sectores.

La menor disponibilidad de agua hace que la cantidad de agua disponible en los sistemas de retención y regulación de la cuenca pueda verse reducida (Bellvert *et al.*, 2025; Pei *et al.*, 2025). Así, por ejemplo, con el descenso del volumen de agua en la capa de nieve se identifican riesgos relacionados con la disminución o incluso desaparición de actividades recreativas, deportivas tanto de la población local como del turismo de nieve, que afectará a las actividades económicas relacionadas (restauración y servicios). Otras áreas del *sector turismo* también podrían verse afectado por la menor disponibilidad y/o degradación de recursos hídricos, ocasionando la pérdida de usos recreativos (p. ej., navegación o pesca), o afectando a la experiencia del visitante (por pérdida de atractivos naturales y deterioro ambiental del medio) y la viabilidad económica del sector.

En el *sector salud*, cabe señalar el impacto sobre la salud de las personas que situaciones de contaminación del recurso hídrico, provocada por el menor volumen de agua disponible y el elevado aporte de contaminantes (p.ej., el vertido de aguas residuales), pueden provocar. La afección al *sector urbano* puede darse por alteraciones graves en el suministro; así como al *sector energía*, por pérdida de capacidad de generación de energía hidroeléctrica; y al *sector industria y servicios*, por provocar la interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios al requerir normalmente éstos un consumo de agua definido y constante (Valle-García *et al.*, 2025). En cuanto al *sector agricultura y ganadería*, en situaciones de sequía extrema de larga duración, la menor disponibilidad de recursos superficiales y subterráneos y el menor contenido de humedad en el suelo provocan estrés hídrico. En esta situación se producen pérdidas económicas al poner en riesgo la productividad de los cultivos, pudiendo producirse pérdidas de cosechas, pérdida pastos y de alimento para ganadería, reducción de la oferta de productos y aumento de precios. La reducción de la oferta provoca reducción en la disponibilidad de materias primas en el sector industria y servicios. Todo ello puede provocar la pérdida de estabilidad del sector agrícola y ganadero, con el consecuente impacto sobre la salud mental de los agricultores y ganaderos, y



con efectos sobre el *sector financiero* por impago de préstamos y aumento de compensaciones ante las pérdidas y disminución de productividad en otros sectores. En este sentido, el Gobierno aprueba el Plan de Seguros Agrarios Combinados cada año, para subvencionar las pólizas y proteger a los agricultores frente a riesgos como heladas, sequías, inundaciones o viento, ayudando así a las explotaciones agrícolas a ser más resilientes. El Plan establece los distintos porcentajes de subvención que corresponden a los agricultores, ganaderos, acuicultores o productores forestales que aseguren su producción, contempla los criterios de preferencia en la asignación de subvenciones y determina los riesgos que serán cubiertos.

Debido a los impactos descritos en diversos sectores, esta situación propicia la generación de crisis y conflictos por los usos del agua, afectando al *sector paz y cohesión social*.

En el sector *patrimonio natural* el menor volumen en las masas de agua puede provocar la disminución, el deterioro e incluso la destrucción de humedales y hábitats de agua dulce, que dependen de la disponibilidad de agua tanto superficial como subterránea para su supervivencia (Sanz y Galán, 2020). Como ejemplo, la pérdida de hábitats en humedales y zonas ribereñas conlleva perturbaciones ecológicas con implicaciones ambientales duraderas (Dobel *et al.*, 2020b; Ploskey, 1982), como es el caso de las aves acuáticas que habitan estos sistemas en épocas de reproducción (WWF, 2023). Aunque en situación de normalidad, los caudales ecológicos prevalecen sobre la mayoría de los usos productivos, en situación de sequía prolongada el Plan Hidrológico contempla la posibilidad de disminuir la magnitud de los caudales ecológicos para priorizar otros usos esenciales del agua, como el abastecimiento de la población. Esto podría afectar al mantenimiento de los ecosistemas agua abajo (Leone *et al.*, 2024; Martínez-Dalmau *et al.*, 2023), lo que puede derivar en un declive poblacional e incluso extinciones locales, además de la pérdida o degradación de servicios ecosistémicos. Además, el menor contenido de agua en el suelo puede provocar la desertificación y degradación de la tierra debido a la mayor aridez, deterioro y erosión del suelo. Los contaminantes antropogénicos adheridos a las partículas del suelo pueden verse arrastrados con los eventos de escorrentía superficial y contaminar los cursos de agua y embalses (Contreras *et al.*, 2023), causando efectos en los ecosistemas acuáticos que pueden persistir en el tiempo y dificultar la recuperación de los sistemas afectados tras esa contaminación (Schwalm *et al.*, 2017).

Del mismo modo que el menor contenido de agua en el suelo afecta al sector agrícola y ganadero, puede afectar al *sector forestal* provocando la pérdida de masas forestales por el aumento de la desertificación y la degradación de la tierra debido a la mayor aridez y a la degradación y erosión del suelo. Además, también existe riesgo de pérdida de masas forestales por el aumento del peligro de incendio, que afectará al *sector salud* por el arrastre de cenizas que pueden alcanzar los cauces y masas de agua, provocando la degradación o destrucción de ecosistemas.



Ficha 1. Análisis del riesgo de daños por sequías extremas de larga duración

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Crítica	Catastrófica	Catastrófica
	Aon (2024) estima las pérdidas por sequía en España en 2023 en 5.500 millones de euros. Villegas et al. (2024) simulan pérdidas del 0,88 % del PIB para sequía en España según datos de 2017. Motta et al. (2025) estima las pérdidas actuales en España por sequía en 0,7 % del PIB.	Los diferentes estudios indican un aumento en la frecuencia, duración y severidad de las sequías durante todo el siglo, con especial énfasis en la última treintena Motta et al. (2025) estima en el escenario de 1,5 °C un aumento en las pérdidas del 35 % en España. Este aumento supondría un valor inferior al 1 % del PIB.	Al igual que en el corto plazo, en el medio plazo la severidad, duración y frecuencia de las sequías seguirá en aumento. En este caso las pérdidas económicas, especialmente para el sector agrícola sí que podrían alcanzar la consideración de severidad catastrófica (Tramblay et al., 2020).	La frecuencia, duración y severidad de los periodos de sequía se prevé que aumentará hacia finales de siglo (MITECO, 2024). Según el Banco de España (Zarza, 2024), para sequías extremas de larga duración más severas, la pérdida sobre el PIB puede ser del 1,3 %.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Alto ◆◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Alto	· Media · Medio	· Media · Medio	· Alta · Alto
	Diversos autores (Espinosa-Tasón et al., 2022; Torrelló-Sentelles y Franzke, 2022; Villegas et al., 2024) de publicación académica por pares aplican diferentes metodologías de manera global en España, o específica en las regiones más afectadas.	Los periodos analizados en la mayoría de los estudios no coinciden con este periodo, alcanzando el corto plazo hasta 2050, por lo que se considera que las condiciones no alcanzarán el siguiente nivel de severidad en el corto plazo.	Los estudios de proyección de la sequía no analizan este periodo en concreto, aunque hacen referencia al aumento de la severidad de los periodos de sequía, intensificándose hacia finales de siglo.	Existen varias publicaciones (García-Valdecasas et al., 2021; Jenkins, 2013; Soares et al., 2023) académicas que han analizado la tendencia actual y las proyecciones hacia finales de siglo, en los diferentes escenarios de niveles de calentamiento.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Los principales peligros son: (i) la reducción de la precipitación anual; (ii) los cambios en los patrones de distribución de la precipitación, (iii) y el aumento de la temperatura (aire, suelo, vegetación y agua).	Los siguientes elementos han sido identificados como expuestos ante este riesgo: <ul style="list-style-type: none">• Población.• Ecosistemas naturales.• Bienes muebles e inmuebles.• Infraestructuras.• Actividades económicas.	Vulnerabilidad ambiental: <ul style="list-style-type: none">• Estado de las masas de agua (cantidad y calidad).• Sobreexplotación de acuíferos Vulnerabilidad social: <ul style="list-style-type: none">• Empleo sector primario y terciario.• Grupos sociales vulnerables. Vulnerabilidad de gobernanza: <ul style="list-style-type: none">• Índices de explotación. Vulnerabilidad físico-tecnológica: <ul style="list-style-type: none">• Disponibilidad de recursos alternativos (desalación, reutilización).• Manejo del suelo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Aspectos transversales	
Transfronterizos	En la península ibérica hay cuatro cuencas hidrográficas cuyo territorio es compartido entre España y Portugal (Guadiana, Tajo, Duero y Miño-Sil). Por tanto, ha sido necesaria la creación de acuerdos entre ambos países para la gestión de estas (Convenio de Albufeira, 1998). Así, las situaciones de sequía tendrán efectos transfronterizos en la disponibilidad de recursos para ambos países.
Territoriales	Los estudios muestran que la distribución de las sequías se ha producido de manera heterogénea en la península ibérica (Vicente-Serrano et al., 2022). La tendencia a un mayor número de sequías y de mayor duración se da principalmente en el noreste y sur peninsular, mientras que, en el norte, especialmente en Galicia, la tendencia es hacia una disminución en el número de sequías (López-Díaz, 2023).
Sociales	<p>Como factores sociales se identifica los grupos sociales vulnerables (bajos ingresos, enfermos, sin acceso a servicios básicos), que pueden ver limitado su acceso a agua, alimentos y otros recursos esenciales, especialmente ante restricciones o subida de precios.</p> <p>En los sectores primario y terciario, altamente dependientes del agua, se puede producir pérdida de empleo, con efectos negativos sobre el bienestar social e impacto sobre la salud mental de los trabajadores.</p>
Maladaptación	El elevado número de presas en España ha supuesto una mayor resiliencia ante periodos de sequía a la hora de satisfacer las diferentes demandas. Sin embargo, esta demanda se ha visto aumentada por la falsa sensación de seguridad en la disponibilidad del recurso (López-Moreno et al., 2014).
Género	Un estudio reciente del Instituto de las Mujeres (2021) muestra que las mujeres tienen una mayor preocupación sobre los efectos del cambio climático y sus riesgos asociados, entre ellos las sequías. Además, son las mujeres las que toman más acciones para frenar los efectos del cambio climático. Las cargas de cuidado que a menudo recaen desproporcionadamente sobre las mujeres, y su preocupación ante los efectos de las sequías sobre ellas y sus hijos, hacen que se sientan más preocupadas y vulnerables.
Otros aspectos analizados	
Umbral críticos	Para la cuantificación de sequías extremas de larga duración se utilizan indicadores que determinan la probabilidad de lluvia cuantificando su déficit sobre periodos fijos de tiempo. Si se habla de larga duración de estos periodos, debe superar los 12 meses. Dentro de estos índices destaca el Indicador Normalizado de Sequía (SPI; McKee, 1993) que normaliza los valores de estas probabilidades de ocurrencia. Esta normalización permite determinar umbrales críticos. Así, si este índice está entre -1,0 y -1,49, se habla de sequía moderada, si los valores oscilan entre -1,5 y -1,99 hablamos de sequía media y si estos valores están por debajo de -2,0 hablamos de sequía extrema. Las proyecciones de cambio climático apuntan a que, en las primeras décadas del siglo XXI, las sequías extremas de larga duración serán más comunes y severas en la región noroccidental de la península ibérica para el RCP 4.5, y menos frecuentes, pero más duraderas en las otras regiones de la península ibérica para el RCP 8.5 (Lorenzo et al., 2024) (Figura 3).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Otros aspectos analizados	
Lock-in/Bloqueo	<p>Debido a la falsa sensación de seguridad en la disponibilidad del recurso, en el sector agrícola, la mejora de la eficiencia del riego no ha supuesto una disminución de la demanda sino un aumento de la superficie regada (Polo et al., 2014). En un país como España, donde la tendencia es hacia una menor disponibilidad de recursos hídricos a lo largo del siglo XXI, es necesario invertir en políticas de desarrollo económico basadas en este uso intensivo del agua, para evitar riesgos de bloqueo para abastecimiento a otros usos y mantenimiento de los ecosistemas. En situaciones de sequía, la recarga subterránea de acuíferos se ve afectada por el menor volumen de agua disponible. En este contexto, la sobreexplotación de acuíferos se ve acentuada por la dependencia de pequeñas poblaciones y de zonas agrícolas de recursos subterráneos para su abastecimiento.</p>
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	<p>Las demarcaciones hidrográficas a través de los PHC gestionan los recursos disponibles y la asignación a los diferentes usos, debiendo considerar los efectos del cambio climático para anticiparse a los riesgos. Además, elaboran los Planes Especiales de Sequías (PES) como instrumento de gestión para hacer frente a episodios extraordinarios de sequía y escasez, con el objetivo de minimizar sus impactos ambientales, económicos y sociales. Ambas herramientas (PHC y PES) deben coordinarse correctamente en cada demarcación hidrográfica.</p> <p>Actualmente están vigentes los PHC correspondientes al tercer ciclo de planificación (2022-2027), estando en preparación los del cuarto ciclo (2028-2033).</p> <p>La última versión publicada de los PES de las cuencas intercomunitarias fue aprobada el 26 de diciembre de 2018, mientras que las de las demarcaciones intracomunitarias fueron aprobados entre los años 2017 y 2022. La versión revisada de los PES está en su fase final, e incorpora avances significativos en materia de adaptación al cambio climático.</p>
Gobernanza de gestión del riesgo	<p>La competencia en la gestión del riesgo de sequía la tienen los organismos de cuenca. Estos organismos pueden depender del gobierno central (Dirección General del Agua, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), cuando se trata de cuencas intercomunitarias, o de la administración hidráulica de la Comunidad Autónoma correspondiente, cuando se trata de cuencas intracomunitarias, a través de los PHC y PES descritos anteriormente. En el caso de cuencas transfronterizas, los gobiernos de ambos países son responsables de la gestión del riesgo mediante los Convenios correspondientes (Convenio de la Albufeira).</p>
Beneficios de medidas de adaptación futuras	<p>Las medidas implementadas mediante los Planes Especiales de Sequía son fundamentales en la adaptación al riesgo actual y futuro. La gestión coordinada de los PHC y los PES en cada demarcación hidrográfica permitirá atenuar los efectos de las sequías y realizar una gestión de la escasez antes de que se produzca.</p>

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Otros aspectos analizados	
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	<p>Impacto negativo del riesgo en la descarbonización por diversos factores:</p> <ul style="list-style-type: none">• Debido al estrés hídrico y la disminución en la vegetación, esta pierde la capacidad de fotosíntesis y de absorber carbono.• Menor capacidad de generación de energía hidroeléctrica, lo que puede aumentar la dependencia de combustibles fósiles.• Aumento del riesgo de incendios forestales en los que se libera gran cantidad de carbono en la atmósfera.• Además, algunas medidas como el fomento de la desalación o el incremento en los umbrales de depuración, previsiblemente incrementará el consumo energético. <p>Por otro lado, la descarbonización puede tener sobre el riesgo tanto impactos positivos como negativos:</p> <ul style="list-style-type: none">• Positivo. En la industria y en la generación de energía puede verse disminuida la demanda de agua ante políticas de descarbonización como promoción de eficiencia energética y la transición a energías renovables.• En contraposición, el impacto puede ser negativo, ya que la transición a una economía baja en carbono que puede tener impactos económicos importantes en la agricultura y en la industria.
Déficits de información	<p>Al ser las sequías un fenómeno recurrente en nuestro clima, la información disponible al respecto es muy amplia, no habiéndose encontrado un déficit de información que haya limitado el análisis de este riesgo clave.</p>
Recomendaciones de priorización	<p>Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.</p>



4.2. RC2.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales

El segundo riesgo clave priorizado se corresponde con el **riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales**. Se trata de un riesgo reconocido en la literatura (IPCC, 2023; Jodar-Abellan, 2019; MITECO, 2020; Sanz y Galán, 2020).

Las inundaciones pueden ser de carácter pluvial, cuando la precipitación genera un volumen de escorrentía que no puede ser drenado; o de carácter fluvial, cuando la inundación es causada por el desbordamiento de los cauces de ríos o arroyos; o de carácter combinado cuando ambas ocurren de manera simultánea. Para uno u otro tipo, las causas más comunes de las inundaciones son: a) precipitación abundante e intensa que normalmente afecta a la mayor parte de la cuenca; b) precipitación muy intensa en cuencas pequeñas que genera crecidas repentinas (crecidas súbitas, relámpago o flash floods); c) precipitación intensa muy localizada sobre zonas con escaso drenaje o áreas urbanas; d) fusión repentina de la capa de nieve como consecuencia de un aumento de la temperatura o por eventos de lluvia sobre la capa nieve (MITECO, 2018b). Establecer el origen de la inundación permite identificar los factores relacionados con este riesgo, lo que hace posible analizarlo de manera más precisa.

En la historia reciente de España (siglo XX y XXI) ha habido inundaciones que han tenido importantes daños personales y materiales. Sin embargo, la mayor inundación en España por su magnitud y repercusión, antecedida por la de riada de Santa Teresa (1879), en la cuenca del río Segura, que causó casi 800 muertes y cuantiosos daños materiales y económicos y la de Vallés (1962), con una cifra de entre 600 y 1000 víctimas mortales, ha sido la causada por la reciente DANA de octubre de 2024 en Valencia y otras zonas del Mediterráneo (Albacete, Cuenca y Málaga). En esta inundación la repentina crecida de cauces produjo la pérdida de 232 vidas humanas (224 en la Comunidad Valenciana, 7 en Castilla-La Mancha y 1 en Andalucía) (Moncloa, 2025). Durante este episodio, en Valencia la precipitación acumulada en el día en que se produjeron los impactos más graves superó los valores extraordinarios registrados, llegando a los 771 mm registrados en Turis (Valencia), de los cuales 185 mm se acumularon en tan solo una hora. Estas precipitaciones extraordinarias ocurrieron en zonas de interior localizadas por encima de los 1.000 m sobre el nivel del mar, generando violentas riadas que llegaron a localidades del litoral donde apenas llovió. A la enorme pérdida de vidas humanas se suman los miles de personas de las poblaciones afectadas, que no sólo sufrieron daños materiales y en infraestructuras, sino también pérdida de servicios básicos que afectaron a la vida cotidiana. Pérez *et al.* (2025) identifican los efectos de la inundación de Valencia desde una perspectiva económica, estimando que, del conjunto de los 89 municipios afectados, resultaron afectados 1.084.513 habitantes, lo que supone el 40 % de la provincia de Valencia, 63.182 empresas (sin incluir el sector primario),



353.507 empleados, el 30,7 % de la provincia de Valencia, y un valor añadido bruto afectado de 20.107 millones de euros, que supone el 29,7 % del PIB de la provincia de Valencia.

La **Figura 4** muestra la cadena de impacto del riesgo clave, incorporando los componentes esenciales del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de la acción combinada de dichos componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco, donde confluyen los impactos físicos que resultan de los peligros, los elementos expuestos y los atributos que determinan su nivel de vulnerabilidad. A partir de este nodo central se despliegan las consecuencias del riesgo en forma de impactos directos, así como de riesgos en cascada, tanto propios del sector como derivados de su interrelación con otros sectores.

La **Figura 4** muestra los principales **peligros climáticos** del RC2.2, como motores de la generación del riesgo: *cambios en la dinámica de fusión de la capa de nieve, cambios en los patrones de distribución de la precipitación, el aumento de la torrencialidad de la precipitación, y el aumento de la temperatura.*

Los *cambios en la dinámica de fusión de la capa de nieve* se manifiestan en un adelanto de la fusión que puede desencadenar episodios de crecida en los ríos (Hansen *et al.*, 2014). En algunos años con volumen de agua acumulada en forma de nieve superior a la media, (p.ej., en 2003, 2005, 2007), se ha observado una fusión muy rápida, lo que hace que se adelante el aporte de caudal a los cursos fluviales en al menos un mes respecto a la situación habitual, pudiendo derivar en inundaciones fluviales (ERHIN, 2008). Estos episodios suelen ser frecuentes en demarcaciones hidrográficas en cuyas cabeceras los volúmenes de nieve estacional son considerables, como las del Duero o el Ebro (MITECO, 2018a; MITECO, 2021b).

Los *cambios en los patrones de distribución de la precipitación*, en la cantidad, frecuencia y distribución espacial de la lluvia y la nieve, afectan a la disponibilidad de agua. En este sentido, las proyecciones de cambio climático apuntan a un aumento de los extremos superiores de precipitación, especialmente a lo largo de la costa mediterránea y el sur de la península en los meses de verano y comienzo del otoño (Molinié *et al.*, 2016). Del mismo modo, los estudios de Zittis *et al.* (2021) y del Jesus y Díez-Sierra (2023) prevén un aumento de las precipitaciones extremas de 50 y 100 años de periodo de retorno, las cuales se encuentran asociadas a riesgos de inundaciones. Asimismo, se apunta a un incremento de las precipitaciones para intervalos temporales más cortos y, por lo tanto, a un *aumento de la torrencialidad* (CEDEX, 2017) y las inundaciones asociadas (Ruane *et al.*, 2022).

