

ESTUDIO SOBRE LA MEJORA DE LA EFICIENCIA EN EL SERVICIO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA Y EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES Y SU IMPACTO EN EL BIENESTAR DE LAS PERSONAS Y LA PRODUCTIVIDAD DE LAS EMPRESAS

Lledó Castellet Viciano
Agueda Bellver Domingo
Francesc Hernández Sancho



Càtedra de
Transformació del
Model Econòmic
Economia Circular
en el Sector de l'Aigua



INDICE

INDICE	1
Figuras	1
Tablas	2
1. Introducción	3
2. Desafíos hídricos en la Comunidad Valenciana	7
3. Las infraestructuras hídricas: un servicio esencial para la población	12
4. Análisis de las posibilidades para la optimización de los servicios de abastecimiento y depuración para fomentar el crecimiento económico de los territorios vulnerables.....	15
Estrategias adaptativas frente a las nuevas condiciones climáticas	18
5. Importancia de la escala local en la planificación y gestión sostenible de los recursos hídricos	24
6. Conclusiones	28
7. Referencias.....	30

Figuras

Figura 1. Ventana de oportunidad post-desastre.....	4
Figura 2. Elementos que definen el riesgo de un desastre.	5
Figura 2. Ventana de oportunidad post-desastre.....	6
Figura 4. Anomalías anuales de la temperatura media cercana a la superficie a nivel global (arriba) y europeo (abajo), en comparación con el periodo preindustrial (1850-1900). Fuente: European Environment Agency.	8
Figura 5. Anomalías anuales de la temperatura media en España. Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).....	9
Figura 6. Evolución del volumen de agua embalsada en España: Fuente: Ministerio para la Transición ecológica y Reto Demográfico (MITECO).	11
Figura 7. Reservas hídricas en España en octubre de 2024 y marzo de 2025. Fuente: Ministerio para la Transición ecológica y Reto Demográfico (MITECO).	12

Figura 8. Dirección de las estrategias de adaptación a las nuevas condiciones climáticas. Fuente: IPCC, 2012.....	17
Figura 9. Implementación de la digitalización en el ciclo urbano del agua. Fuente: Hernández-Chover et al., 2022.....	22
Figura 10. Actores y acciones de las estrategias para la adaptación a las nuevas condiciones climáticas. Fuente: IPCC (2012).....	27

Tablas

Tabla 1. Modelos de gestión para la adaptación a las nuevas condiciones climáticas. 25

1. Introducción

Durante los últimos años se ha intensificado la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos provocando importantes pérdidas materiales y humanas, y alterando de forma significativa el funcionamiento de la comunidad y el territorio. Estos eventos ponen de manifiesto las vulnerabilidades existentes en los sistemas sociales, económicos y ambientales, y evidencian la necesidad de revisar y fortalecer los mecanismos de prevención, respuesta y recuperación ante estos fenómenos.

Generalmente, cuando estos acontecimientos tienen lugar nos referimos a ellos como desastres naturales. Sin embargo, es importante matizar que un desastre no corresponde al evento físico en sí (como huracán, una inundación o una Depresión Aislada en Niveles Altos - DANA), sino a las consecuencias que dicho evento genera sobre una comunidad o sociedad. De manera formal, un desastre se define como una alteración severa del funcionamiento normal de una comunidad o sistema social, resultante de la interacción entre un fenómeno físico potencialmente peligroso y condiciones de vulnerabilidad preexistentes, que derivan en impactos adversos.

Por este motivo, con el propósito de evitar la asociación directa de un fenómeno meteorológico con un impacto negativo, la Agencia Estatal de Meteorología suele asignar nombres propios a determinados eventos meteorológicos, como ha ocurrido recientemente con las DANAs, ya