Finalmente, *el aumento de la temperatura* incrementa la cantidad de vapor de agua en el aire. En zonas montañosas del Cantábrico, Pirineo, Sierra Nevada y Sistema Central se ha constatado

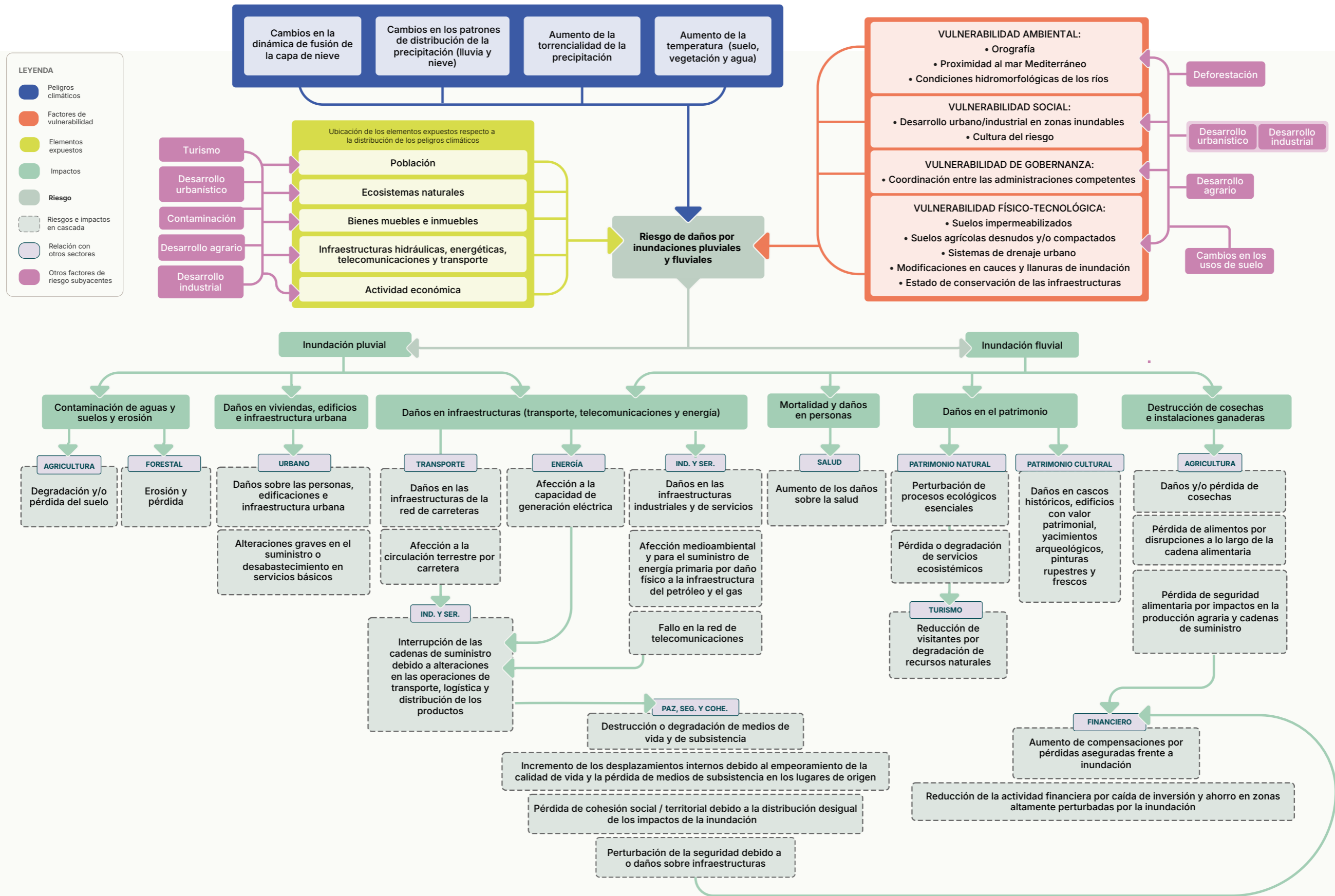


Figura 4. Cadena de impacto. RC2.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales.



un aumento de la temperatura de entre 1 y 2 °C en las últimas décadas (ERHIN, 2008; 2011). La ley de Clausius-Clapeyron establece que, por cada grado de calentamiento, el aire saturado contiene un siete por ciento más de vapor de agua en promedio (Douville *et al.*, 2021). Por lo tanto, cada fracción adicional de calentamiento aumenta el contenido de humedad atmosférica, lo que a su vez aumenta el riesgo de eventos de precipitaciones extremas (Barriandos *et al.*, 2019) y episodios de lluvias intensas (Ranasinghe *et al.*, 2021), con el consecuente efecto en el régimen de inundaciones. Además, este aumento de temperatura supone un adelanto de la fusión de la nieve y una disminución en los picos de caudal en primavera (López-Moreno y García-Ruiz, 2004).

Los **elementos expuestos** identificados en el RC2.2 son los localizados en zonas inundables e identificados en la **Figura 4**: la *población, los bienes muebles e inmuebles, infraestructuras hidráulicas, energéticas, de telecomunicaciones y transporte, los ecosistemas naturales y la actividad económica*. Alfieri *et al.* (2017) estiman que 216.000 personas están expuestas cada año a las inundaciones en Europa. Según MITECO (2021a) en las cuencas intercomunitarias de España, 2,7 millones de personas viven en zonas con probabilidad de inundarse una vez cada 500 años, de las que cerca de medio millón vive en áreas que se inundan de media una vez cada diez años. Ante un evento de inundación pueden verse expuestos *bienes inmuebles* (p.ej., terrenos, viviendas, edificios, estructuras, sistemas de servicios públicos) y muebles (vehículos, maquinaria industrial y agrícola, cultivos y ganado). De igual modo, resultan expuestas *infraestructuras hidráulicas* (presas, canales), *energéticas* (tendidos eléctricos, centros de transformación, centrales hidroeléctricas y térmicas), *de transporte* (carreteras, ferrocarril) y *de telecomunicaciones* (líneas de telefonía). Los componentes bióticos (flora y fauna) y abióticos (suelo) de los *ecosistemas naturales* también están enormemente expuestos durante y tras una inundación (ESPON, 2021). Por último, la *actividad económica* en torno al área afectada por la inundación ya sea de carácter agrícola, comercial, turística o industrial, se verá afectada por daños en las propiedades o interrupción en la producción y prestación de servicios.

Al igual que en los análisis anteriores se han distinguido 4 tipos de **factores de vulnerabilidad** para el RC2.2.

Como factores de **vulnerabilidad ambiental** se han identificado la *orografía, la proximidad al mar Mediterráneo y las condiciones hidromorfológicas de los ríos*. La combinación de aire cálido cerca de la superficie, impulsado por la alta humedad del cálido mar Mediterráneo, junto con la inestabilidad provocada por el aire frío en las capas superiores de la atmósfera, da origen a grandes masas convectivas que pueden provocar intensas lluvias e inundaciones repentinas (Amponsah *et al.*, 2018). Por otro lado, cauces rectificadas, en los que se han construido diques y motas como medidas estructurales contra inundaciones y se han eliminado meandros naturales, provocando

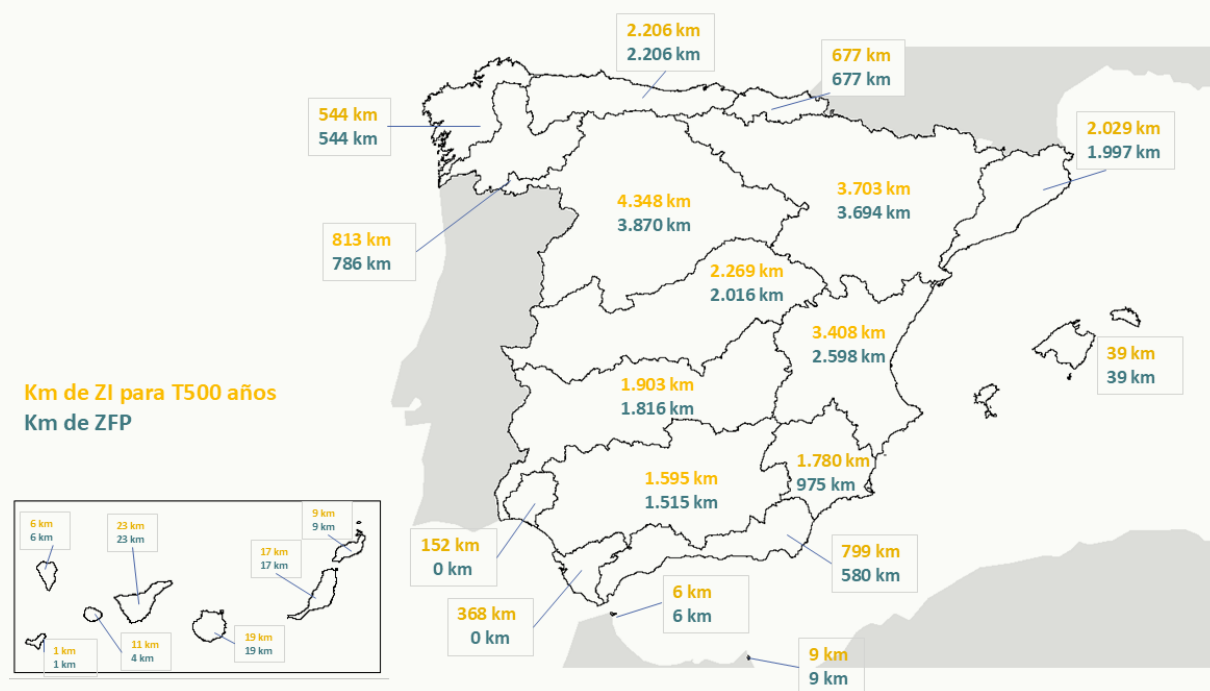


Figura 5. Mapa de cifras de kilómetros de zonas inundables para T500 años (ZI*, en amarillo) y zona de flujo preferente (ZFP, en azul) para cada demarcación hidrográfica determinadas por el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. (Fuente: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi.html>) (*ZI asociada al periodo de retorno T, es aquella zona que una vez definidos los caudales y a partir del estudio hidráulico realizado por las autoridades competentes, queda definida por la extensión de área que queda inundada asociada a esa frecuencia (T = 500 años en este caso); **ZFP, es aquella zona constituida por la unión de las zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas y de la zona donde para la avenida de 100 años de periodo de retorno se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes).**

la desconexión con humedales, inciden directamente en la ocupación del espacio del río que, de una manera u otra, intenta recuperar su espacio, agravando por un lado el riesgo de inundación y, por otro, causando la degradación de los ecosistemas asociados (Ollero, 2010).

Respecto a los factores de **vulnerabilidad social** se han identificado el *desarrollo urbano e industrial en zonas inundables* y la necesidad de fomentar *la cultura del riesgo*. La Directiva de Inundaciones (EC, 2007) considera la conveniencia de establecer PGRI, que obligan a definir las áreas catalogadas como inundables, con el objetivo de reducir los impactos negativos de las inundaciones en una zona determinada. Las zonas donde el desarrollo urbano e industrial ha ocupado las llanuras aluviales y áreas catalogadas como inundables son especialmente vulnerables ante el riesgo de daños por inundación. Según el Visor del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas



Inundables (SNCZI), las cuencas hidrográficas con más zonas inundables son Duero (4348 km), Ebro (3703 km), Júcar (3408 km), Tajo (2269 km) y Cantábrico (2206 km) (**Figura 5**). Las comunidades que habitan áreas más propensas a inundarse, como cauces de ríos, zonas con altas pendientes y llanuras aluviales, poseen una mayor sensibilidad a las inundaciones y un comportamiento social basado en la adaptación de actividades y estrategias de prevención para mitigar los daños causados por las inundaciones (Devitt et al., 2023). Sin embargo, la limitada cultura del riesgo en el contexto del cambio climático aumenta la vulnerabilidad ante el RC2.2, siendo necesaria la concienciación y preparación de la sociedad para minimizar y afrontar los impactos (Höllermann & Heidenreich, 2025).

En cuanto a la **vulnerabilidad de gobernanza**, es preciso avanzar en la *coordinación entre las administraciones competentes*, logrando la eficacia y resolución de conflictos en las llanuras de inundación ocupadas y velando por el interés general. En este sentido, por ejemplo, el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, establece que los PGRI contemplen, en lo posible, medidas de ordenación territorial y urbanismo a desarrollar por parte de los ayuntamientos y comunidades autónomas a través de instrumentos de planificación como los Planes Generales de Ordenación Urbana (PGOU) o Planes de Ordenación Municipal (POM). Estas medidas incluirán al menos limitaciones a los usos del suelo planteadas para la zona inundable en sus diferentes escenarios de peligrosidad, los criterios empleados para considerar el territorio no urbanizable, y los criterios constructivos exigidos a las edificaciones situadas en zona inundable.

Por otro lado, la **vulnerabilidad físico-tecnológica** a los peligros aumenta en *suelos agrícolas desnudos y/o compactados por el uso de maquinaria agrícola, suelos urbanos impermeabilizados por asfaltado parcial o total, y con sistemas de drenaje urbano deficientes* y territorios con ramblas y barrancos, que apenas contribuyen a retener los caudales de crecida, y también a evitar la generación y el transporte de una enorme carga sólida (MITECO, 2019; Sánchez-Almodovar et al., 2022). Para prevenir o mitigar los daños causados por inundaciones se han diseñado medidas de adaptación estructurales que *modifican el cauce y la llanura de inundación* (como diques, embalses o sistemas de drenaje) y no estructurales (como planificación urbana, sistemas de alerta temprana o concienciación pública). Sin embargo, cambios en la dirección y magnitud de los peligros climáticos indican cambios en los umbrales de las variables climáticas a considerar, por ejemplo, en la altura de agua o caudal que esas obras de protección tendrían que soportar. Son necesarias nuevas evaluaciones de los umbrales de peligros climáticos adaptados a los niveles de tolerancia de los sistemas de control de inundaciones actuales, cambios en las infraestructuras o en los PGRI, (Ruane et al., 2022), mediante, por ejemplo, su actualización a las actuales condiciones hidromorfológicas de los tramos. Del mismo modo, cambios en nuestro sistema socioeconómico para adaptarnos a la nueva situación, como la reubicación de asentamientos humanos que estén en zonas de riesgo y la promoción de un desarrollo urbano respetuoso con los cursos de agua, junto con políticas de adaptación que modifiquen los estilos de vida y el uso del suelo, ayudarían a coexistir con el fenómeno y a minimizar sus impactos.



Los principales **factores de riesgo subyacentes** que influyen en el riesgo RC2.2 son el *desarrollo urbano, agrícola, industrial y turístico*, que han hecho que, asentamientos humanos, en búsqueda de acceso al agua, fertilidad de las tierras y experiencias de ocio, hayan ocupado las llanuras de inundación, rectificando cauces y construyendo diques que han alterado las condiciones hidromorfológicas de los ríos. Esto ha llevado a la *deforestación y cambios de uso de suelo*, dando lugar a suelos agrícolas desnudos y/o compactados por el uso de maquinaria agrícola, y suelos urbanos impermeabilizados por asfaltado parcial o total que no ayudan a retener los caudales de crecida y tienen elevadas tasas de erosión, generando importante carga sólida que puede ser transportada durante las riadas.

Las inundaciones son el peligro natural que produce las mayores pérdidas económicas, con costes de indemnización de 7800 millones de euros por daños en bienes y de 51.541 millones de euros por daños personales durante el período 1987-2023 (CCS, 2024). Así, este riesgo tiende a causar innumerables **impactos** significativos, y cientos de miles de afectados. Las inundaciones causan generalmente daños materiales que incluyen impactos directos, como *daños en viviendas, edificios e infraestructura urbana* incluyendo vehículos y comercios, que conllevan además importantes costes de limpieza, y reemplazo de las pérdidas. También causan *daños por erosión y contaminación de agua y suelos* debido al arrastre de suelo y sustancias asociadas al mismo durante los episodios de escorrentía torrencial. Del mismo modo, pueden causar principalmente *mortalidad y daños en personas, destrucción de cosechas e instalaciones ganaderas*, incluyendo los cultivos, el ganado y maquinaria; y *daños en el patrimonio*, tanto en el natural (masas de agua, bosques, fauna y flora que estos sistemas albergan) como cultural (cascos históricos, yacimientos arqueológicos). Finalmente, cabe destacar los daños directos en *infraestructuras de transporte, de energía, de telecomunicaciones e hidráulicas*, como pueden ser en la red de carreteras, ferrocarril, tendidos eléctricos, centros de transformación, centrales hidroeléctricas y térmicas, líneas de telefonía, presas y canales.

Cualquier inundación importante implica numerosos **impactos y riesgos en cascada** en numerosos sectores. Los riesgos en los *sectores agrícola y forestal* derivan del arrastre de los suelos y partículas adheridas en zonas forestales y agrícolas, produciendo fenómenos de erosión y pérdida de suelo en los campos agrícolas y dañando la vegetación existente y depositando sedimentos que sellan el suelo en zonas forestales. Por otro lado, en los *sectores de transporte, urbano, energía e industria* también pueden ocurrir riesgos de enorme trascendencia al resultar dañadas las infraestructuras vitales como las de transporte, electricidad, telecomunicaciones, agua, gas e hidrocarburos (Gil-Guirado *et al.*, 2022; Knittel *et al.*, 2025; Oliva y Olcina, 2024; Pescaroli y Alexander, 2016). Su impacto se refleja en alteraciones graves en las cadenas de suministro de servicios básicos por disminución de la productividad o interrupción de las actividades. Los *sectores de patrimonio natural y patrimonio cultural* también se ven afectados por los impactos en ecosistemas, edificios de valor histórico, o yacimientos arqueológicos. Las inundaciones impactan en los lechos de los ríos, reducen la calidad del agua y aumentan la carga de sedimentos, lo que acelera la deposición en ríos, estuarios, lagos, humedales y embalses (Hooke, 2016; Parasiewicz *et*



al., 2019, *Si et al.*, 2022). Por otro la turbidez del agua generada por los sedimentos arrastrados puede reducir la luz disponible para la fotosíntesis de las plantas acuáticas parcialmente sumergidas, afectado a su desarrollo (*Megina et al.*, 2023; *Shrestha et al.*, 2019). Todos estos daños pueden derivar en diferentes riesgos en los *sectores financiero y paz, seguridad y cohesión social*. Por un lado, las inundaciones conllevan una necesidad de inversión para reparación y refuerzo de las infraestructuras y costes sociales (*Ward et al.*, 2017). Por otro, el riesgo de inundación intensifica la presión sobre los presupuestos públicos y afecta a gran parte del sistema financiero por reducción de la actividad financiera y compensación de las pérdidas aseguradas en todos los sectores (*Jewson et al.*, 2023). Además, los impactos de las inundaciones elevan las tasas de mortalidad y de enfermedades físicas y mentales, afectando al *sector salud*, especialmente de los sectores de la población con menos recursos (*Mas-Coma et al.*, 2025).

Ficha 2. Análisis del riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5°C)	Medio plazo 2041-2060 (2°C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4°C)
Severidad del impacto	<p>Crítica</p> <p>Dottori et al. (2020) cuantifican los daños anuales por inundaciones fluviales en España en un 0,04 % del PIB. A esta cifra habría que añadir los daños por inundaciones pluviales. Por otro lado, a partir de los datos del CCS (2024), que toma como referencia el periodo 1971-2023, la media anual de indemnizaciones por daños por inundación es de más de 170M€.</p> <p>Sin embargo, pueden ocurrir episodios de inundación excepcionales como el ocurrido en Valencia en octubre de 2024, que elevan la cifra de daños y costes aumentando el nivel de severidad de este riesgo. En estas inundaciones 232 personas perdieron la vida y 1.084.513 habitantes resultaron afectados, con pérdidas de un valor añadido bruto afectado de 20.107 M€, que supone más del 1% del PIB nacional.</p> <p>En cualquier caso, la cifra de personas que viven en zonas con riesgo de inundación, con probabilidad de inundarse en promedio cada diez años se aproxima a las 500.000 personas (EFE, 2024), y la estimación del valor de la producción agrícola en zona inundable se acerca a los 2.000 M€ (MITECO, 2021c).</p>	Catastrófica	Catastrófica	Catastrófica
		<p>MITECO (2021c) revela un aumento del riesgo de inundación para el periodo de retorno de 500 años, en los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5, especialmente para las cuencas del Ebro y el alto Gadiana, el bajo Segura, los grandes núcleos poblacionales y las zonas de invernaderos del sur. Además, las proyecciones climáticas muestran un aumento significativo de eventos de caudal máximo por encima del periodo de retorno de 100 años, y un aumento de la magnitud de las inundaciones. Para este periodo de retorno MITECO (2021c) cuantifica en casi 1,5M de personas en zonas inundables, convirtiéndose la severidad en catastrófica.</p>	<p>Al igual que en el corto plazo, en el medio plazo se espera un aumento del riesgo de inundación, con una población expuesta de 1,5M de personas (MITECO, 2021c).</p>	<p>Al igual que en el corto y medio plazo, en el largo plazo se espera un aumento del riesgo de inundación, siendo la población del periodo de retorno de 500 años de 2,7M de personas (MITECO, 2021c).</p>

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5°C)	Medio plazo 2041-2060 (2°C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4°C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Alto ◆◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Alto	· Media · Medio	· Media · Medio	· Alta · Alto
	Diversos autores de publicación académica revisadas por pares (Gil-Guiraldo et al., 2022; Llasat et al., 2021; Mediero et al., 2014) señalan factores de vulnerabilidad al aumento de las inundaciones (en número y extensión) por tormentas de tipo convectivo en cuencas pequeñas y caudales elevados en cuencas medianas y grandes. Publicaciones oficiales (WWA, 2024) destacan un aumento de los extremos de precipitaciones diarias en los últimos 75 años.	Diversos autores de publicación académica revisadas por pares (Amblar et al., 2017; Valdes-Abellan et al., 2017) indican un aumento de las temperaturas, especialmente en las zonas interiores y del este, lo que augura un aumento de precipitaciones extremas. Los resultados del proyecto EURO-CORDEX para España (Carvalho et al., 2022) muestran un aumento de las precipitaciones máximas para 2021-2040. En el sureste de España se prevé un aumento de las inundaciones con periodo de retorno de 100 años entre el periodo de referencia (1976-2005) y 2020. No obstante, teniendo en cuenta la elevada incertidumbre de las proyecciones climáticas, no siempre se obtienen datos cuantitativos, especialmente en el corto y medio plazo.	Carvalho et al. (2022) prevén un aumento de las precipitaciones máximas para el periodo 2042-2070, especialmente en las cuencas del suroeste (Tinto-Odiel), Galicia Costa, Cuencas Internas de Cataluña y Júcar. En el sureste de España se prevé un aumento de las inundaciones con periodo de retorno de 100 años entre el periodo de referencia (1976-2005) y 2050.	En el periodo 2081-2100, Carvalho et al. (2022) prevén un incremento importante en el porcentaje de cambio de precipitación extrema para las cuencas del Duero, Guadalquivir y Tajo. En el sureste de España se prevé un aumento de las inundaciones con periodo de retorno de 100 años entre el periodo de referencia (1976-2005) y 2080. El de aumento de eventos extremos en las grandes cuencas atlánticas ibéricas concuerda con los estudios publicados por Alfieri et al. (2017).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Los principales peligros climáticos descritos son: i) cambios en la dinámica de fusión de la capa de nieve; ii) cambios en los patrones de distribución de la precipitación; iii) aumento de la torrencialidad; iv) aumento de la temperatura (aire, suelo, vegetación y agua).	Los elementos que podrían verse afectados negativamente por los peligros climáticos son: <ul style="list-style-type: none">• Población.• Ecosistemas naturales.• Bienes muebles e inmuebles.• Infraestructuras.• Actividad económica.	Existen diversos factores de diferente índole que aumentan la vulnerabilidad al riesgo. Vulnerabilidad ambiental: <ul style="list-style-type: none">• Orografía.• Proximidad al mar Mediterráneo.• Condiciones hidromorfológicas de los ríos. Vulnerabilidad social: <ul style="list-style-type: none">• Desarrollo urbano/ industrial en zonas inundables.• Cultura del riesgo. Vulnerabilidad de gobernanza: <ul style="list-style-type: none">• Coordinación entre administraciones competentes. Vulnerabilidad física-tecnológica: <ul style="list-style-type: none">• Suelos impermeabilizados.• Suelos agrícolas desnudos y/o compactos.• Sistemas de drenaje urbano.• Modificaciones en cauces y llanuras de inundación.• Estado de conservación de las infraestructuras.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Aspectos transversales	
Transfronterizos	<p>Las inundaciones provocan daños en los cultivos, edificios e infraestructuras (de energía, transporte, comunicaciones) que pueden tener impactos más allá de nuestras fronteras, produciendo interrupciones en el transporte, en la cadena de suministro, y pérdidas económicas en diversos sectores. Asimismo, también pueden producirse desplazamiento de la población, afección al turismo, desplazamiento de empresas de zonas inundables o debilitamiento del sistema financiero del país.</p> <p>En la península ibérica hay cuatro cuencas hidrográficas cuyo territorio es compartido entre España y Portugal (Guadiana, Tajo, Duero y Miño-Sil). El Convenio de la Albufeira de 1998 se creó para regular la cooperación y protección de las cuencas de ambos países, trasladándose la necesidad de su aplicación en el caso de inundaciones en el Real Decreto 903/2010, en su artículo 20.</p>
Territoriales	<p>Las cuencas hidrográficas con más zonas inundables son la del Duero (4348 km), Ebro (3703 km), Júcar (3408 km), Tajo (2269 km) y Cantábrico (2206 km). Para inundaciones con periodo de retorno de 500 años, las cuencas hidrográficas con mayor población en zonas inundables son Guadalquivir, Segura y Júcar, seguidas por Duero, Ebro y Cantábrico Oriental. Las proyecciones señalan que las mayores variaciones en las precipitaciones máximas anuales (acumulada a lo largo de un día) se dan en la cuenca del Guadiana, Tajo, Duero, cuencas internas de Cataluña, Júcar, Segura y Ebro (CEDEX, 2021).</p>
Sociales	<p>Normalmente afecta a sectores de la población con menos recursos, que se suelen localizar en áreas de drenaje a cota baja que coinciden con áreas inundables y quedan desprovistos de infraestructuras y servicios vitales críticos (como las telecomunicaciones, la electricidad y el agua) (Devitt et al., 2023). El sector terciario es el más afectado, la mayoría de los establecimientos comerciales se ubican en las plantas bajas de los edificios y, por lo tanto, son propensos a inundaciones en caso de desbordamiento (Gil-Guirado et al., 2022). También hay un coste de interrupción de las actividades, pérdidas de producción por falta de suministro de materias primas de proveedores y clientes de empresas directamente afectadas por el riesgo.</p>
Maladaptación	<p>Algunas medidas de protección y mitigación como construcción de diques y motas, rectificación de cauces, eliminación de meandros o invasión de llanuras de inundación inciden directamente en la ocupación del espacio fluvial, que de una u otra manera, intenta recuperar su espacio. En la mayoría de los casos, estas medidas han agravado los riesgos de inundación, desplazando e incrementando el riesgo de inundación aguas abajo, o aguas arriba dificultando la evacuación. Además, estas medidas puestas en marcha hace años, en algunos casos se encuentran obsoletas y no son efectivas, de hecho, aproximadamente el 25 % de las adaptaciones evaluadas relacionadas con el agua presentan cobeneficios mientras que en un 33 % de los casos se han descrito situaciones de maladaptación (OECC, 2022).</p>
Género	<p>Las mujeres, frecuentemente, tienen menos acceso a recursos, información y poder de toma de decisiones, lo que las hace más vulnerables durante las inundaciones. Además, las cargas de cuidado a menudo recaen de manera desproporcionada sobre las mujeres, lo que puede dificultar su capacidad para responder y recuperarse de los desastres. De hecho, estudios recientes (Instituto de las Mujeres, 2021) indican que las mujeres presentan mayor preocupación que los hombres a todos los tipos de riesgos, pero especialmente a fenómenos extremos, entre ellos las inundaciones.</p>

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Otros aspectos analizados	
Umbrales críticos	<p>Los umbrales críticos asociados a este riesgo quedan determinados por el área que puede ser afectada por eventos de igual magnitud que presentan determinada recurrencia. Para la definición de esta recurrencia se utiliza el concepto de periodo de retorno (T). El periodo de retorno indica el tiempo promedio que transcurre entre dos eventos de una misma magnitud, es decir, un evento con un periodo de retorno de 10 años significa que, en promedio, podemos esperar que una inundación de esa magnitud ocurra una vez cada 10 años. En función de ese valor de periodo de retorno se definen una serie de umbrales críticos. Así, se habla de zonas inundables (ZI) con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta probabilidad de inundación (T=10 años). • Inundación frecuente (T= 50 años). • Probabilidad media y ocasional (T=100 años). • Probabilidad baja o excepcional (T=500 años).
Lock-in/Bloqueo	<p>Las medidas adoptadas para la gestión de inundaciones han estado tradicionalmente ligadas a la construcción de infraestructuras, generalmente de contención, las cuales se ha comprobado que no sólo disminuyen la percepción social del riesgo aumentando la vulnerabilidad, sino que en muchas ocasiones han aumentado la magnitud de la inundación debido al forzamiento del recorrido del agua, con consecuencias aguas abajo, al desplazar e incrementar el peligro de inundación, y aguas arriba, dificultando la evacuación.</p>
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	<p>A nivel europeo, la DMA 2000/60/CE, establece un marco para la gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo la gestión del riesgo de inundaciones. Así, incluye la prevención del deterioro y la mejora de la calidad de las masas de agua y el establecimiento de PHC que incluyan medidas para prevenir y mitigar los efectos de las inundaciones.</p> <p>Además, la Directiva de Inundaciones (Directiva 2007/60/CE) se centra específicamente en la gestión del riesgo de inundaciones y requiere que los Estados miembros evalúen preliminarmente el riesgo de inundación en sus cuencas hidrográficas y zonas costeras.</p> <p>En España, el Real Decreto 903/2010 de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación transpuso la Directiva de Inundaciones de la Unión Europea y creó los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI) a nivel de demarcación hidrográfica. Los PGRI abordan la gestión de inundaciones mediante la identificación de Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) que definen la peligrosidad y riesgo de inundación, considerando escenarios de alta, media y baja probabilidad de inundación; la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI); y la adopción de medidas adecuadas y coordinadas para reducir el riesgo de inundación en esas zonas, centradas en la población, las actividades económicas, los puntos de especial relevancia y los aspectos ambientales.</p> <p>Además, en España se establece un marco general para la protección civil ante diversas emergencias, incluidas las inundaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Real Decreto 407/1992: aprueba la Norma Básica de Protección Civil, que incluye la planificación de emergencias por inundaciones. • Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones: define los requisitos mínimos para los planes de emergencia ante inundaciones, incluyendo la organización, criterios operativos y medidas de intervención. • Planes Especiales de Protección Civil: elaborados por las Comunidades Autónomas, se basan en la Directriz Básica y abordan las emergencias por inundaciones.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Otros aspectos analizados

Gobernanza de gestión del riesgo

La gestión del riesgo es coordinada entre diferentes niveles de gobierno y organismos. El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de la Dirección General del Agua, establece el marco general para la elaboración de los planes de gestión del riesgo de inundación. Cada Confederación Hidrográfica es la encargada de la elaboración e implementación de su plan de gestión de riesgo de inundación. Para ello, en primer lugar, realiza la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) a partir de datos de inundaciones históricas y potenciales, en coordinación con las autoridades de protección civil y otros órganos competentes. Así, se obtienen las Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI), que son sometidas a consulta pública. Tras el análisis de las alegaciones, se elabora la propuesta definitiva y es aprobada por el gobierno autonómico en el caso de cuencas intracomunitarias, o por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico para las cuencas intercomunitarias. Además, las autoridades locales y los servicios de protección civil juegan un papel crucial en la gestión de emergencias y la respuesta a inundaciones a nivel municipal. Además, en las Demarcaciones Hidrográficas transfronterizas se establece la necesaria coordinación en la elaboración y ejecución de los planes de gestión del riesgo de inundación.

Beneficios de medidas de adaptación futuras

La implementación de medidas de adaptación al riesgo puede contribuir significativamente a disminuir las pérdidas económicas, a mejorar la seguridad de los usuarios y a crear sociedades más resilientes (López-Ortiz, 2020; Sánchez-Almodóvar et al., 2022). Desde el Gobierno se ha impulsado las guías de adaptación al riesgo de inundación para 1) edificios (MAPAMA, 2017a), 2) explotaciones agrícolas y ganaderas (MITECO, 2019a), y 3) sistemas urbanos de drenaje sostenible (MITECO, 2019b). También se han desarrollado una serie de recomendaciones para la construcción y rehabilitación de edificaciones en zonas inundables (MITECO, 2019c) y una guía de apoyo a la ordenación del territorio para la aplicación del reglamento del dominio público hidráulico en zonas inundables (MITECO, 2019). Los sistemas de alerta temprana son una herramienta fundamental para anticipar y comunicar eficazmente la inminencia de la inundación, integrando evaluación y conocimiento del riesgo, vigilancia y previsión de peligros y servicio de alerta, difusión y comunicación del riesgo y capacidad de respuesta. Además, el Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático (PIMA Adapta) promueve medidas de adaptación y acción a todos los niveles (administrativo, académico, privado y ONG), ejecutando numerosos casos piloto. Incluye medidas específicas para recursos hídricos y dominio público hidráulico. Por último, existe una tendencia a la adopción de medidas basadas en la naturaleza (Nature Based Solutions – NBS) que hagan que la nueva infraestructura para la gestión de inundaciones se realice siguiendo los caminos naturales del agua y no conteniéndolos como se ha realizado tradicionalmente. Un ejemplo es el proyecto LIFE Ebro Resilience P1, que realiza la recuperación de llanuras aluviales y bosque ribereño, implicación de la población local, creación de hábitats para especies amenazadas y eliminación de especies exóticas invasoras.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Otros aspectos analizados	
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	<p>El impacto del riesgo en la descarbonización es negativo ya que los daños a las infraestructuras de generación de energía renovable (hidroeléctrica, eólica, solar), pueden afectar y retrasar la transición a fuentes de energía más limpia. Además, la interrupción de servicios, como infraestructuras de transporte, necesaria para la distribución de bienes y servicios, así como las acciones necesarias para recuperar zonas afectadas por la inundación, pueden dificultar la implementación de soluciones de descarbonización, e incluso aumentar la liberación de gases de efecto invernadero. La inundación puede liberar contaminantes en el agua que produzcan la destrucción o pérdida de biodiversidad de ecosistemas naturales, que también pueden verse destruidos en la propia inundación. Estos ecosistemas (p. ej. humedales) actúan como sumideros naturales de carbono, por lo que su pérdida y/o degradación podría agravar la situación.</p> <p>Por otro lado, la descarbonización tiene un impacto positivo sobre el riesgo, ya que los planes de adaptación y gestión del riesgo de inundación pueden promover la inversión en infraestructuras sostenibles para la gestión del agua, zonas verdes, sistemas de drenaje urbano más eficientes, o soluciones basadas en la naturaleza, favoreciendo las políticas de descarbonización.</p>
Déficits de información	<p>Debido a los elevados daños personales y materiales producidos durante las grandes inundaciones ocurridas en España a lo largo de la historia, los organismos competentes han hecho un gran esfuerzo en poner a disposición de la sociedad información extensa sobre los peligros climáticos, exposición, vulnerabilidades e impactos del riesgo de inundación. Además, aunque con una elevada incertidumbre asociada a la gran escala de los modelos utilizados, existe información sobre la evolución del riesgo a corto, medio y largo plazo. Aun así, los resultados de las proyecciones deben ser incluidas en los modelos, ya que la variabilidad en los extremos de caudal es especialmente relevante en la gestión de inundaciones, principalmente en cuencas pequeñas altamente gestionadas o modificadas.</p>
Recomendaciones de priorización	<p>Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.</p>



4.3. RC2.3. Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes

El tercer riesgo clave identificado es el **riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales y subterráneos en cantidad y calidad suficientes**.

Este riesgo aparece por la combinación de peligros climáticos – reducción de la precipitación, cambios en sus patrones de distribución y el aumento de la demanda evaporativa a consecuencia del aumento de la temperatura – con factores de riesgo subyacentes derivados de la gestión del recurso agua –demanda de agua creciente, sobreexplotación de acuíferos, planificación inadecuada o, simplemente, aparición de una situación de sequía inesperada que modifique la planificación estimada. Ante los efectos del cambio climático, se prevé una disminución en la cantidad de recursos hídricos disponibles, así como una pérdida de calidad del recurso debido a diversos factores (contaminación puntual y difusa, intrusión salina, anoxia en embalses, degradación de los ecosistemas). Ambos aspectos, en su conjunto, merman la disponibilidad de recursos superficiales y subterráneos y con ello la capacidad del sistema para satisfacer las demandas.

Este riesgo no debe confundirse con el RC2.1, en el que se analizaban sequías extremas de larga duración con impactos multisectoriales. En el caso del RC2.3, aunque también tiene implicaciones para los distintos usos del agua, no estaría necesariamente ligado a una sequía extrema, pudiendo ocurrir situaciones de escasez por verse comprometida la disponibilidad de recursos hídricos con elevada influencia de los factores de riesgo subyacentes. Otro de los aspectos a destacar es que, en este caso, el riesgo aparece de forma más local en el tiempo y en el espacio, ocurriendo períodos de escasez que comprometen la satisfacción de las demandas en determinadas zonas del territorio. En MITERD (2018) se presentan los índices de explotación por demarcaciones hidrográficas según los datos de los planes del segundo ciclo de planificación hidrológica (2015-2021). Para ello se ha obtenido el índice WEI+⁸ mensual, presentando los resultados para los mayores valores (julio y agosto). Según este índice, las demarcaciones los mayores valores de WEI+ se dan en las demarcaciones hidrográficas de Islas Baleares, del Segura y del Júcar, seguidas por la demarcación hidrográfica del Guadalquivir, la parte española de las demarcaciones del Ebro y del Guadiana y el Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña. Estos valores muestran la escasez en estas cuencas donde las demandas se encuentran próximas o incluso por encima de las aportaciones al sistema, quedando poco margen para la gestión.

⁸ El índice de explotación WEI+ se calcula como la fracción en la que en el numerador se sitúan los consumos (entendiéndose como extracciones menos retornos), y en el denominador los recursos renovables de agua dulce.



El origen de los recursos hídricos (superficiales, subterráneos, alternativos y trasvases) que abastecen a los distintos usos se distribuye en el territorio de manera heterogénea. Así, las zonas con abundantes precipitaciones, como las cuencas hidrográficas del norte y las áreas montañosas, hacen uso principalmente de aguas superficiales, mientras que las zonas más áridas como las islas Canarias, el sureste de España y las cuencas del Ebro, Júcar, Duero, Segura, son más dependientes de aguas subterráneas y trasvases, llegando el porcentaje subterráneo en algunas demarcaciones, como en la del Júcar, al 50 % (MITECO, 2023). Por otro lado, desde el punto de vista del abastecimiento urbano en pequeñas y medianas poblaciones de menos de 5000 habitantes, que suponen el 91,1 % de las zonas de abastecimiento a población censadas, el 85,4 % de las fuentes de suministros son de origen subterráneo (Ministerio de Sanidad, 2023).

La concentración de la población y de la actividad industrial alrededor de grandes ciudades, como Barcelona o Madrid, y en los grandes corredores industriales del Valle del Ebro, el País Vasco y el Levante (Hispagua, 2021), aumenta la presión sobre los recursos para el abastecimiento a estos sectores. En cuanto al regadío, según las revisiones del III Ciclo de los PHC, se está produciendo y se prevé un mayor incremento de la superficie regada en cuencas como el Duero, el Ebro y el Guadiana (Sánchez *et al.*, 2023), comprometiendo así la satisfacción de la demanda de este uso. La mejora de la eficiencia de los sistemas de regadío, en la mayoría de las cuencas, no ha supuesto una disminución de la demanda, sino un aumento de la superficie regable. La presión sobre el recurso agua ya afecta al buen estado de las masas de agua.

Por todo lo anterior, es necesario buscar políticas de gestión hídrica dirigidas a reducir los índices de explotación, generando mayores márgenes entre las aportaciones y demandas. Asimismo, convendría implementar mecanismos de gestión de los recursos hídricos para anticipar posibles problemas para la satisfacción de las demandas. La **Figura 6** muestra los mapas de seguimiento de sequía y escasez en España en el mes de junio desde el año 2022 al 2025, según datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. El mes de junio es un mes clave para la gestión de recursos ya que en términos generales supone el comienzo del verano, estación con menos lluvia y por tanto más propensa a enfrentar posibles situaciones de sequía, y en la que se están liberando los mayores volúmenes de agua para regadío. Puede verse cómo ambos indicadores se encuentran parcialmente desacoplados, existiendo situaciones de escasez de recursos (**Figura 6**, áreas color naranjas y rojo, columna de la derecha) sin la existencia de una sequía declarada (**Figura 6**, áreas color salmón, columna de la izquierda). Este desacople parcial nos indica que, aun cuando no existe déficit de precipitaciones, existen problemas de satisfacción de demandas, y, por tanto, hay un problema de gestión. Aun así, existen también muchas zonas donde sequía y escasez van de la mano, y donde, por lo tanto, no se puede descartar que verdaderamente esa escasez esté causada por una sequía.

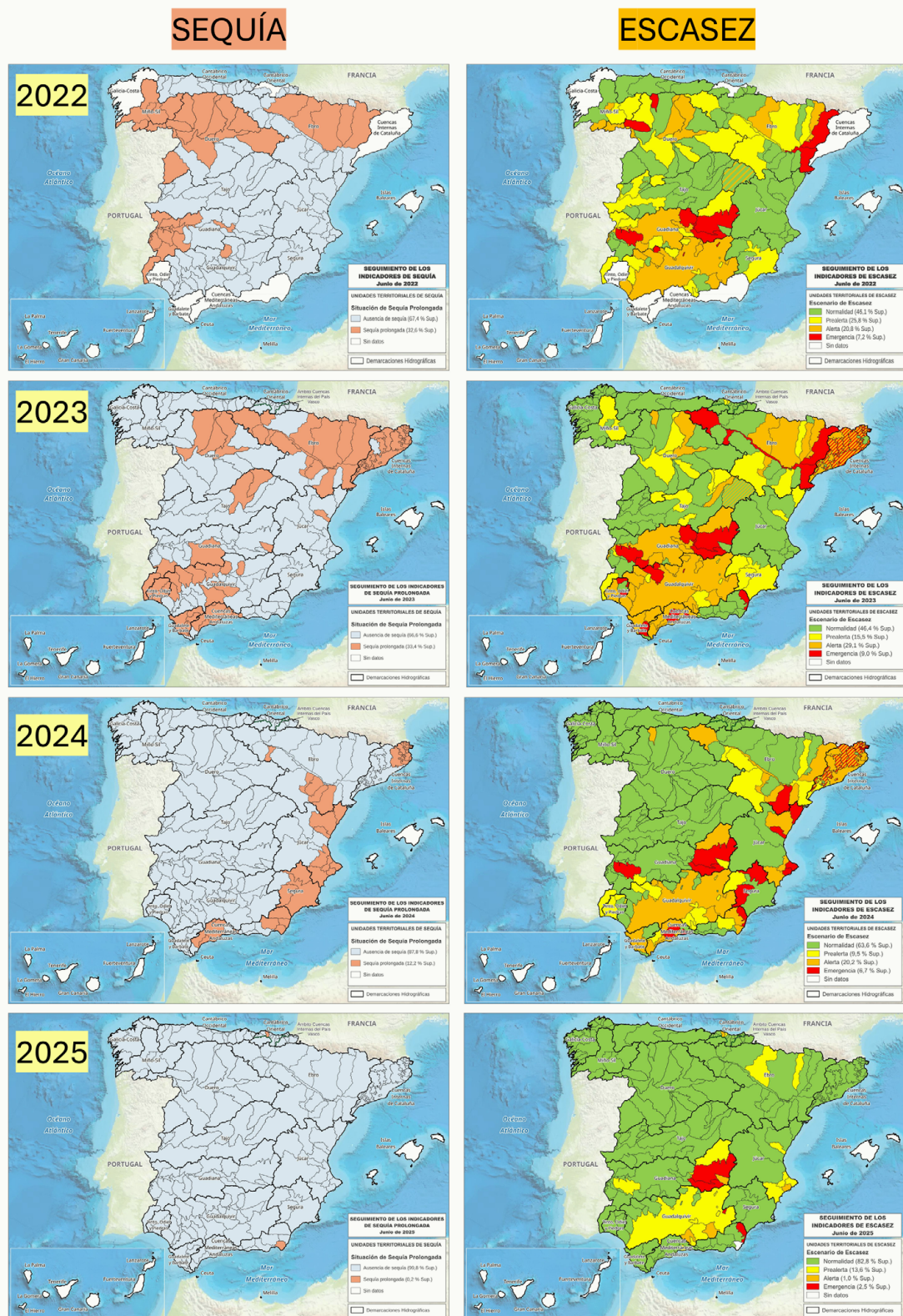


Figura 6. Mapas de seguimiento de los indicadores de sequía prolongada (columna de la izquierda) y escasez (columna de la derecha) en el mes de junio para los años 2022, 2023, 2024 y 2025, según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (Fuente: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/informes-mapas-seguimiento.html>).



La **Figura 7** muestra la cadena de impacto del riesgo clave, incorporando los componentes esenciales del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de la acción combinada de dichos componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco, donde confluyen los impactos físicos que resultan de los peligros, los elementos expuestos y los atributos que determinan su nivel de vulnerabilidad. A partir de este nodo central se despliegan las consecuencias del riesgo en forma de impactos directos, así como de riesgos en cascada, tanto propios del sector como derivados de su interrelación con otros sectores.

A partir de la clasificación climática propuesta por el AR6 WGI del IPCC (Ranasinghe *et al.*, 2021) y de la literatura analizada asociada a este riesgo (Sanz y Galán, 2020; Vicente-Serrano *et al.*, 2014; Vila-Traver *et al.*, 2021), se han identificado los principales **peligros climáticos** asociados al RC3. Al ser un riesgo relacionado con la escasez del recurso, los peligros climáticos serán los mismos del RC1. Por un lado, la *reducción de la precipitación anual* y los *cambios en los patrones de distribución de la precipitación* (de Luis *et al.*, 2010; Miró *et al.*, 2018) tienen efecto en la reducción del caudal superficial y en la recarga a los acuíferos (Cuthbert *et al.*, 2019; He *et al.*, 2021b; Rouhani *et al.*, 2025), que en el territorio peninsular ha descendido en un 11 %, llegando en algunas zonas al 20 % (Tristán, 2024). En el caso del cambio en los patrones de distribución de la precipitación en forma de nieve, puede producir una reducción de los aportes a las reservas hídricas asociadas a la fusión. Por otro lado, el *incremento de la temperatura (aire, suelo, vegetación y agua)*, puede producir un aumento de la demanda evaporativa de la atmósfera (CEDEX, 2017; Valdés-Abellán *et al.*, 2020). Además, el aumento de la temperatura favorece la proliferación de patógenos en las aguas, floraciones de cianobacterias tóxicas, o productores de sustancias causantes de olor como geosmina o metil-isoborneol, que son una creciente preocupación en las plantas de tratamiento de agua. Por otro lado, estos problemas de calidad de agua pueden verse afectados por otros peligros climáticos como son las lluvias torrenciales, que afectan de forma indirecta al riego al aumentar la carga de nutrientes y sedimentos en lagos y embalses, y por lo tanto creando condiciones óptimas para el crecimiento de estos microorganismos. La existencia de estos peligros climáticos, unida a las vulnerabilidades asociadas a este riesgo descritas más adelante, genera escasez estructural de agua, y, a su vez, riesgo para el abastecimiento a los diferentes usos.

En este riesgo se han identificado una serie de **elementos expuestos**. Ante una situación de escasez de agua la *población* puede verse afectada por restricciones en el suministro. Se identifican también como elementos expuestos los *ecosistemas naturales*, tanto fluviales y ribereños aguas abajo de las presas, como los humedales. En este sentido, según lo establecido en la Ley de Aguas (MIMAM, 2001) y el Reglamento de Planificación Hidrológica (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, 2008), los caudales ecológicos no se consideran un uso como tal, sino una restricción al uso, por lo que deben liberarse sin tener en cuenta la cantidad de agua disponible para la satisfacción del total de las demandas, a excepción del uso de abastecimiento

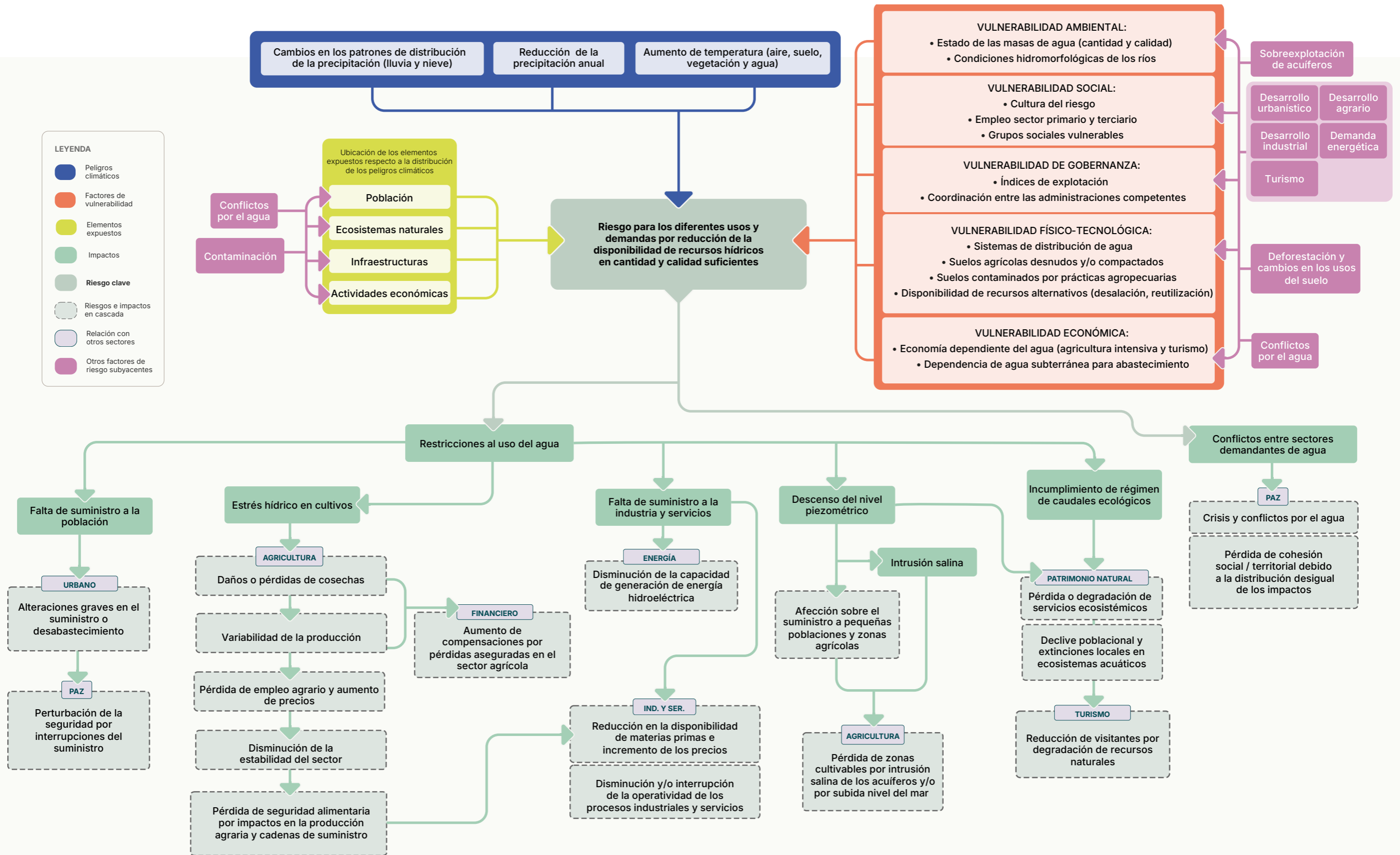


Figura 7. Cadena de impacto. RC2.3. Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes.



a la población, que según la prioridad de usos establecida en los planes de cuenca, se considera prioritario al resto de usos (Schmidt *et al.*, 2022). Aun así, en situaciones de sequía, los PES establecen una reducción o cese temporal en el régimen de caudales ecológicos a liberar desde la presa, al prevalecer el uso para abastecimiento urbano como uso esencial, por lo que, en esos casos, se verán expuestos los diferentes ecosistemas situados aguas abajo (Dobel *et al.*, 2020a; WWF, 2023). Por otro lado, ante la reducción en la recarga de acuíferos, bien por la disminución de caudales, bien por alteraciones en la dinámica de la nieve, se puede producir el descenso del nivel piezométrico, que se verá agravado en caso de sobreexplotación de acuíferos, pudiendo afectar al mantenimiento de ecosistemas dependientes (Kahil *et al.*, 2016). La disminución en el régimen de caudal afecta también a las *infraestructuras* de generación de energía hidroeléctrica, cuyas turbinas necesitan de un caudal mínimo para funcionar y cuya producción dependerá de manera directa del caudal circulante, así como a las centrales térmicas, donde a la disponibilidad de agua se suma la afección en los sistemas de refrigeración por el aumento de la temperatura, lo que podría derivar en cortes de suministro. Esto último se aborda desde una perspectiva más transversal en el capítulo sectorial de *Energía*, donde se destaca como clave el *riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos (RC9.1)*. En él se ofrece una descripción detallada de los impactos directos y en cascada que una interrupción del suministro energético puede desencadenar. Por otro lado, en el capítulo de *Energía* también se presenta, en este caso como relevante, el *riesgo para la capacidad de generación eléctrica en centrales térmicas por reducción de la eficiencia de los sistemas de refrigeración debido al descenso de recursos hídricos continentales, al aumento de la temperatura del agua y/o al aumento de la temperatura atmosférica (RR9.8)*. Por último, aquellas *actividades económicas* dependientes del uso del agua, como pueden ser la agricultura, el turismo, o la industria también resultan expuestas al disminuir la cantidad y calidad de los recursos disponibles. En este sentido, existen parámetros de calidad de agua como la elevada salinidad, que limita el uso del agua al causar toxicidad en las plantas, salinización del suelo y corrosión en equipos (Musie y Gonfa, 2023), o la elevada turbidez, que puede obstruir filtros y equipos, impidiendo los procesos o disminuyendo su eficiencia. De la misma forma, en España el Real Decreto 3/2023, establece valores máximos permitidos para sustancias químicas y microbiológicas en el agua de consumo humano. Por ello, las masas de agua, superficiales y subterráneas, destinadas al tratamiento de agua para consumo, y que, a partir de uno o varios puntos de captación, proporcionen un promedio de más de 100 metros cúbicos diarios, se someten a controles adicionales de los parámetros, sustancias o contaminantes que puedan constituir un riesgo para la salud humana (Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática, 2023).

Entre las **vulnerabilidades** asociadas a este riesgo, destacan algunas **vulnerabilidades ambientales**, como puede ser el *estado de las masas de agua* en términos de calidad y cantidad del recurso (EEA,



2021), incluyendo tanto masas superficiales como subterráneas, y el deterioro de las *condiciones hidromorfológicas de los ríos*. Ambos factores comprometen el uso del agua para la satisfacción de demandas. Períodos de sequía favorecen el aumento de la concentración de contaminantes, como productos fitosanitarios, fósforo o nitrógeno, en las partículas del suelo y disminuyen su dilución en los escasos volúmenes de agua de escorrentía superficial que se generan (Sanz y Galán, 2020), y que posteriormente llegarán a cauces, acuíferos y embalses. Así, en condiciones de aumento de la temperatura en las masas de agua, se crean capas de agua más cálidas que se establecen arriba, dando lugar a la estratificación de la columna de agua. Cuando existe además elevada presencia de nutrientes en los ecosistemas acuáticos, ocurren procesos de eutrofización en condiciones anóxicas que favorecen el crecimiento de algas y plantas acuáticas, así como la proliferación potencial de cianobacterias (Carmargo et al., 2025; Lin et al., 2023; Pérez-Martín et al., 2023). Por otro lado, la reducción del régimen de caudal causado por la escasez puede llevar a cambios en las condiciones morfológicas de las masas de agua, incluyendo la geometría del cauce (anchura, profundidad), la variación longitudinal y transversal, y la estructura y composición del lecho y las orillas (Duffin et al., 2023).

La modernización de regadíos que pretendía un ahorro de consumo de agua se ha traducido también en la ampliación de la superficie regable (Sánchez et al., 2023), dificultando la materialización de dicho ahorro. Esta expansión de la superficie de regadío ha tenido importantes consecuencias en el uso del agua, en los indicadores de escasez y en los desafíos actuales durante los años secos (Serrano et al., 2024). Esto es especialmente relevante en las comunidades autónomas con mayor tasa de regadío sobre superficie geográfica, como Murcia, Andalucía y la Comunidad Valenciana, con un 15,72 %, 12,09 % y 12,07 % respectivamente (MAPA, 2023). Esta escasez hídrica y dificultad de ahorro de agua ante la expansión del regadío demuestran la necesidad de crear una *cultura del riesgo*, **vulnerabilidad social** que se extiende al resto de sectores consumidores del recurso.

Son destacables ciertas **vulnerabilidades de gobernanza**. Por un lado, los elevados *índices de explotación*, ya que la capacidad de regulación que ofrece el gran número de presas en España hace que sea posible la satisfacción de la demanda en periodos de ausencia de precipitaciones, demanda que en determinadas regiones y periodos supera a las aportaciones a los embalses, además de crear dependencia de los usos de recursos regulados (López-Moreno et al., 2014). A esto se une la no alineación *entre las administraciones competentes* que, por ejemplo, deben implementar programas regionales para ayudar a las áreas ambientalmente sensibles (Paniagua, 2001) y favorecer la coordinación de políticas como la Política Agraria Común o el Plan Nacional de Regadíos. Además, la administración también debe incentivar diversos aspectos que ayuden a paliar el escepticismo de los agricultores al uso de nuevas tecnologías o métodos de riego si no perciben beneficios económicos rápidos y claros, y la reticencia de las autoridades agrícolas ante la dificultad para implementar políticas efectivas que incluyan cambios en la gestión.



Por otro lado, existen **vulnerabilidades de carácter físico-tecnológico**, como pueden ser las deficiencias y pérdidas que se producen en los *sistemas de distribución de agua* (Ministerio de Sanidad, 2023; Zarza, 2024), o la falta de *disponibilidad de recursos alternativos*, como es el caso de la desalación y la reutilización, que podrían ayudar a paliar situaciones de escasez. La existencia de una gran superficie de *suelos agrícolas desnudos y/o compactados* que generan problemas de erosión y pérdida de suelo – fenómenos acentuados por los efectos de las sequías (Lin *et al.*, 2023) y la *contaminación derivada de prácticas agropecuarias* – provoca que, con la llegada de lluvias, la escorrentía arrastre importantes cantidades de sedimentos y fitosanitarios, ocasionando problemas de turbidez y contaminación en cauces y embalses (Contreras *et al.*, 2023).

Por último, existen ciertas **vulnerabilidades económicas**, como una *economía dependiente del uso del agua*, ligada al desarrollo de la agricultura intensiva y al turismo, y en las pequeñas y medianas poblaciones una *dependencia de agua subterránea*, que en situaciones de sequía ve afectada su recarga (Tristán, 2024) generando con frecuencia situaciones de sobreexplotación y contaminación de acuíferos y comprometiendo el abastecimiento a estas zonas.

Los factores de riesgo subyacentes a este riesgo clave incluyen el desarrollo urbano, agrícola e industrial, el turismo y la deforestación y cambios en los usos del suelo que, al tiempo que aumentan la presión sobre recurso, generan contaminación tanto de carácter difuso – que incluye nutrientes, pesticidas y sedimentos entre otros (Contreras *et al.*, 2023) – como puntual – que incluye detergentes, metales pesados (mercurio, plomo, cadmio), compuestos orgánicos (pesticidas, compuestos aromáticos, disolventes, plásticos), nutrientes (nitratos, fosfatos) y sustancias tóxicas (cianuros, amoníaco). En este contexto, cabe destacar que existe en España un número significativo de poblaciones de menos de 2.000 he⁹ (habitantes equivalentes) que no depuran adecuadamente (MITERD, 2022). La sobreexplotación de acuíferos supone también uno de estos factores de riesgo, la extracción intensiva de agua subterránea en relación con la recarga del acuífero principalmente ligada a la agricultura de regadío, en determinadas zonas como Doñana, condiciona este riesgo (Green *et al.*, 2024; Schmidt *et al.*, 2022). Dicha sobreexplotación, en el caso de acuíferos costeros, se encuentra directamente influenciada por la subida del nivel del mar, que rompe el equilibrio natural entre el agua subterránea y el agua marina, lo que se traduce en fenómenos de intrusión salina, que han recibido especial atención en los últimos años (Andreu y Fernández, 2019; Ferguson y Gleeson, 2012). Todo ello genera *conflictos por el agua*, que en determinadas zonas condiciona la exposición y vulnerabilidades que definen este riesgo clave.

⁹ Se utiliza como unidad de medida para establecer la carga contaminante del agua residual bruta (antes de la depuración de la misma) para vertidos de naturaleza urbana (o industriales cuyo vertido sea de naturaleza orgánica biodegradable). Queda definida en la normativa como “carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), de 60 gramos de oxígeno por día”, y sería el equivalente a la carga generada al día por una persona en una vivienda normal.



La acción combinada de los peligros, la exposición y las vulnerabilidades provoca **impactos** significativos. Se han identificado las *restricciones al uso del agua* y los *conflictos entre sectores demandantes de agua*. El primero ocurre cuando la escasez de agua da lugar a restricciones en una o varias actividades demandantes. Ante estas situaciones, los PHC establecen el abastecimiento urbano como uso esencial y prioritario, seguido del agrícola, sin olvidar la restricción al uso del caudal ecológico. Así, la *falta de suministro a la población* podría ocurrir de manera excepcional, como la situación de escasez de agua de 1991-1995, donde más de 12 millones de personas se vieron afectadas (Llamas, 1995). Más comunes son las restricciones al uso del agua en el sector agrícola generando *estrés hídrico en cultivos* y en el de industria, servicios, y energía, ocasionando la *falta de suministro* para el desarrollo de su actividad. Bajo condiciones de escasez de agua, cuando las extracciones de agua subterránea superan la capacidad de recuperación del acuífero se produce la sobreexplotación (Schmidt et al., 2022), pudiendo llevar al *descenso del nivel piezométrico*, y la *intrusión salina* en acuíferos costeros. La escasez de agua también podría derivar en el *no cumplimiento del régimen de caudales ecológicos*, pudiendo afectar a los ecosistemas aguas abajo de embalses y al patrimonio natural. El orden de prioridad de usos puede suponer una fuente de *conflictos entre los sectores demandantes de agua* (Estrela y Vargas, 2012); por ejemplo, los gobiernos regionales se enfrentan al reto de cumplir con la seguridad hídrica para la actividad turística, garantizando la disponibilidad de agua para residentes sin restricciones en el suministro (Florido-Benitez, 2024). De la misma forma, pueden surgir conflictos territoriales entre cuencas con trasvases, a la hora de decidir cómo y cuánta agua se trasvasa de un cauce a otro.

Los impactos señalados pueden llevar asociados una serie de **impactos y riesgos en cascada** relacionados con el sector agua y recursos hídricos o con otros sectores. Las restricciones al uso del agua podrían afectar a los *sectores medio urbano y paz y cohesión social* al producir alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento urbano y generar crisis y conflictos en el ámbito nacional por impactos sobre los recursos naturales y por competencia por ellos. También impactan en el *sector agricultura y ganadería*, ocasionando daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, mayor variabilidad en la producción de la agricultura, menor estabilidad del sector y pérdida de seguridad alimentaria por afectar a las cadenas de suministro a nivel nacional e internacional. Estos riesgos pueden conllevar la pérdida de empleo agrario y aumento de precios de productos agrícolas (Vargas-Melin y Pindado, 2014), afectando también al *sector financiero*, por el riesgo de aumento de compensación por pérdidas aseguradas principalmente en el sector agrícola. De la misma forma, el *sector industria y servicios* puede verse afectado por riesgo de disminución y/o operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico, así como por riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando estas dependen de las condiciones climáticas (Allen y Otero, 2023). La reducción de la disponibilidad de recursos hídricos también puede generar riesgos en cascada en el *sector energía* debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica (Solaun y Cerdá, 2019), o en el *sector urbano* en el caso de pequeñas y medianas poblaciones abastecidas por acuíferos cuando existe sobreexplotación, contaminación o intrusión salina en estas



masas (Pulido-Velázquez, 2018). Asimismo, la alteración del régimen de caudales e incumplimiento del régimen de caudales ecológicos en condiciones de escasez de agua podría conducir a la pérdida de hábitats, declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos, y degradación de servicios ecosistémicos por alteración de la funcionalidad de los ecosistemas (Ibáñez y Caiola, 2023), afectando así al *sector patrimonio natural* y, en consecuencia, al *sector turismo* basado en la naturaleza (Florido-Benítez, 2024).

Ficha 3. Análisis del riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica El cálculo agregado de pérdidas en agricultura y turismo por la escasez de agua en 2020 se sitúa por debajo del 0,1% del PIB, siendo algo mayor en 2023, aunque aún por debajo del 0,1% del PIB (Aon, 2024).	Crítica Para el corto plazo las previsiones indican que las sequías se intensificarán, y, por lo tanto, su efecto sobre la escasez del recurso para satisfacer las demandas. No se prevé que el impacto económico sobrepase el límite hacia una situación catastrófica, aunque se estima en centenas de miles de personas afectadas en el sector agrícola y en el turismo, y que el impacto económico podría duplicarse (iAgua, 2025).	Catastrófica Algunos análisis estiman que para 2050, el impacto de la escasez afectará en España a dos tercios de la población (AMCESFI, 2023), con un impacto económico que puede alcanzar el 3 % del PIB (PwC, 2025).	Catastrófica Como se ha indicado en el RC1, la frecuencia, duración e intensidad de las sequías se prevé que aumentará hacia finales de siglo. En este escenario, se estima que una sequía grave podría restar 1,3 % en el PIB, aumentando el nivel de severidad, según el Banco de España (Zarza, 2024).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5°C)	Medio plazo 2041-2060 (2°C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4°C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Alto ◆◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Alto	· Media · Medio	· Media · Medio	· Media · Alto
	Los datos han sido obtenidos de publicaciones académicas revisadas por pares, de organismos oficiales, y de estudios de WWF.	El análisis se basa en escenarios de escasez, a nivel europeo, con información no específica para España.	Las fuentes consultadas han sido publicaciones basadas en estudios en el sur de Europa, no siendo específicas para España, y publicaciones de WWF que no se han publicado en revistas con revisión por pares.	Las fuentes analizadas son híbridas, encontrándose en la literatura académica y en publicaciones de organismos oficiales, siendo el nivel de consenso alto.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Los principales peligros son la reducción de la precipitación anual y los cambios en los patrones de distribución de la precipitación, junto con el aumento de la temperatura (aire, suelo, vegetación y agua).	<p>Los siguientes elementos han sido identificados como expuestos ante este riesgo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Población. • Ecosistemas naturales. • Infraestructuras. • Actividades económicas. <p>La distribución geográfica del riesgo es nacional, siendo más acentuada en el levante y sur peninsular.</p>	<p>Vulnerabilidad ambiental:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estado de las masas de agua (cantidad y calidad). • Condiciones hidromorfológicas de los ríos. <p>Vulnerabilidad social:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cultura del riesgo. <p>Vulnerabilidad de gobernanza:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Índices de explotación. • Coordinación entre las administraciones competentes.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Peligros		Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo			<p>Vulnerabilidad física-tecnológica:</p> <ul style="list-style-type: none">• Sistemas de distribución de agua.• Suelos agrícolas desnudos y/o compactados.• Suelos contaminados por prácticas agropecuarias.• Disponibilidad de recursos alternativos (desalación, reutilización). <p>Vulnerabilidad económica:</p> <ul style="list-style-type: none">• Economía dependiente del agua (agricultura intensiva y turismo).• Dependencia de agua subterránea para abastecimiento.
Aspectos transversales			
Transfronterizos	<p>En la gestión de recursos hídricos en cuencas transfronterizas es necesario la creación de acuerdos y convenios internacionales entre los países implicados. En el caso de España, existen cuatro cuencas cuyo territorio es compartido entre España y Portugal: Guadiana, Tajo, Duero y Miño-Sil. En este caso existe el Convenio de la Albufeira de 1998. Los efectos de la escasez más allá de las fronteras nacionales pueden derivar en impactos transmitidos a través de vías diversas, como el comercio, los flujos financieros, las migraciones o los cambios geopolíticos. Como ejemplo, se puede producir pérdida de producción de materias o energía importada de otros países, o interrupción en la cadena de suministro, con consecuencias en el comercio y en las cadenas de producción. También se pueden producir migraciones y desplazamientos hacia España por degradación de los medios de vida (pérdida de cultivos, escasez de alimentos, pérdida de empleo), o por cambios geopolíticos por competencia por los recursos en sus países de origen.</p>		
Territoriales	<p>La mayor incidencia de este riesgo se da en zonas con déficit hídrico y peor calidad del agua (Adroches, 2024), afectando de manera específica tanto al consumo urbano, como al regadío, a las actividades económicas dependientes del uso del agua y a los servicios ecosistémicos (Dobel et al., 2020a; Ingrao et al., 2023; Madruga, 2021; Orimoloye, 2022; Pérez-Pérez y Barreiro-Hurlé, 2009). El descenso en la recarga de acuíferos es un factor que afecta a todo el territorio nacional, estimándose en un descenso de entre el 10 % y el 20 % en más del 50 % del territorio nacional (Pulido-Velázquez et al. 2018).</p> <p>Las cuencas con mayores índices de explotación y que, por tanto, se ven afectadas más frecuentemente por la escasez son la demarcación hidrográfica de las Islas Baleares, la del Segura, la del Júcar, seguidas por el Guadalquivir, el Ebro y el Guadiana, según los datos del índice de explotación WEI+ (MITERD, 2018).</p>		

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Aspectos transversales

Sociales

La reducción en la disponibilidad de recursos afecta especialmente a los sectores donde se establecen medidas de gestión que implican restricciones en la satisfacción de la demanda: urbano, agricultura y ganadería, energía, industria y servicios, y turismo. En este sentido, las comunidades cuya economía depende del empleo agrícola y de servicios pueden verse más afectadas ante la posible pérdida de empleo. Además, los grupos sociales más vulnerables en situación de pobreza, bajos ingresos o enfermos con problemas de movilidad, acusan más la falta de acceso a servicios básicos esenciales como el agua o la energía, además de la dificultad de obtener productos básicos ante la posible subida de precios en situación de escasez.

Los servicios ecosistémicos pueden verse afectados si se produce incumplimiento o reducción en el régimen de caudales ecológicos, afectando al bienestar social de la población.

Maladaptación

En España se han llevado a cabo varios planes de modernización del regadío desde el año 2002, con el objetivo de la mejora de la eficiencia del riego. Sin embargo, estas medidas no han supuesto una disminución de las demandas (consumos netos), sino que se ha producido un incremento de la superficie regable (Polo et al., 2014), reduciendo el margen de mejora y poniendo al límite el sistema de gestión.

El uso de aguas subterráneas para el uso agrícola y abastecimiento a pequeñas poblaciones es una fuente de recursos fundamental en determinadas zonas, y con frecuencia es utilizada por los agricultores en situaciones de escasez. Sin embargo, la sobreexplotación de acuíferos por encima de su tasa de recarga (Pulido-Velázquez et al. 2018) puede llevar a descenso del nivel piezométrico, colapsos y subsidencias en el terreno superficial sobre la zona acuífera (Sanz y Galán, 2020), y a contaminación por intrusión salina en los acuíferos costeros.

Género

Al igual que en el caso de sequías, las mujeres se sienten más preocupadas y vulnerables ante los efectos del riesgo de reducción en la disponibilidad de recursos hídricos sobre ellas y sus hijos. Esto es debido a que las cargas de cuidado a menudo recaen desproporcionadamente sobre las mujeres (Instituto de las Mujeres, 2021).

Otros aspectos analizados

Umbrales críticos

La escasez de agua se gestiona a través de umbrales en los Planes Especiales de Sequía que marcan diferentes fases dependiendo de determinados porcentajes calculados sobre el volumen conjunto de recursos hídricos en determinadas unidades territoriales de escasez (UTE). Así se definen las situaciones de:

- Normalidad (ausencia de escasez) (>50 % recursos hídricos en la UTE).
- Prealerta (escasez moderada) (30 % - 50 % recursos hídricos en la UTE).
- Alerta (escasez severa) (15 % - 30 % recursos hídricos en la UTE).
- Emergencia (escasez grave) (<15 % recursos hídricos en la UTE).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Otros aspectos analizados

Lock-in/Bloqueo

En España se han implementado planes de mejora en la eficiencia del regadío. Sin embargo, estas medidas no han supuesto una disminución de la demanda, sino un aumento de la superficie regada (Polo et al., 2014). Ante las previsiones de disminución de la precipitación anual y aumento de los episodios de sequía, el aumento de la superficie demandante de agua para regadío no se ajusta a los escenarios futuros de descenso en la disponibilidad del recurso, acentuando los episodios de escasez futuros.

El uso de recursos alternativos (desalación y reutilización), aunque suponen un aumento en la disponibilidad del recurso, en ocasiones implica costes más elevados y encuentra dificultades en la aceptación social de esta agua para satisfacer la demanda.

El elevado número de presas en España, aunque mejora la resiliencia ante situaciones de escasez, crea una falsa sensación de seguridad en la disponibilidad del recurso que en ocasiones lleva a un aumento de la demanda. Además, en situaciones de escasez se puede producir el secado total de un embalse, que implica la concentración de sustancias y contaminantes en el material del vaso del embalse, produciéndose contaminación de las aguas en el nuevo llenado, impidiendo su utilización para el abastecimiento, o siendo necesario cambiar el sistema de potabilización para adaptarlo.

Las situaciones de escasez muchas veces desembocan en sobreexplotación de acuíferos con proliferación de pozos ilegales que suponen un riesgo en sí mismo, por la bajada del nivel freático, la concentración de contaminantes y la dificultad de recuperación del acuífero.

En el caso de los ecosistemas naturales aguas abajo de las presas, la reducción o incluso el corte en el régimen de caudales ecológicos puede deteriorar el ecosistema, pudiendo provocar la desaparición de la flora y la fauna (Estrela-Segrelles et al., 2023; Liu et al., 2022).

Planes o medidas en curso de gestión del riesgo

España ha incorporado las sequías como elementos estructurales en su planificación y gestión del agua a través de los Planes Especiales de Sequía, que en coordinación con los PHC pretenden evitar las situaciones de escasez de disponibilidad del recurso.

Entre los planes y medidas relacionadas con este riesgo, cabe destacar, entre otros:

- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), instrumento de planificación clave para evitar o reducir los daños presentes y futuro del cambio climático y construir una economía y sociedad más resilientes.
- Directiva Marco del Agua (DMA) y normativa derivada. Surge por la necesidad de proteger el agua, tanto en términos cualitativos como cuantitativos, garantizando la sostenibilidad. Derivadas de esta directiva en la legislación española el Texto Refundido de la Ley de Aguas, y los Reales Decretos RD 817/2015 para el seguimiento del estado de las aguas y el RD 1514/2009 de protección de las aguas subterráneas, entre otros.
- Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, cuyo objetivo es impulsar la recuperación de las masas de agua tipo río en las demarcaciones hidrográficas para alcanzar el buen estado ecológico.
- Plan Estratégico de Humedales, tiene como objetivo evitar, detener y revertir la pérdida y degradación de humedales en España.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Otros aspectos analizados

Planes o medidas en curso de gestión del riesgo

- PERTE de Digitalización del Ciclo del Agua, mediante el que se impulsa el uso de las nuevas tecnologías de la información en el ciclo integral del agua, con el fin de mejorar su gestión, aumentar su eficiencia, reducir las pérdidas en las redes de suministro y avanzar en el cumplimiento de los objetivos ambientales.
- Código Técnico de la Edificación y disposiciones relativas al ahorro del agua.
- Real Decreto 3/2023 sobre la calidad de agua de consumo humano, establece los criterios para la calidad del agua de consumo humano.
- Real Decreto 1085/2024 de reutilización del agua, que establece condiciones básicas para el uso seguro de agua regenerada.
- Reglamento (UE) 2020/741 sobre la reutilización del agua para riego agrícola, establece los requisitos mínimos para la reutilización segura del agua urbana depurada en usos agrarios.

Relativos al control sobre vertidos y sustancias contaminantes, señalar, entre otros:

- Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.
- Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación.

Otras medidas:

- En agricultura se están adoptando medidas de reducción del estrés hídrico, diferentes variedades de cultivos más resistentes, sistemas de riego y técnicas de manejo sostenible del suelo, como técnicas de rotación (Ingrao et al., 2023; Rodríguez, 2023).
- En industria, las empresas deben implementar tecnologías eficientes de uso de los recursos hídricos, realizar controles de mantenimiento para prevenir el desperdicio de agua, reutilizar y reciclar el agua en los procesos industriales, entre otros (Kumar y Thakur, 2024; Weerasooriya et al., 2021).
- España ha desarrollado una estrategia nacional para recuperar los acuíferos contaminados por nitratos alineada con las políticas de la Unión Europea (Pérez-Martin, 2024), específicamente a través de la planificación hidrológica según la DMA de la UE. Los PHC utilizan modelos para definir el excedente máximo de nitrógeno en cada acuífero contaminado.

Gobernanza de gestión del riesgo

La competencia en la gestión de este riesgo es compleja. Desde el punto de vista de la cantidad de agua, es el Ministerio para la Transición Energética y Reto Demográfico quien publica de manera mensual los informes y mapas de seguimiento de escasez. Estos informes son suministrados por cada uno de los organismos de cuenca en base a los PHC y la información disponible tanto de volúmenes de agua como de demandas a satisfacer. Desde el punto de vista de la calidad del agua, es de nuevo el Ministerio para la Transición Energética y Reto Demográfico, a través de los programas de seguimiento del estado y calidad de las aguas, el encargado de su vigilancia y control. En el caso de cuencas transfronterizas, los gobiernos de ambos países son responsables de la gestión del riesgo mediante los Convenios correspondientes (Convenio de la Albufeira).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Otros aspectos analizados	
Beneficios de medidas de adaptación futuras	La puesta a punto del nuevo ciclo de planificación hidrológica (2022-2027) permitirá alcanzar los objetivos ambientales para las masas de agua y ecosistemas asociados, así como la atención de las demandas para los diferentes usos, compatibles con el buen estado de las aguas, en un marco de adaptación al cambio climático. Del mismo modo, estas medidas de adaptación incrementarán la seguridad hídrica gracias a la promoción de proyectos que contribuyan al ahorro y menor consumo de agua mediante el uso eficiente y racional de los recursos, la reducción de la demanda y la protección de las masas de agua.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	<p>El impacto del riesgo en la descarbonización es negativo, dada la necesidad de aprovisionamiento de recursos hídricos ante situaciones de escasez mediante agua embotellada o camiones cisterna, que iría en contra de las políticas de descarbonización.</p> <p>En cuanto al impacto de la descarbonización en el riesgo, sería positivo. La transición a energías renovables y la promoción de eficiencia energética supone una reducción de la demanda de agua y por tanto una disminución de la presión sobre los recursos disponibles (Solaun y Cerdá, 2019).</p>
Déficits de información	La gestión de recursos hídricos en situaciones de escasez ha sido ampliamente estudiada, especialmente en zonas mediterráneas del sur de Europa. Sin embargo, existe falta de datos particularizados para España bajo algunos escenarios futuros de cambio.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.



5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector.

Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase capítulo de Riesgos Complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo basado en teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí. Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros.

Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada “centralidad de cercanía” muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la “centralidad de intermediación” revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

El análisis de riesgos complejos del ámbito sectorial *Agua y recursos hídricos* se centra en los tres riesgos clave (RC2.1, RC2.2 y RC2.3) al haber sido identificadas en todos ellos interdependencias significativas con otros riesgos clave de otros sectores. Destaca en este análisis que los tres riesgos clave obtienen un algo grado de entrada, aunque bajo de salida. Esto se debe a la propia naturaleza de los riesgos climáticos asociados a este sector, que, como se ha desarrollado en cada uno de ellos producen impactos y riesgos en cascada en todos los demás sectores. Sin embargo, no es habitual que los riesgos asociados a otros sectores tengan sean la entrada en los propios del sector agua y recursos hídricos.



El *Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración* (RC2.1) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 26 (**Figura 8**):

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de los sectores Forestal (RC4.4) y Agricultura y Ganadería (RC5.1).
- En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre riesgos pertenecientes al propio sector Agua y recursos hídricos (RC2.3), y de sectores como Patrimonio natural (RC3.1, RC3.2, RC3.3, RC3.4), Forestal (RC4.1, RC4.2, RC4.3, RC4.4, RC4.5), Agricultura y Ganadería (RC5.1, RC5.2, RC5.3), Ciudad (RC7.2, RC7.4), Energía (RC9.1), Industria y servicios (RC11.2, RC11.4), Turismo (RC12.3), Financiero (RC13.1, RC13.2, RC13.3, RC13.4) y Paz, seguridad, y cohesión social (RC14.1, RC14.2, RC14.3).

El *Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales* (RC2.2) tiene grado de entrada 5 y grado de salida 18 (**Figura 9**):

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de los sectores de Patrimonio natural (RC3.4) y Forestal (RC4.1, RC4.2, RC4.4, RC4.5).
- En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre diversos sectores como Patrimonio natural (RC3.2, RC3.3, RC3.4), Forestal (RC4.2, RC4.4), Agricultura y Ganadería (RC5.2), Ciudad (RC7.1, RC7.2), Patrimonio Cultural (RC8.2), Transporte (RC10.2, RC10.3, RC10.4), Industria y Servicios (RC11.1), Financiero (RC13.1, RC13.2, RC13.4) y Paz, Seguridad, y Cohesión Social (RC14.1, RC14.2).

El *Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes* (RC2.3) tiene grado de entrada 9 y grado de salida 15 (**Figura 10**):

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de los sectores, entre ellos el propio sector Agua y Recursos hídricos (RC2.1), y otros sectores como Patrimonio natural (RC3.4), Forestal (RC4.1, RC4.2, RC4.4), Agricultura y Ganadería (RC5.1, RC5.2), Ciudad (RC7.2) y Paz, Seguridad, y Cohesión Social (RC14.3).
- En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre diversos sectores como Agricultura y Ganadería (RC5.1, RC5.2, RC5.3), Ciudad (RC7.2, RC7.4), Energía (RC9.1), Industria y Servicios (RC11.2, RC11.4), Turismo (RC12.3), Financiero (RC13.1, RC13.3, RC13.4) y Paz, Seguridad, y Cohesión Social (RC14.1, RC14.2, RC14.3).

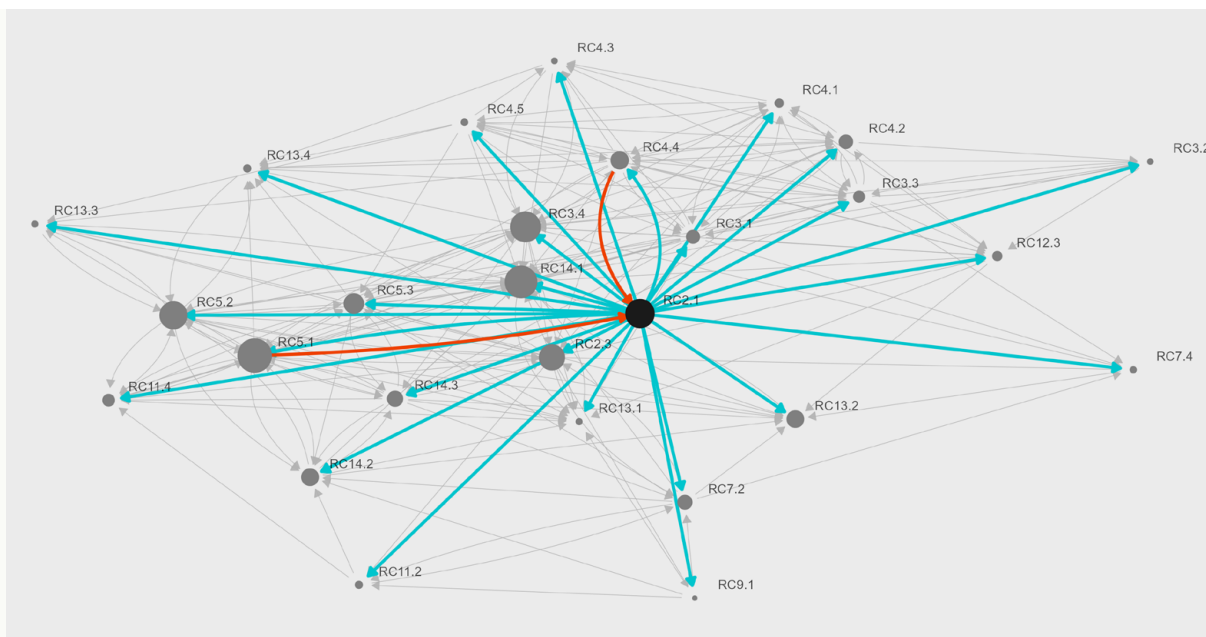


Figura 8. Grafo del Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

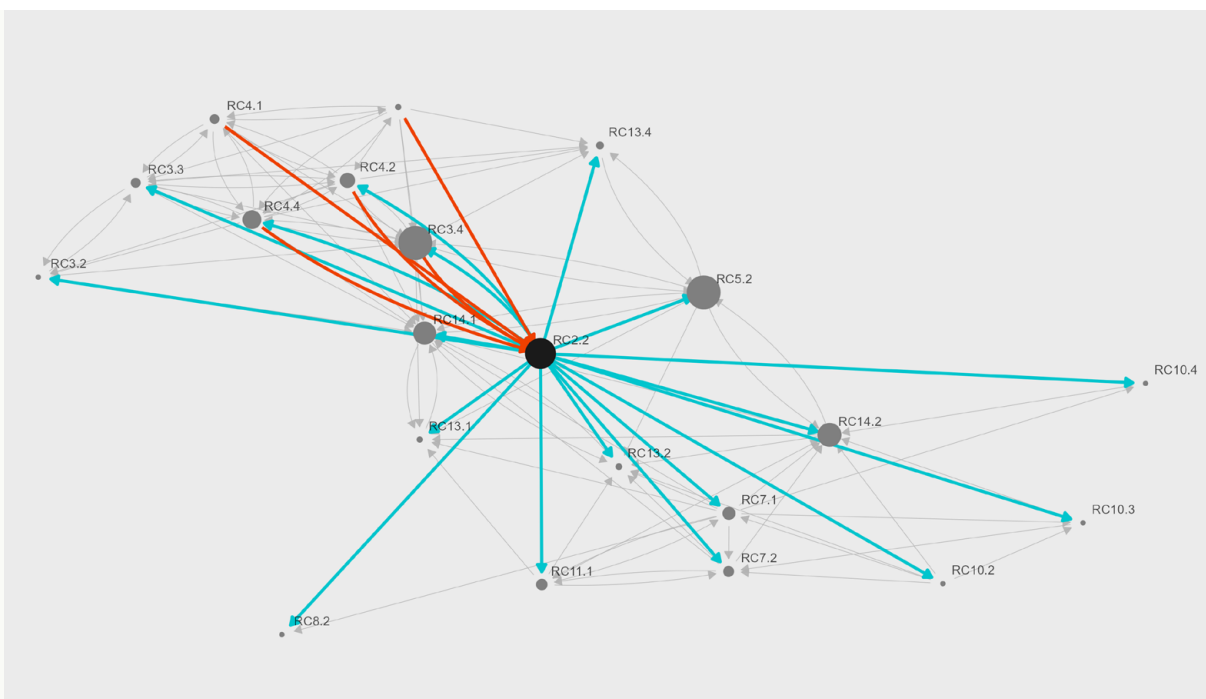


Figura 9. Grafo del Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

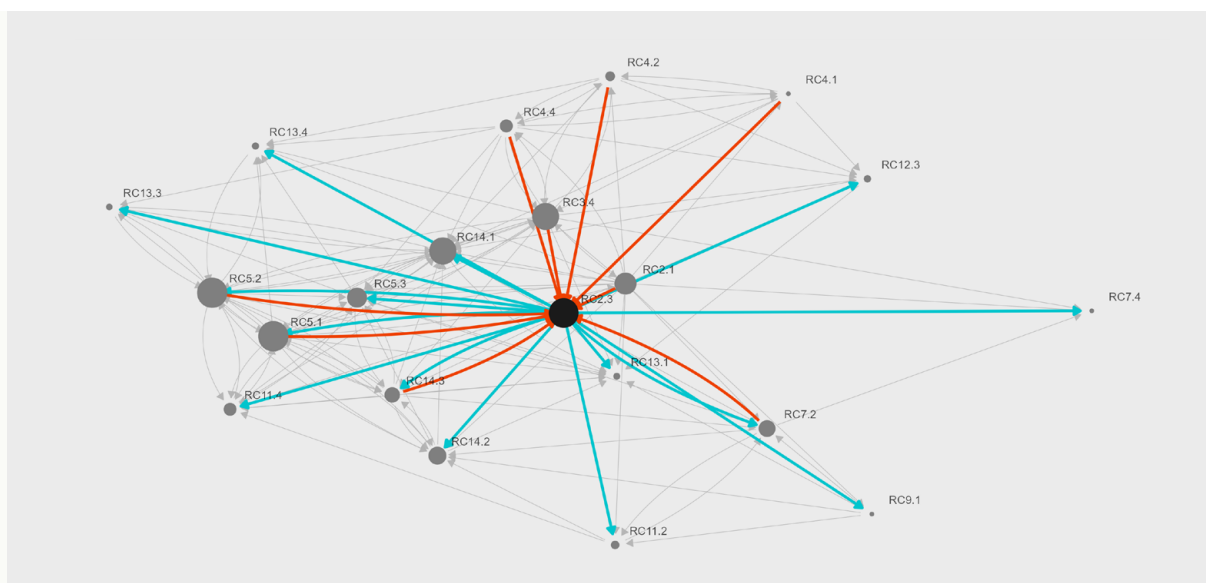


Figura 10. Grafo del Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

Las métricas asociadas a todos los riesgos clave de este sector se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 2. Análisis de riesgos complejos en el ámbito sectorial de Agua y recursos hídricos.

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
RC2.1 Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración	Bajo ▼	Alto ▲	Alto ▲	Alto ▲
RC2.2 Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales ¹⁰	Bajo ▼	Medio –	Alto ▲	Alto ▲
RC2.3 Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes ¹¹	Bajo ▼	Medio –	Medio –	Medio –

¹⁰ La denominación de este riesgo ha variado desde que se llevó a cabo el análisis de los riesgos complejos, donde este riesgo se denomina de la siguiente manera: RC2.2 Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival.

¹¹ La denominación de este riesgo ha variado desde que se llevó a cabo el análisis de los riesgos complejos, donde este riesgo se denomina de la siguiente manera: RC2.3 Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes.



6. Caso de estudio

El caso de estudio LIFE Ebro Resilience P1 ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del sector agua y recursos hídricos. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

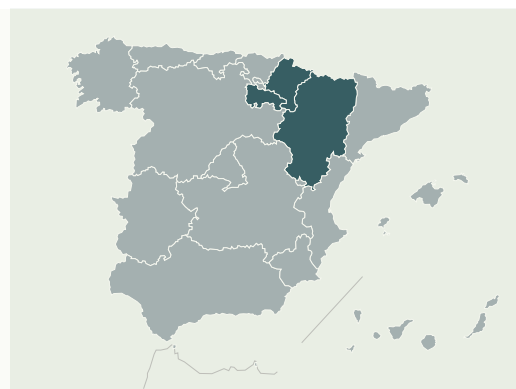
**LIFE Ebro Resilience P1
(LIFE20 ENV/ES/00327)
(Periodo de intervención LIFE
es 2021-2027, presupuesto total
de 13.310.350 €)**

Objeto

- Mejorar la resiliencia frente al peligro de inundación a través de la participación social y la mejora del estado ecológico del río y su biodiversidad, con el objetivo último de que la población y las actividades económicas convivan asegurando el buen estado de conservación del río y sin que sus inevitables crecidas produzcan daños importantes.

Descripción:

- El tramo medio del Ebro está catalogado como zona con alta probabilidad de inundación. Durante el siglo XX, la mayoría de las medidas adoptadas se centraron en la visión de protección total, sin la consideración de los aspectos medioambientales. A comienzos del siglo XXI se produce un cambio de enfoque en la gestión del riesgo de inundación que ha desembocado en la Estrategia Ebro Resilience y el Proyecto LIFE Ebro Resilience P1, cuyos planteamientos se basan



Ámbito Territorial:

- La Rioja, Navarra y Aragón.

Sector(es)/subsector:

- Agua.

Entidad(es) del proyecto:

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), a través de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y las empresas públicas TRAGSA Y TRAGSATEC; los gobiernos de La Rioja, Navarra, a través de Gestión Ambiental de Navarra, S.A. (GAN-NIK) y de Aragón y el Instituto Aragonés del Agua.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>



<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

en la adaptación a la inundación y la protección de los ecosistemas fluviales en un contexto de cambio climático, a través de la recuperación de llanuras aluviales y bosque ribereño, la implicación de la población local, la creación de hábitats para especies amenazadas y la eliminación de especies exóticas invasoras.

Aspectos destacables:

- Proyecto innovador centrado en la coordinación interadministrativa a nivel estatal, autonómico y local, la participación de la población como eje transversal de las acciones y parte indisociable de la gestión de las inundaciones y la combinación de medidas de adaptación tecnológica para el diseño de las acciones de adaptación al cambio climático.

El proyecto supone un cambio en la gestión de las inundaciones, estableciendo un nuevo modelo fluvial basado en la adaptación a la inundación y la conservación de los ecosistemas fluviales.

El proyecto implementa medidas derivadas de la evaluación del riesgo realizada en el PGRI, cuyos análisis (ARPSIs, mapas de peligrosidad y riesgo), permiten identificar las zonas más vulnerables.

LIFE Ebro Resilience P1 pretende ser referencia para el comienzo de intervenciones similares en otras zonas del Ebro, estableciendo también una estrategia replicable a nivel nacional y europeo en cuencas hidrográficas con problemas similares.

Escala:

- Demarcación hidrográfica. Cuenca del río Ebro.

Riesgo(s):

- Riesgo de daños por inundaciones.

Enlaces:

- <https://www.ebroresilience.com/proyecto-life-p1/>



7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

El sector del agua es un sector transversal al resto de sectores analizados, dado su carácter fundamental para el desarrollo de muchos de ellos (agricultura, energía, patrimonio natural, forestal) o su papel condicionante (turismo, movilidad y transporte). Además, este carácter transversal convierte el uso del agua en una potencial fuente de conflictos, afectando así a otros de los sectores analizados (paz, cohesión social y patrimonio cultural). Desde los organismos públicos se ha hecho un gran esfuerzo para que la información sobre la disponibilidad y uso del agua sea pública y accesible, por lo que las limitaciones de información en el sector son mínimas. A pesar de ello, existen algunas limitaciones que condicionan la evaluación del impacto del cambio climático de los riesgos analizados.

La entrada en vigor de la DMA supuso un cambio significativo en este ámbito. Por un lado, la puesta a punto de los Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (SAIH) ha permitido que la información relativa a precipitaciones, caudales circulantes en ríos y aportaciones, desembalses, volúmenes de agua almacenada en los embalses esté disponible tanto de manera histórica como en tiempo real. Además, desde su creación, estos sistemas han experimentado numerosas mejoras, incrementando la cantidad de información accesible. Por otro lado, la implantación de los ciclos de Planificación Hidrológica ha favorecido que muchas decisiones en materia de gestión hidrológica se discutan públicamente en mesas de participación y talleres, manteniéndose esta información disponible en todo momento. Esta disponibilidad de información y su acceso disminuyen cuando se quiere conocer en detalle algunos usos del agua. A pesar de que esta información se encuentra disponible en los anejos de los PHC, las escalas de agregación utilizadas, tanto espacial como temporal, no permiten saber con precisión las dotaciones de riego realizadas, cuáles son las operaciones de gestión de embalses, cuáles son los volúmenes de agua turbinados, o qué medidas concretas de mantenimiento de infraestructuras se han llevado a cabo.

La DMA obliga también a cada estado miembro a realizar informes de seguimiento para garantizar el buen estado de las masas de agua. Estos informes son de carácter público incluyendo en ellos información sobre la calidad de estas masas. Sin embargo, a pesar de este esfuerzo siguen existiendo lagunas importantes en el seguimiento del buen estado de las masas de agua, tanto en lo que se refiere a la cobertura espacial como en lo relativo a la confianza en la evaluación, ya que, por ejemplo, no en todas las demarcaciones hidrográficas se han incluido todas las sustancias priori-



tarias en los programas de monitoreo. Asimismo, aunque se han realizado avances significativos en la armonización de las clasificaciones nacionales de buen estado de las masas de agua, sigue existiendo una brecha en cuanto a la armonización a escala europea, lo que dificulta la comparación de la evaluación del estado global de los países miembros. Mucha de esta información sobre calidad se encuentra agregada a escala de peninsular o de demarcación hidrográfica, generando incertidumbres en su trasposición a escalas más locales.

En lo relativo a la información sobre cambio climático, la incertidumbre de las proyecciones climáticas constituye la principal limitación. Por un lado, los modelos climáticos poseen unas escalas espaciales mayores a las generalmente utilizadas para gestión, siendo especialmente relevantes en cuencas pequeñas y en zonas montañosas (Tramblay *et al.*, 2019). Por otro lado, muchos de los factores de riesgo subyacentes no son tenidos en cuenta a la hora de evaluar escenarios futuros. Así, por ejemplo, no se incluyen en mucho de las evaluaciones de impacto: (i) los cambios en los usos de suelo, que alteran las relaciones infiltración-escurrimiento-evapotranspiración; (ii) la gestión de los recursos hídricos, que pueden modificar los volúmenes de agua disponible y su uso; y (iii) la variabilidad del caudal medio y máximo de los cauces, especialmente en pequeñas cuencas altamente gestionadas y modificadas, y aquellas que dependen del deshielo (Douveille *et al.*, 2021). Por último, el hecho de que la mayor parte de los peligros climáticos que condicionan los riesgos del sector tengan una frecuencia decadal o multidecadal, hace que demostrar con total fiabilidad un cambio en su magnitud y frecuencia atribuible como causa directa al cambio climático, sea difícil (MITECO, 2018a). Del mismo modo, el uso de modelos hidrológicos para trasladar la información climática a información hidrológica no suele estar adaptado a estas condiciones locales y no suele incluir aspectos de gestión, lo que hace que las incertidumbres asociadas en algunos casos sean elevadas.



8. Referencias

- Adroches (2024). Informe Estrategia de desarrollo local Los Pedroches 2023-2027. Disponible en: <https://adroches.org/index.php/leader-23-27/201-1-estrategia-desarrollo-local-los-pedroches-2023-2027/file>
- Agudo, P.A., La Calle, A., Saura, J., Cubillo, F., Pita, M.F., López, J.A., Mujeriego, R., Hernández, S., Roldán, J., Cabrera, E., Castro, A. & Guijarro, L. (2006). Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/mites/es/agua/enlaces-de-interes/doc_sequia_espana_new_tcm30-278172.pdf
- Agudo, P.A. & del Moral, L. (2023). Impactos de la sobreexplotación y contaminación de las aguas subterráneas sobre el derecho humano al agua. Perspectiva global y valoración de la situación en Andalucía. Disponible en: <https://www.ortizbenjumea.com/wp-content/uploads/2024/02/IMPACTO-EXPLOTACION-DE-LAS-AGUAS-SUBTERRANEAS.-ANDALUCIA.pdf>
- Alfieri, L., Dottori, F. & Feyen, L. (2017). JRC PESETA III project. Task 7 – River floods. Disponible en: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC110308/task_7_floods_final_report_dec2018.pdf.
- Allen, S., & Otero, N. (2023). Standardised indices to monitor energy droughts. *Renewable Energy*, 217, 119206.
- Amblar, P., Casado, M.J., Pastor, A., Ramos, P. & Rodríguez, E. (2017). Guía de escenarios regionalizados de Cambio Climático en España, a partir de los resultados del IPCC-AR5. *Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)*, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, NIPO: 014-17-010-8.
- Amengual, A. (2025). Characterization of extreme flash floods in Mediterranean Spain, *J. Hydrol.*, 659, 133229, ISSN 0022-1694.
- AMCESFI (2023). Informe bienal de riesgos del cambio climático para el Sistema financiero, 2023, Número 1. Autoridad Macroprudencial, Consejo de Estabilidad Financiera (AMCESFI). Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. Disponible en: https://dgsfp.mineco.gob.es/eu/Publicaciones/DocumentosPublicaciones/AMCESFI_Informe_Cambio_Climatico_2023.pdf
- Amponsah, W., Ayrál, P.-A., Boudevillain, B., Bouvier, C., Braud, I., Brunet, P., Delrieu, G., Didon-Lescot, J.-F., Gaume, E., Lebouc, L., Marchi, L., Marra, F., Morin, E., Nord, G., Payrastre, O., Zoccatelli, D. & Borga, M. (2018). Integrated high-resolution dataset of high-intensity European and Mediterranean flash floods. *Earth Syst. Sci. Data* 10, 1783–1794.
- Andrés-Doménech, I., Anta, J., Perales-Momparler, S. & Rodríguez-Hernandez, J. (2021). Sustainable urban drainage systems in Spain: A diagnosis. *Sustain.*, 13(5), 2791.
- Andreu, J.M. & Fernández, M. (2019). Las aguas subterráneas en España: hacia la sostenibilidad del recurso. Congreso Nacional del Agua 2019: innovación y sostenibilidad Temática: aguas superficiales y subterráneas 1229-1254.
- Aon (2024). Climate and Catastrophe Insight. Disponible en: <https://assets.aon.com/-/media/files/aon/reports/2024/climate-and-catastrophe-insights-report.pdf>



- Atarés, M. L. (2016). La red de alcantarillado exige inversión para renovarse. *Revista agua y medio ambiente, el Economista*, Nº 25.
- Balasch, J.C., Pino, D., Ruiz-Bellet, J.L., Tuset, J., Barriendos, M., Castelltort, X. & Peña, J.C. (2019). The extreme floods in the Ebro River basin since 1600 CE. *Sci. Tot. Environ.*, 646, pp. 645-660.
- Barriendos, M., Gil-Guirado, S., Pino, D., Tuset, J., Pérez-Morales, A., Alberola, A., Costa, J., Balasch, J.C., Castelltort, X., Mazón, J. & Ruiz-Bellet, J.L. (2019). Climatic and social factors behind the Spanish Mediterranean flood event chronologies from documentary sources (14th–20th centuries). *Glob. Planet. Change*, 182, 102997, ISSN 0921-8181.
- Bellvert, J., Pamies-Sans, M., Casadesus, J. & Girona, J. (2025). Evaluating the impact of drought and water restrictions on agricultural production in irrigated areas through crop water productivity functions and a remote sensing-based evapotranspiration model. *Agri. Water Manag.*, 309, 109319.
- Benítez-Cano, D., González-Marín, P., Gómez-Gutiérrez, A. *et al.* (2024). Association of drought conditions and heavy rainfalls with the quality of drinking water in Barcelona (2010–2022). *J Expo Sci Environ Epidemiol* 34, 175–183.
- Betts, R. B. & Brown, K. (2021). The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report. [Betts, R.A., Haward, A.B. and Pearson, K.V. (eds.)]. Prepared for the Climate Change Committee, London.
- Bisselink, B., Bernhard, J., Gelati, E., Adamovic, M., Guenther, S., Mentaschi, L. & De Roo, A., (2018). Impact of a changing climate, land use, and water usage on Europe's water resources: A model simulation study, EUR 29130 EN, *Publications Office of the European Union*, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-80287-4.
- BOE, Jefatura de estado (2023). Real Decreto-ley 4/2023, de 11 de mayo. Boletín Oficial del Estado, Núm. 113, Sec. I., pág. 65810, Madrid.
- Bolan, S., Padhye, L.P., T., Jasemizad, Govarthanan, M., Karmegam, N., Wijesekara, H., Amarasiri, D., Hou, D.P., Zhou, Biswal, B.K., Balasubramanian, R., Wang, H., Siddique, K.H.M., Rinklebe, J., Kirkham, M.B. & Bolan, N. (2024). Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events. *Sci. Tot. Environ.*, 909, 168388, ISSN 0048-9697.
- Bravo-Paredes, N., Gallego, M.C., Vaquero, J.M. & Trigo, R.M. (2021). The catastrophic floods in the Guadiana River basin since 1500 CE. *Sci. Total Environ.*, Volume 797, 149141, ISSN 0048-9697.
- Cabrera, E. (2007). El suministro de agua urbano en España. *Fundación Nueva Cultura del Agua*. Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas.
- Camargo, J.A., Alonso, A. & de la Puente, M. (2025). Eutrophication downstream from small reservoirs in mountain rivers of Central Spain, *Water Res.*, 39, 14, 3376-3384, ISSN 0043-1354,
- Camuffo, D., Bertolin, C., Diodato, N., Cocheo, C., Barriendos, M., Domínguez-Castro, F., Garnier, E., Alcoforado, M-J. & Nunes, M. (2013). Western Mediterranean precipitation over the last 300 years from instrumental observations. *Clim. Change*, 117: 85-101.
- Carvalho, D., Pereira, S. C., Silva, R. & Rocha, A. (2022). Aridity and desertification in the Mediterranean under EURO-CORDEX future climate change scenarios. *Clim. Change*, 174(3), 28.
- CCS (2024). Estadística. Riesgos Extraordinarios. Serie 1971-2023. Legal Deposit: M-23915-2016. Disponible en: <https://www.consorsegueros.es/la-entidad/publicaciones>; last access: 02 August 2025.



- CEDEX (2013). Catálogo y publicación de sequías históricas, informe técnico. Centro de Estudios Hidrográficos, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/agua/enlaces-de-interes/catalogo-y-publicacion-sequias-historicas_tcm30-436651.pdf.
- CEDEX (2017). Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. Disponible en: https://ceh.cedex.es/web/documentos/CAMREC/2017_07_424150001_Evaluaci%C3%B3n_cambio_clim%C3%A1tico_recu.pdf
- CEDEX, 2021. Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Vicepresidencia Cuarta del Gobierno. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en: https://ceh.cedex.es/web/Imp_CClimatico_Pmax.htm
- Contreras, E., Aguilar, C. & Polo, M.J. (2023). Accounting for the annual variability assessing non-point source pollution potential in Mediterranean regulated watersheds. *Sci. Total Environ.*, 902, 167261.
- Contreras, E., Jurado-Ezqueta, M., Pimentel, R., Serrano, L., Hidalgo, C., Jiménez, A., & Polo, M. J. (2024). Assessment of seasonal and annual patterns in phosphorus content in a monitored catchment through a partitioning approach based on hydrometeorological data. *Environ. Res.*, 242, 117501.
- Cos, J., Doblas-Reyes, F., Jury, M., Marcos, R., Bretonnière, P.A. & Samsó, M. (2022). The Mediterranean climate change hotspot in the CMIP5 and CMIP6 projections. *Earth Syst. Dynam.*, 13, 321–340.
- Cuthbert, M.O., Gleeson, T., Moosdorf, N., Befus, K.M., Schneider, A., Hartmann, J. & Lehner, B. (2019) Global patterns and dynamics of climate-groundwater interactions *Nat. Clim. Change*, 9, pp. 137-141.
- Damiano, E. & Mercogliano, P. (2013). Potential Effects of Climate Change on Slope Stability in Unsaturated Pyroclastic Soils, in: *Landslide Science and Practice*, edited by: Margottini, C., Canuti, P., and Sassa, K., Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 15–25.
- Dankers, R., Arnell, N. W., Clark, D. B., Falloon, P. D., Fekete, B. M., Gosling, S. N., Heinke, J., Kim, H., Masaki, Y., Satoh, Y., Stacke, T., Wada, Y. & Wisser, D. (2014). First look at changes in flood hazard in the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project ensemble. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3257–3261.
- De Felipe, M. Aragonés, D. & Díaz-Paniagua, C. (2023). Thirty-four years of Landsat monitoring reveal long-term effects of groundwater abstraction on a World Heritage Site wetland. *Sci. Total Environ.* 880, 163329.
- De Girolamo, A.M., Barca, E., Leone, M. & Lo Porto, A. (2022). Impact of long-term climate change on flow regime in a Mediterranean basin. *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 41 (101061).
- De la Vara, A., Cabos, W., Gutiérrez, C., Olcina, J., Matamoros, A., Pastor, F., Khodayar, S. & Ferrando, M. (2024). Climate change impacts on the tourism sector of the Spanish Mediterranean coast: Medium-term projections for a climate services tool. *Clim. Serv.*, 34, 100466, ISSN 2405-8807.
- De Luis, M., Brunetti, M., Gonzalez-Hidalgo, J.C., Longares, L.A. & Martin-Vide, J. (2010). Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946–2005. *Glob. Planet. Change*, 47(1), 27–33.
- Del Jesus, M., & Díez-Sierra, J. (2023). Climate change effects on sub-daily precipitation in Spain. *Hydrol. Sci. J.*, 68(8), 1065–1077.



- Devitt, L., Neal, J., Coxon, G. Gemma Coxon, Savage, J. & Wagener, T. (2023). Flood hazard potential reveals global floodplain settlement patterns. *Nat. Commun.* 14, 2801.
- Dobel, A. J., May, L., Gunn, I., Spears, B. & Edwards, F. (2020a). Lakes and reservoirs: Report card 2020. *Wallingford, About Drought*, 15pp.
- Dobel, A. J., O'Hare, M., Gunn, I. & Edwards, F. (2020b). Streams and rivers: Report card 2020. *Wallingford, About Drought*, 16pp.
- Dong, X., Jiang, L., Zeng, S., Guo, R., & Zeng, Y. (2020). Vulnerability of urban water infrastructures to climate change at city level. *Resour., Conserv. Recycl.*, 161, 104918.
- Dorado-Guerra, D.Y., Paredes-Arquiola, J., Pérez-Martín, M.A., Corzo-Pérez, G. & Ríos-Rojas, L. (2023). Effect of climate change on the water quality of Mediterranean rivers and alternatives to improve its status, *J. Environ. Manage.*, 348, 119069, ISSN 0301-4797,
- Dottori, F., Mentaschi, L., Bianchi, A., Alfieri, L., Feyen, L. (2020). Adapting to rising river flood risk in the EU under climate change. *JRC Publications Repository*. Disponible en: <https://doi.org/10.2760/14505>
- Douville, H., Raghavan, K., Renwick, J., Allan, R.P., Arias, P.A., Barlow, M., Cerezo-Mota, R., Cherchi, A., Gan, T.Y., Gergis, J., Jiang, D., Khan, A., Pokam Mba, W., Rosenfeld, D., Tierney, J. & Zolina, O. (2021): Water Cycle Changes. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. & Zhou, B. (eds.)]. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1055–1210.
- Downing, J. A., Prairie, Y. T., Cole, J. J., Duarte, C. M., Tranvik, L. J., Striegl, R. G., McDowell, W. H., Kortelainen, P., Caraco, N. F., Melack, J. M. & Middelburg, J. J. (2006). The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnol. Oceanogr.*, 51(5), 2006, 2388–2397.
- Du, X., Jian, J., Du, C. & Stewart, R.D. (2022). Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 10(2), 188-196.
- Duffin, J., Yager, E.M., Buffington, J.M., Benjankar, R., Borden, C., Tonina, D. (2023). Impact of flow regulation on stream morphology and habitat quality distribution, *Science of The Total Environment*, 878, 163016, ISSN 0048-9697.
- Dulsat-Masvidal, M., Ciudad, C., Infante, O., Mateo, R. & Lacorte, S. (2023). Water pollution threats in important bird and biodiversity areas from Spain. *J. Hazard. Mat.*, 448, 130938.
- EC (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L327/1,22.12.2000.
- EC (2007). Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L288/27,6.11.2007.
- EC (2025). Commission Staff Working Document SWD (2025) 24 final. Third River Basin Management Plans, Second Flood Hazard and Risk Maps and Second Flood Risk Management Plans, Member State: Spain. Accompanying the document Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) and the Floods Directive (2007/60/EC) Third River Basin Management Plans Second Flood Risk Management Plans.



- EEA (2021), European Environment Agency. Ecological status of surface waters in Europe. EEA Analysis and data, Indicators, Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/ecological-status-of-surface-waters?activeAccordion=ecdb3bcf-bbe9-4978-b5cf-0b136399d9f8>.
- EEA (2024), European Environment Agency. Cooling Degree Days. EEA Analysis and data, Maps and charts, Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/cooling-degree-days>
- EFE, 2024. España tiene 25.000 kilómetros de zonas inundables, especialmente en cuencas Ebro y Júcar. EFE Noticias. Disponible en: <https://efe.com/medio-ambiente/2024-03-01/zonas-inundables-viviendas-indemnizaciones-rios/>
- Ehsani, N., Vörösmarty, C. J., Fekete, B. M. & Stakhiv, E. Z. (2017). Reservoir operations under climate change: Storage capacity options to mitigate risk. *J. Hydrol.*, 555, 435–446.
- Eklund, G., Sibilia, A., Salbi, S., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z. & Corbane, C. (2023). Towards a European wide vulnerability framework: a flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators. *Publications Office*, LU.
- ERHIN (2008). Datos sobre la nieve y los glaciares en las cordilleras españolas. El programa Erhin (1984-2008), Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Libro%20ERHIN_tcm30-215000.pdf
- ERHIN (2011). Los glaciares del Pirineo español, MAGRAMA, Madrid. Disponible en: <https://sig.mapama.gob.es/Docs/PDFServicios/GlaciaresERHIN.pdf>
- Espinosa-Tasón, J., Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C & Musolino, D.A. (2022). Socioeconomic impact of 2005–2008 drought in Andalusian agriculture. *Sci. Total Environ.* 826, 154148.
- ESPON (2011). Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies. Disponible en: <https://archive.espon.eu/sites/default/files/attachments/Final%20Report%20Executive%20Summary.pdf>
- ESPON (2021). Proyecto Impactos territoriales de los desastres naturales, ESPON-TITAN. Disponible en: <https://archive.espon.eu/natural-disasters>
- Estrela, T. & Vargas, E. (2012). Drought Management Plans in the European Union. The Case of Spain. *Water Resour. Manag.* 26, 1537–1553.
- Estrela-Segrelles, C., Gómez-Martínez, G. & Pérez-Martín, M.Á (2023). Climate Change Risks on Mediterranean River Ecosystems and Adaptation Measures (Spain). *Water Resour. Manag.* 37, 2757–2770.
- Faranda, D. (2020). An attempt to explain recent changes in European snowfall extremes. *Weather Clim. Dynam.*, 1, 445–458.
- Fazelpoor, K., Martínez-Fernández, V. & de Jalón, D. G. (2021). Exploring the hydromorphological response to human pressure in Tagus River (1946–2014) by complementary diagnosis. *Catena*, 198, 105052.
- Ferguson, G. & Gleeson, T. (2012). Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change. *Nat. Clim. Change* 2, 342–345.
- Florido-Benítez, L. (2024). The priority of water consumption in the Spanish tourism industry: a dilemma for residents and researchers. *Appl. Sci.*, 14(16), 7125.



- Fluixá-Sanmartín, J., Altarejos-García, L., Morales-Torres, A. & Escuder-Bueno, I. (2018). Review article: Climate change impacts on dam safety. *Nat. Hazard. Earth Syst. Sci.*, 18, 2471–2488.
- Forzieri, G., Feyen, L., Russo, S., Voutsdoukas, M., Alfieri, L., Outten, S., Migliavacca, M., Bianchi, A., Rojas, R. & Cid, A. (2016). Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Clim. Change*, 137, 105–119.
- Gaitán, E., Monjo, R., Pórtolles, J. & Pino-Otín, M.R. (2020). Impact of climate change on drought in Aragon (NE Spain). *Sci. Total Environ.*, 740 (140094).
- García-Valdecasas, M., Romero-Jiménez, E., Rosa-Cánovas, J.J., Yeste, P., Castro-Díez, Y., Esteban-Parra, M.J., Vicente-Serrano, S.M. & Gámiz-Fortis, S.R. (2021). Assessing Future Drought Conditions over the Iberian Peninsula: The Impact of Using Different Periods to Compute the SPEI. *Atmosp.* 12(8), 980.
- García-Vega, A., Sanz-Ronda, F.J., Fernandes Celestino, L., Makrakis, S. & Leunda, P.M. (2018). Potamodromous brown trout movements in the North of the Iberian Peninsula: Modelling past, present and future based on continuous fishway monitoring. *Sci. Tot. Environ.*, 640–641, 1521–1536, ISSN 0048-9697,
- Geng, S.M., Yan, D.H., Zhang, T.X., Weng, B.S., Zhang, Z.B & Qin, T.L. (2015). Effects of drought stress on agriculture soil. *Nat. Hazards*, 75, 1997–2011.
- Gil-Guirado, S., Pérez-Morales, A., Pino, D., Peña, J.C. & López Martínez, F. (2022). Flood impact on the Spanish Mediterranean coast since 1960 based on the prevailing synoptic patterns. *Sci. Total Environ.*, Volume 807, Part 1, 150777, ISSN 0048-9697.
- Gómez, C.M. & Maestu, J. (2023). Water Resilience for Economic Resilience in Spain: A Critical Crossroads. *Alliance for Global Water Adaptation*, published on March 22, 2023.
- González-Rodríguez, L., McCallum, A., Kent, D., Rathnayaka, C. & Fairweather, H. (2023). A review of sedimentation rates in freshwater reservoirs: recent changes and causative factors. *Aquat. Sci.*, 85(2), 60.
- 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, *Clim. Serv.*, Volume 28, 100325, ISSN 2405-8807,
- Green A.J., Guardiola-Albert, C., Bravo-Utrera, M.A., Bustamante, J., Camacho, A., Camacho, C., Contreras-Arribas, E., Espinar, J.L., Gil-Gil, T, Gomez-Mestre, I., Heredia-Díaz, J., Kohfahl, C., Negro, J.J., Olías, M., Revilla, E., Rodríguez-González, P.M., Rodríguez-Rodríguez, M., Ruíz-Bermudo, F., Santamaría, L., Schmidt, G., Serrano-Reina, J.A. & Díaz-Delgado, R. (2024). Groundwater Abstraction has Caused Extensive Ecological Damage to the Doñana World Heritage Site, Spain, *Wetlands*.
- Hansen, B.B., Isaksen, K., Benestad, R.E., Kohler, J., Pedersen, Å. Ø., Loe, L.E., Coulson, S.J., Larsen, J.O. & Varpe, Ø. (2014). Warmer and wetter winters: characteristics and implications of an extreme weather event in the High Arctic. *Environ. Res. Lett.* 9 114021.
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J. & Bryan, B.A. (2021a). Futures global urban water scarcity and potential solutions. *Nat. Commun.*, 12, 4667.
- He, X., Bryant, B.P., Moran, T., Mach, K.J., Wei Z. & Freyberg, D. L. (2021b). Climate-informed hydrologic modeling and policy typology to guide managed aquifer recharge. *Sci Adv.* 2021 Apr 21;7(17):eabe6025.
- Herrero, R. (2016). Renovación y mantenimiento de infraestructuras hidráulicas en medio urbano. Redacción iagua. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/raul-herrero/renovacion-y-mantenimiento-infraestructuras-hidraulicas-medio-urbano>



- Herrero, J. & Polo, M.J. (2016). Evaporesublimation from the snow in the Mediterranean mountains of Sierra Nevada (Spain), *The Cryosphere*, 10, 2981–2998.
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H. & Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Clim Change* 3, 816–821.
- Hispagua, Sistema Español de Información sobre el Agua (2021). *Industria*. Gobierno de España. Disponible en: <https://hispagua.cedex.es/datos/industria>.
- Höllermann, B. & Heidenreich, A. (2025). Certainly uncertain: the role of uncertainty perception for flood risk preparedness and response. *Nat Hazards*(2025).
- Hooke, J.M. (2016). Geomorphological impacts of an extreme flood in SE Spain, *Geomorphology*, 263, 19–38, ISSN 0169-555X.
- Hu, H. & Hewitt, R.J. (2024). Future climate risks to world cultural heritage sites in Spain: A systematic analysis based on shared socioeconomic pathways. *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 113, 104855, ISSN 2212-4209.
- Hurtado, A.R., Díaz-Cano, E. & Berbel, J. (2024). The paradox of success: Water resource closure in Axarquía (southern Spain). *Sci. Total Environ.*, 946 (174318).
- iAgua (2025). El cambio climático podría costarle a España hasta un 3 % del PIB para 2040-2050, según un estudio. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/cambio-climatico-podria-costarle-espana-3-pib-2040-2050-segun-estudio>
- Ibáñez, C., & Caiola, N. (2013). Impacts of water scarcity and drought on Iberian aquatic ecosystems. In *Drought in arid and semi-arid regions: A multi-disciplinary and cross-country perspective* (pp. 169-184). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G. & Huisinigh, D. (2023). Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, vol 9, issue 8, e18507.
- International Commission on Large Dams—ICOLD (2016). *Global Climate Change, Dams, Reservoirs and Related Water Resources*; ICOLD Technical Committee: Chatou, France.
- Instituto de las Mujeres. Ministerio de Igualdad. (2021). *Riesgos climáticos desde la perspectiva de género. Percepción, posicionamiento y adaptación en mujeres y hombres*. Disponible en: <https://www.inmujeres.gob.es/areasTematicas/MedioAmbienteCambioClimatico/Docs/RiesgosClimaticosPerspectivaGenero.pdf>
- IPCC (2022): *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., Rama B. (eds.)]. *Cambridge University Press.*, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.
- IPCC (2023). Sections. In: *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.
- IUCN (2006). *The Status and Distribution of Freshwater Endemic to the Mediterranean Basin*. IUCN Freshwater Biodiversity Assessment Programme. *The World Conservation Union (IUCN)*, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/RL-2006-002.pdf>.



- Jenkins, K (2013). Indirect economic losses of drought under future projections of climate change: a case study for Spain. *Nat. Hazards* 69, 1967-1986.
- Jewson, S., Maynard, T. & Dottori, F. (2023). A service to help insurers understand the financial impacts of changing flood risk in Europe, based on PESETA IV, *Clim. Serv.*, 30, 100395, ISSN 2405-8807.
- Jiang, J., Wang, Z., Zhang, Z., Wu, X., Lai, Ch., Zeng, Z. & Chen, X., (2025) .Extreme drought-heatwave exacerbates water quality deterioration in China. *Ecol. Indic.*, 170, 113008, ISSN 1470-160X.
- Jodar-Abellan, A., Valdes-Abellan, J., Pla, C. & Gomariz-Castillo, F. (2019). Impact of land use changes on flash flood prediction using a sub-daily SWAT model in five Mediterranean ungauged watersheds (SE Spain), *Sci. Total Environ.*, 657, 1578-1591, ISSN 0048-9697.
- Kahil, M.T., Albiac, J., Dinar, A., Clavo, E., Esteban, E., Avella, L. & García-Molla, M. (2016). Improving the Performance of Water Policies: Evidence from Drought in Spain. *Water*, 8(2), 34.
- Knittel, N., Tesselaar, M., Wouter Botzen, W. J., Bachner, G. & Tiggeloven, T. (2023). Who bears the indirect costs of flood risk? An economy-wide assessment of different insurance systems in Europe under climate change. *Econ. Syst. Res.*, 36(1), 131-160.
- Kumar, A. & Thakur, A. (2024). Chapter 7 – Industrial water conservation by water footprint and sustainable development goals. *Curr. Dir. Water Scarc. Res.*, 8, 87-117.
- Lax-Martinez, G. (2024). Reservoirs of power: The political legacy of dam construction in Franco's Spain, *Explor. Econ. Hist.*, Volume 94, 101628, ISSN 0014-4983.
- Leduc, C., Pulido-Bosch, A. & Remini, B. (2017). Anthropization of groundwater resources in the Mediterranean region: processes and challenges. *Hydrogeol. J.*, 25, 1529-1547.
- Leone, M., Gentile, F., Lo Porto, A., Ricci, R.F., Schürz, C., Strauch, M., Volk, M. & De Girolamo, A.M (2024). Setting an environmental flow regime under climate change in a data-limited Mediterranean basin with temporary river, *J. Hydrol. Reg. Stud.*, Volume 52, 2024, 101698, ISSN 2214-5818.
- Lin, Y-I., Pan, S-Y., Chang, H-H., Yu, M-S. & Lin W-L. (2023). Will extreme drought impact the reservoir water quality? A 30-year observational study. *Agri. Water Manag.*, 289, 108574.
- Liu, S., Pérez-Sánchez, J., Jimeno-Sáez, P., Alcalá, F.J. & Senent-Aparicio, J. (2022). A novel approach to assessing the impacts of dam construction on hydrologic and ecosystem alterations. Case study: Castril river basin, Spain, *Ecohydrol. Hydrobiol.*, Vol. 22, Issue 4, 598-608.
- Liu, Z., Ying, J., He, C., Guan, D., Pan, X., Dai, Y., Gong, B., He, K., Lv, C., Wang, X., Lin, J. & Bryan, B.A (2024). Scarcity and quality risks for future global urban water supply. *Landsc. Ecol.*, 39, 10.
- Llamas, M. R. (1997). Consideraciones sobre la sequía de 1991 a 1995 en España. *Ingeniería Del Agua*, 4(1), 39-50.
- Llasat, M.C., Marcos, R., Turco, M., Gilabert, J. & Llasat-Botija, M. (2016). Trends in flash flood events versus convective precipitation in Mediterranean region: The case of Catalonia. *J. Hydrol.*, 541, Part A, 24-37.
- Llasat, M.C., del Moral, A., Cortès, M. & Rigo, T. (2021). Convective precipitation trends in the Spanish Mediterranean region, *Atmos. Res.*, Volume 257, 105581, ISSN 0169-8095.



- López-Ballesteros, A., Trolle, D., Srinivasan, R. & Senent-Aparicio, J. (2023). Assessing the effectiveness of potential best management practices for science-informed decision support at the watershed scale: The case of the Mar Menor coastal lagoon, Spain. *Sci. Tot. Environ.*, 859, 160144.
- López-Díaz, J.A. (2023). Un estudio estadístico de la frecuencia de la sequía y su tendencia en España. *Revista Tiempo y Clima*, 5(81), 40-43.
- López-Moreno, J.I. & García-Ruiz, J.M. (2004). Influence of snow accumulation and snowmelt on streamflow in the central Spanish Pyrenees. *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 49, N°5, p. 787-802.
- López-Moreno, J.I., Zabalza, J., Vicente-Serrano, S.M., Revuelto, J., Gilaberte, M., Azorin-Molina, C., Morán-Tejeda, E., García-Ruiz, J.M. & Tague, C. (2014). *Sci. Total Environ.*, 493, 1222-1231.
- López-Moreno, J.I., Gascoin, S., Herrero, J., Sproles, E.A., Pons, M., Alonso-González, E., Hanich, L., Boudhar, A., Musselman, K.N., Molotch, N.P., Sickman, J. & Pomeroy, J. (2017). Different sensitivities of snowpacks to warming in Mediterranean climate mountains areas, *Environ. Res. Lett.*, 12, 0704006.
- López-Ortiz, M. I. & Melgarejo Moreno, J. (eds.). (2020). Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes. Alacant: Universitat d'Alacant. ISBN 978-84-1302-091-4, 1329 p.
- Lorente, J.M. (1945). La gran sequía del año agrícola 1944-1945. Servicio Meteorológico Nacional. *Calendario meteorofenológico. 1946*, p. 79-83. ISSN : 0490-3463.
- Lorenzo, M. N., Pereira, H., Alvarez, I. & Dias, J. M. (2024). Standardized Precipitation Index (SPI) evolution over the Iberian Peninsula during the 21st century. *Atmos. Res.*, 297, 107132.
- Madruga, M. (2021). Compound and cascading drought impacts do not happen by chance: A proposal to quantify their relationships. *Sci. Tot. Environ.*, 778, 146236.
- MAPA. (2023). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Análisis de los regadíos en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones N.I.P.O.: 003-22-128-9.
- MAPAMA (2017a). Guía para la reducción de la vulnerabilidad de edificios frente a las inundaciones. *Convenio de Compensación de Seguros*, por Convenio de Consorcio de Compensación de Seguros, entidad pública empresarial del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad y la Dirección General del Agua del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- MAPAMA (2017b). Informe-resumen de situación de la sequía hidrológica. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Martínez-Dalmau, J., Gutiérrez-Martín, C., Kahil, T. & Berbel, J. (2023). Impacto f alternative water policies for drought adaptation in the Guadalquivir Mediterranean River basin, Southern Spain. *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 47 (101444).
- Mas-Coma, S., Artigas, P., Cuervo, P.F., De Elías-Escribano, A., Fantozzi, M.C., Colangeli, G., Córdoba, A., Marquez-Guzman, D.J., Mas-Bargues, C., Borrás, C., Pérez-Pérez, P., Bethencourt-Estrella, C.J., Rodríguez-Expósito, R.L., Peña-Prunell, M.P., Chao-Pellicer, J., García-Pérez, O., Domínguez de Barros, A.T., García-Ramos, A., Sirvent-Blanco, C., Gajeta-Arenas, M., Córdoba-Lanús, A.E., Piñero, J.E., Valero, M.A., Lorenzo-Morales, J. & Bargues, M.D. (2025). Infectious disease risk after the October 2024 flash flood in Valencia, Spain: Disaster evolution, strategic scenario analysis, and extrapolative baseline for a One Health assessment, *One Health*, 21, 101093, ISSN 2352-7714.



- Masroor, M., Sajjad, H., Rehman, S., Singh, R., Rahaman, M.H., Sahana, M., Ahmed, R. & Avtar, R. (2022). Analysing the relationship between drought and soil erosion using vegetation health index and RUSLE models in Gadavari middle sub-basin, India. *Geosci. Front.*, 13(2) (101312).
- Matte, D., Christensen, J.H. & Ozturk, T. (2022). Spatial extent of precipitation events: when big is getting bigger. *Clim. Dyn.*, 58, 1861–1875.
- Mediero, L., Santillán, D., Garrote, L. & Granados, A. (2014). Detection and attribution of trends in magnitude, frequency and timing of floods in Spain. *J. Hydrol.*, 517, 1072–1088.
- Megina, C., Donázar-Armedía, I., Miró, J.M., García-Lafuente, J. & García-Gómez, J.C. (2023). The hyperturbid mesotidal Guadalquivir estuary during an extreme turbidity event: Identifying potential management strategies, *Ocean Coastal Manage.*, 246, 106903, ISSN 0964-5691.
- Meira Cartea, P.A., Arto-Blanco, M. & Pardellas, M. (2021). La sociedad española ante el cambio climático. Percepción y comportamiento de la población. IDEARA investigación.
- Millares, A., & Moñino, A. (2018). Sediment yield and transport process assessment from reservoir monitoring in a semi-arid mountainous river. *Hydrol. Process.*, 32(19), 2990–3005.
- MIMAM, (2000). El Libro Blanco del Agua en España. Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría de Estado de Agua y Costas, Madrid. Texto final de septiembre de 2000. Dirección General de Obras Hidráulicas.
- MIMAM, (2001). Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. Publicada en el Boletín Oficial del Estado (BOE) el 24 de julio de 2001, número 176, BOE-A-2001-14276. <https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2001/07/20/1/con>
- Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. (2023). Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro. BOE-A-2023-628
- Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. (2008). Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. Publicada en el Boletín Oficial del Estado (BOE) el 22 de septiembre de 2008, número 229, páginas 38472 a 38582. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/o/2008/09/10/arm2656>.
- Ministerio de Sanidad (2023). Calidad del agua de consumo en España 2023. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Disponible en: https://www.sanidad.gob.es/areas/sanidadAmbiental/calidadAguas/aguasConsumoHumano/publicaciones/docs/2023_INFORME_ANUAL_AGUAS_DE_CONSUMO.pdf
- Miró, J.J., Estrela, M.J., Caselles, V. & Gómez, I. (2018). Cambios estacionales en la distribución de tormentas de verano en las cuencas hidrográficas del Júcar y Segura. [Montávez Gómez, Juan Pedro, et al. (eds.)]. *El clima: aire, agua, tierra y fuego*. Madrid: Asociación Española de Climatología; Agencia Estatal de Meteorología, 469–482.
- MITECO (2018a). Incorporación del cambio climático en la evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI) en el segundo ciclo de aplicación de la Directiva de Inundaciones (2007/60/ce). Metodología general. Revisión y actualización de la evaluación del riesgo de inundación (EPRI 2º ciclo). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- MITECO (2018b). Inundaciones y cambio climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid. 105 pp.



- MITECO (2019a). Guías de adaptación al riesgo de inundación: Explotaciones agrícolas y ganaderas. Ministerio para la Transición Ecológica. 116 pp.
- MITECO (2019b). Guías de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas urbanos de drenaje sostenible. Ministerio para la Transición Ecológica. 96 pp.
- MITECO (2019c). Recomendaciones para la construcción y rehabilitación de edificaciones en zonas inundables. Ministerio para la Transición Ecológica. 74 pp.
- MITECO (2020). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2021-2030. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- MITECO (2021a). Informe de seguimiento de Planes Hidrológicos y Recursos Hídricos en España. Año 2021.
- MITECO (2021b). Caracterización de la nieve en España y su incidencia en las inundaciones. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico Dirección General del Agua Secretaría de Estado de Medio Ambiente.
- MITECO (2021c). Resumen ejecutivo de la caracterización de la peligrosidad y riesgo por inundación fluvial en los PGRI de 2º ciclo en las cuencas intercomunitarias (2022-2027). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- MITECO (2023). Plan de acción de aguas subterráneas 2023-2030. Dirección General del Agua, Secretaría de Estado de Medio Ambiente, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- MITECO (2024). Informe CLIVAR SPAIN sobre el clima en España. Catálogo de publicaciones del Ministerio. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- MITERD (2018). Síntesis de los planes hidrológicos españoles. Segundo ciclo de la DMA (2015-2021). Ministerio para la Transición Ecológica (MITERD).
- MITERD (2022). Orientaciones Estratégicas sobre Agua y Cambio Climático. Dirección General del Agua. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD).
- Moncloa (2025). Información en tiempo real sobre víctimas y desaparecidos. Info DANA. Actualización de datos del Gobierno de España. Disponible en: <https://www.lamoncloa.gob.es/info-dana/Paginas/2025/250125-datos-seguimiento-actuaciones-gobierno.aspx>
- Molinié, G., Déqué, M., Coppola, E., Blanchet, J. & Neppel, L. (2016). Heavy precipitation in the Mediterranean basin. The Mediterranean region under climate change. Chapter 1., Subchapter 1.3.1. pp. 107-114.
- Motta, C., Naumann, G., Gomez, D., Formetta, G. & Feyen, L. (2025). Assessing the economic impact of droughts in Europe in a changing climate: A multi-sectoral analysis at regional scale. *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 59, 102296.
- Musie, W., Gonfa, G. (2023). Fresh water resource, scarcity, water salinity challenges and possible remedies: A review. *Heliyon*; 9(8):e18685.
- Nieto-López, J. M., Barberá, J. A., Andreo, B., Ramírez-González, J. M., & Rendón-Martos, M. (2020). Hydro-environmental changes assessment after Guadalhorce River mouth channelization. An example of hydromodification in southern Spain. *Catena*, 189, 104461.



- Noguera, I., Domínguez-Castro, F., Vicente-Serrano, S.M. & Reig, F. (2023). Near-real time flash drought monitoring system and dataset for Spain, *Data Brief*, Volume 47, 2023, 108908, ISSN 2352-3409.
- OECC (2020). PIMA Adapta. Conocimiento y acción frente a los riesgos derivados del cambio climático. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- OECC (2022). Cambio Climático: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Guía Resumida del Sexto Informe de Evaluación del IPCC. Grupo de Trabajo II. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid. Basado en materiales contenidos en el IPCC AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.
- Oliva, A. & Olcina, J. (2024). Floods and Structural Anthropogenic Barriers (Roads and Waterworks) Affecting the Natural Flow of Waters: Hydraulic Modelling and Proposals for the Final Section of the River Segura (Spain). *GeoHazards*, 5(4), 1220-1246.
- Ollero, A. (2010). Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain, *Geomorphology*, 117, 3-4, 247-260, ISSN 0169-555X.
- Orimoloye, I.R. (2022). Agricultural Drought and Its Potential Impacts: Enabling Decision-Support for Food Security in Vulnerable Regions. *Front. Sustain. Food Syst.* 6:838824.
- Paniagua, A. (2001). Agri-environmental policy in Spain. The agenda of socio-political developments at the national, regional and local levels, *J. Rural Stud.*, 17 (1), 81-97, ISSN 0743-0167,
- Parasiewicz, P., King, E.L., Webb, J.A., Piniewski, M., Comoglio, C., Wolter, C., Buijse, A. D., Bjerklie, D., Vezza, P., Melcher, A. & Suska, K. (2019). The role of floods and droughts on riverine ecosystems under a changing climate. *Fish. Manag. Ecol.*, 26. 10.1111/fme.12388.
- Paredes, I., Ramírez, F., Aragonés, D., Bravo, M.A., Forero, M.G. & Green A.J. (2021). Ongoing anthropogenic eutrophication of the catchment area threatens the Doñana World Heritage Site (South-west Spain). *Wetlands Ecol. Manage.* 29, 41-65.
- Pei, W., Su, Y., Fu, Q., Ren, Y. & Li, T. (2025). Study on the driving factors of spring agricultural drought in Northeast China from the perspective of atmosphere and snow cover, *Agri. Water Manag.*, 317, 109620, ISSN 0378-3774,
- Peña-Angulo, D., Vicente-Serrano, S.M., Domínguez-Castro, F., Murphy, C., Reig, F., Trambay, Y., Trigo, R.M., Luna, M.Y., Turco, M. & Noguera, I. (2020). Long-term precipitation in Southwestern Europe reveals no clear trend attributable to anthropogenic forcing. *Environ. Res. Lett.* 15, 094070.
- Pérez Cueva, A. (1983). La sequía de 1978-1982, ¿excepcionalidad o inadaptación? *Agricultura y Sociedad*, 27, pp. 225-245.
- Pérez-Frías, P. (2018). Lazos olvidados de solidaridad hispanoamericana: La ayuda a Málaga por la «riá» de 1907. *Transatlantic Studies Network: Revista de Estudios Internacionales*, Vol. 3, Nº 6.
- Pérez-Martín, M. Á. (2023). Understanding Nutrient Loads from Catchment and Eutrophication in a Salt Lagoon: The Mar Menor Case. *Water*, 15(20), 3569.
- Pérez-Palazón, M. J., Pimentel, R., Herrero, J., Aguilar, C., Perales, J. M. & Polo, M. J. (2015). Extreme values of snow-related variables in Mediterranean regions: trends and long-term forecasting in Sierra Nevada (Spain), *Proc. IAHS*, 369, 157-162.



- Pérez-Palazón, M.J.; Pimentel, R. & Polo, M.J. (2018). Climate Trends Impact on the Snowfall Regime in Mediterranean Mountain Areas: Future Scenario Assessment in Sierra Nevada (Spain). *Water*, 10, 720.
- Pérez-Pérez, L. & Barreiro-Harré, J. (2009). Assessing the socio-economic impacts of drought in the Ebro river basin. *Span. J. Agric. Res. (SJAR)*, 7(2), 269-280.
- Pérez, F., J. Maudos, F. J. Goerlich, E. Reig, P. Chorén, J.C. Robledo, C. Albert, H. García & G. Bravo (2025). Alcance económico de la Dana del 29 de octubre en la provincia de Valencia. València: Generalitat Valenciana: Ivie. Disponible en: https://www.ivie.es/es_ES/ptproyecto/ivielab-alcance-economico-de-la-dana-del-29-de-octubre-en-la-provincia-de-valencia/
- Pescaroli, G. & Alexander, D. (2016). Critical infrastructure, panarchies and the vulnerability paths of cascading disasters. *Nat. Hazards*, 82, 175-192.
- 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.
- Ploskey, G.R. (1982). Fluctuating water levels in reservoirs; an annotated bibliography on environmental effects and management for fisheries. In: *Technical Report E-82-5*. U. S. Fish and Wildlife Service and U.S. Department of the Interior, Fayetteville, Ark.
- Polo, M. J., Aguilar, C., Millares, A., Herrero, J., Gómez-Beas, R., Contreras, E. & Losada, M. A. (2014) Assessing risks for integrated water resource management: coping with uncertainty and the human factor, *Proc. IAHS*, 364, 285-291.
- Pulido-Velázquez, D., Collados-Lara, A.J. & Alcalá, F.J. (2018). Assessing impacts of future potential climate change scenarios on aquifer recharge in continental Spain. *J. Hydrol.*, 567, 803-819.
- PwC (2025). Las amenazas físicas del cambio climático y su impacto social en España. Visibilizando los efectos en el bienestar y la calidad de vida. Fundación PwC, Cruz Roja, Fundación Naturgy. Disponible en: <https://www.pwc.es/es/fundacion/assets/informe-cambio-climatico-espana.pdf>
- Ranasinghe, R., Ruane, A.C., Vautard, R., Arnell, N., Coppola, E., Cruz, F.A., Dessai, S., Islam, A.S., Rahimi, M., Ruiz Carrascal, D., Sillmann, J., Sylla, M.B., Tebaldi, C., Wang, W. & Zaaboul, R. (2021). Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1767-1926.
- Reisinger, A., Howden, M., Vera, C., Garschagen, M., Hurlbert, M., Kreibiehl, S., Mach, K.J., Mintenbeck, K., O'Neill, B., Pathak, M., Pedace, R., Pörtner, H.-O., Poloczanska, E., Rojas Corradi, M., Sillmann, J., Aalst, M. van, Viner, D., Jones, R., Ruane, A.C. & Ranasinghe, R. (2020). The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, Switzerland.
- Rigotti, J.A., Carvalho, J.M., Soares, L.M.V., Barbosa, C.C., Pereira, A.R., Duarte, B.P.S., Mannich, M., Koide, S., Bleninger, T., Martins, J.R.S. (2023). Effects of Hydrological Drought Periods on Thermal Stability of Brazilian Reservoirs. *Water*, 15, 2877.



- Rodríguez, J.V. (2023). El Colegio de Economistas apremia a adaptar los cultivos de Málaga los recursos hídricos disponibles. *La Opinión de Málaga*. Disponible en <https://www.laopiniondemalaga.es/malaga/2023/10/04/colegio-economistas-apremian-adaptar-cultivos-malaga-recursos-hidricos-92905965.html>
- Rojas, R., Feyen, L., Bianchi, A. & Dosio, A. (2012). Assessment of future flood hazard in Europe using a large ensemble of bias-corrected regional climate simulations. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 117 (D17).
- Roudier, P., Andersson, J.C.M., Donnelly, C., Feyen, L., Greuell, W. & Ludwig, F. (2016). Projections of future floods and hydrological droughts in Europe under a +2°C global warming. *Clim. Change* 135, 341–355.
- Rouhani, A., Ben-Salem, N., D'Oria, M., Chávez García Silva, R., Viglione, A., Coptý, N.K., Rode, M., Barry, D.A., Gómez-Hernández, J.J. & Jomaa, S. (2025). Direct impact of climate change on groundwater levels in the Iberian Peninsula, *Sci. Total Environ.*, 970, 179009, ISSN 0048-9697.
- Ruane, A. C., Vautard, R., Ranasinghe, R., Sillmann, J., Coppola, E., Arnell, N., Cruz, F.A., Dessai, S., Iles, C.E., Islam, A.K.M.S., Jones, R.G., Rahimi, M., Ruiz, D., Seneviratne, S.I., Servonnat, J., Sörensson, A.A., Sylla, M.B., Tebaldi, C., Wang, W. & Zaaboul, R. (2022). The climatic impact–driver framework for assessment of risk–relevant climate information. *Earth's Future*, 10(11), 002803.
- Rubio-Martin, A., Llario, F., Garcia-Prats, A., Macian-Sorribes, H., Macian, J. & Pulido-Velazquez, M. (2023). Climate services for water utilities: Lessons learnt from the case of the urban water supply to Valencia, Spain. *Clim. Serv.*, 29, 100338.
- Sánchez-Almodóvar, E., Olcina-Cantos, J. & Martí-Talavera, J. (2022). Adaptation Strategies for Flooding Risk from Rainfall Events in Southeast Spain: Case Studies from the Bajo Segura, Alicante. *Water*, 14, 146.
- Sánchez-García, C. & Schulte, L. (2023). Historical floods in the southeastern Iberian Peninsula since the 16th century: Trends and regional analysis of extreme flood events, *Glob. Planet. Change*, Volume 231, 104317, ISSN 0921-8181.
- Sánchez, C.A., Prieto del Campo, F. & Estévez, R. (2023). Smart water management in Europe: lessons from Spain – Frugality, adaptation, mitigation and resilience. *IDDRI publications*, blog post December 18th, 2023.
- Sanz, M.J. & Galán, E. (editoras) (2020). Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- Senent-Aparicio, J., López-Ballesteros, A., Jimeno-Sáez, P. & Pérez-Sánchez, J. (2023). Recent precipitation trends in Peninsular Spain and implications for water infrastructure design, *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 45, 101308, ISSN 2214-5818.
- Serrano, A. Cazcarro, I., Martín-Retortillo, M., Rodríguez-López, G. (2024). Europe's orchard: The role of irrigation on the Spanish agricultural production, *J. Rural Stud.*, Volume 110, 103376, ISSN 0743-0167.
- Serrano-Notivol, R., Beguería, S., Saz, M. A., Longares, L.A. & de Luis, M. (2017). SPREAD: a high-resolution daily gridded precipitation dataset for Spain – an extreme events frequency and intensity overview. *Earth Syst. Sci. Data* 9, 721–738.
- Scheidt, K.T., Pimentel, R., Premier, V., Marin, C., Polo, M.J. & Notarnicola, C. (2024). Improving the estimation of evaporesublimation from seasonal snow in the Mediterranean mountains of Sierra Nevada (Spain). *SnowHydro 2024*, Grenoble 30/01/2024–02/02/2024.



- Schwalm, C., Anderegg, W., Michalak, A., Fisher, J.B., Biondi, F., Koch, G., Litvak, M., Ogle, K., Shaw, J.D., Wolf, A., Huntzinger, D.N., Schaefer, K., Cook, R., Wei, Y., Fang, Y., Hayes, D., Huang, M., Jain, A. & Tian, H. (2017). Global patterns of drought recovery. *Nature*, 548, 202–205.
- Shrestha, B.B., Perera, E.D.P., Kudo, S., Miyamoto, M., Yamazaki, Y., Kuribayashi, D., Sawano, H., Samaya, T., Magome, J., Hasegawa, A., Ushiyama, T., Iwami, Y & Tokunaga, Y. (2019). Assessing flood disaster impacts in agriculture under climate change in the river basins of Southeast Asia. *Nat Hazards* 97, 157–192.
- Sinharoy, A., Kim, S. H., & Chung, C. M. (2025). Effect of variation in temperature on malodor generation from different units of a wastewater treatment plant. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 32(13), 8035–8052.
- Scott, D., Hall, C.M., Rushton, B. & Gössling, S. (2023). A review of the IPCC Sixth Assessment and implications for tourism development and sectorial climate action. *J. Sustain. Tour.*, 32(9), 1725–1742.
- Schmidt, G., Martínez, J., Hernández-Mora, N., De Stefano, L., García Bautista, A. & Sánchez, L. (2022). La protección de las fuentes del abastecimiento doméstico del agua en España. Retos y propuestas a partir de casos de estudio de pequeñas poblaciones. *Fundación Nueva Cultura del Agua*.
- Si, F., T, Huang, Li, N., Li, K., Wen, G., Li, Y. & Zhang, H. (2022). Effects of flood discharge on the water quality of a drinking water reservoir in China – Characteristics and management strategies, *J. Environ. Manage.*, 314, 2022, 115072, ISSN 0301-4797.
- Soares, P.M.M., Careto, J.A.M., Russo, A. Lima, D. C.A. (2023). The future of Iberian droughts: a deeper analysis based on multi-scenario and a multi-model ensemble approach. *Nat. Hazards* 117, 2001–2028.
- Solaun, K. & Cerdá, E. (2019). Climate change impacts on renewable energy generation. A review of quantitative projections, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 116, 109415, ISSN 1364-0321.
- Soto-Navarro, J., Jordá, G., Amores, A. *et al.* (2020). Evolution of Mediterranean Sea water properties under climate change scenarios in the Med-CORDEX ensemble. *Clim. Dyn.*, 54, 2135–2165.
- Stahl, K. & Demuth, S. (1999). Linking streamflow drought to the occurrence of atmospheric circulation patterns. *Hydrol. Sci. J.*, 44, 467–482.
- Stamou, A. I., Mitsopoulos, G., Sfetsos, A., Stamou, A. T., Sideris, S., Varotsos, K. V., Giannakopoulos, C., & Koutroulis, A. (2025). Vulnerability Assessment of Dams and Reservoirs to Climate Change in the Mediterranean Region: The Case of the Almopeos Dam in Northern Greece. *Water*, 17(9), 1289.
- Stanchi, S., Zecca, O., Hudek, C., Pintaldi, E., Viglietti, D., D'Amico, M.E., Colombo, N., Goslino, D., Letey, M. & Freppaz, M. (2021). Effect of Soil Management on Erosion in Mountain Vineyards (N-W Italy). *Sustain.*, 13(4), 1991.
- Thober, S., Kumar, R., Wanders, N., Marx, A., Pan, M., Rakovec, O., Samaniego, L., Sheffield, J., Wood, E.F. & Zink, M. (2018). Multi-model ensemble projections of European river floods and high flows at 1.5, 2, and 3 degrees global warming. *Environ. Res. Letters*, 13(1), 014003.
- Torrelló-Sentelles, H. & Franzke, C.L.E. (2022). Drought impact links to meteorological drought indicators and predictability in Spain. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 26, 1821–1844.
- Tramblay Y., Mimeau L., Neppel L., Vinet F. & Sauquet E. (2019). Detection and attribution of flood trends in Mediterranean basins. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 23, 4419–4431.
- Tramblay, Y., Koutroulis, A., Samaniego, L., Vicente-Serrano, S. M., Volaire, F., Boone, A., ... & Polcher, J. (2020). Challenges for drought assessment in the Mediterranean region under future climate scenarios. *Earth-Sci. Rev.*, 210, 103348.



- Tristán, R.M. (2024). El IGME alerta del preocupante estado del 44 % de los acuíferos en España. *IGME CSIC Comunicación*, Fecha de publicación, 5 Junio, 2024, Disponible en: <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/el-igme-alerta-del-preocupante-estado-del-44-de-los-acuiferos-de-espana>.
- UNDRR (2022). Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context of Climate Change. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Disponible en: <https://www.undrr.org/publication/technical-guidance-comprehensive-risk-assessment-and-planning-context-climate-change>
- Valdes-Abellan, J., Pardo, M.A., Tenza-Abril, A.J. (2017). Observed precipitation trend changes in the western Mediterranean region. *Int. J. Climatol.*, 37, 1285-1296.
- Valdes-Abellan, J., Pardo, M.A., Jodar-Abellan, A., Pla, C. & Fernandez-Mejuto, M. (2020). Climate change impact on karstic aquifer hydrodynamics in southern Europe semi-arid region using the KAGIS model. *Sci. Total Environ.*, 723, 138110.
- Valle-García, A., Montilla-López, N.M., Parrado, R., Berbel, J., Martínez-Dalmau, J., Kahil, T. & Gutiérrez-Martín, C. (2025). Integrated assessment of resilience to drought by coupling hydro-economic and macroeconomic models, *J. Hydrol.*, 661, Part A, 133549, ISSN 0022-1694.
- Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *WIREs Water*, 2: 359-392.
- Vargas-Amelin, E. & Pindado, P. (2014). The challenge of climate change in Spain: Water resources, agriculture and land. *J. Hydrol.*, 518, Part B, 243-249,
- Vargas, J. & Paneque, P. (2019). Challenges for the Integration of Water Resources and Drought-Risk Management in Spain. *Sustain.*, 11(2), 308.
- Vicente-Serrano, S.M., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., Revuelto, J., López-Moreno, J.I. & Espejo, F. (2014). Temporal evolution of surface humidity in Spain: recent trends and possible physical mechanisms. *Clim. Dyn.*, 42, 2655-2674.
- Vicente-Serrano, S.M., Zabalza-Martínez, J., Borràs, G., López-Moreno, J.I., Pla, E., Pascual, D., Savé, R., Biel, C., Funes, I., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Martín-Hernández, N., Peña-Gallardo, M., Alonso-González, E., Tomas-Burguera, M. & El Kenawy, A. (2017). Extreme hydrological events and the influence of reservoirs in a highly regulated river basin of northeastern Spain, *J. Hydrol. Reg.*, 12, Pages 13-32, ISSN 2214-5818.
- Vicente-Serrano, S.M., Peña-Angulo, D., Murphy, C., López-Moreno, J.I., Tomas-Burguera, M., Domínguez-Castro, F., Tian, F., Eklundh, L., Cai, Z., Alvarez-Farizo, B., Noguera, I., Camarero, J.J., Sánchez-Salguero, R., Gazol, A., Grainger, S., Conradt, T., Boincean, B. & El Kenawy, A. (2021). The complex Multi-sectoral impacts of drought: Evidence from a mountainous basin in the Central Spanish Pyrenees. *Sci. Total Environ.*, 769 (144702).
- Vicente-Serrano, S.M., Domínguez-Castro, F., Reig, F., Beguería, S., Tomas-Burguera, M., Latorre, B., Peña-Angulo, Noguera, I., Rabanaque, I., Luna, Y., Morata, A. & El Kenawy, A. (2022). A near real-time drought monitoring system for Spain using automatic weather station network. *Atmos. Res.*, 271 (106095).
- Vila-Traver, J., Aguilera, E., Infante-Amate, J. & González de Molina, M. (2021). Climate change and industrialization as a main drivers of Spanish agriculture water stress. *Sci. Total Environ.*, 760, 143399.
- Villegas, P., Cardenete, M.A. & Beltran, L.D. (2024). Economic Impact of the Drought in Spain: Measurement for the Adoption of Measures. *Water Econ. Policy*, 10, Issue 3, p1.



- Wang, M., Boudirsky, B.L., Rijnveld, R., Beier, F., Bak, M.P., Batool, M., Droppers, B., Popp, A., van Vliet, M.T.H. & Stokol, M. (2024). A triple increase in global river basins with water scarcity due to future pollution. *Nat Commun*, 15, 880.
- Ward, P. J., Jongman, B., Aerts, J. C. J. H., Bates, P.D., Botzen, W.J.W., Diaz, A., Hallegatte, S., Kind, J.M., Scussolini, P. & Winsemius, H.C. (2017). A global framework for future costs and benefits of river-flood protection in urban areas. *Nat. Clim. Change* 7: 642–46.
- Weerasooriya, R.R., Liyanage, L.P.K., Rathnappriya, R.H.K., Bandara, W.B.M.A., Perera, T.A.N.T., Gunarathna, J.P. & Jayasinghe, G.Y. (2021). Industrial water conservation by water footprint and sustainable development goals: a review. *Environ. Dev. Sustain.* 23, 12661–12709.
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water Int.*, 10(3), 111–120.
- Woolway, R. I., Sharma, S. & Smol, J.P. (2022). Lakes in hot water: the impacts of a changing climate on aquatic ecosystems. *Bioscience* 72.11, 1050–1061.
- WWA (2024). Extreme downpours increasing in southeastern Spain as fossil fuel emissions heat the climate. [Online]. Disponible en: <https://www.worldweatherattribution.org/extreme-downpours-increasing-in-southern-spain-as-fossil-fuel-emissions-heat-the-climate/> [Accedido el 11 diciembre 2024]
- WWF (2023). High cost of cheap water: The true value of water and freshwater ecosystems to people and planet. *World Wide Fund for Nature*, Gland, Switzerland. Disponible en: <https://www.wwf.org>.
- Zarza, L.F. (2024). Las fugas en las redes de agua en España: una crisis invisible. *Redacción iagua*, Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/fugas-redes-agua-espana-crisis-invisible>.
- Zittis, G., Bruggeman, A. & Lelieveld, J. (2021). Re visiting future extreme precipitation trends in the Mediterranean. *Weather Clim. Extrem.*, 34, 100380.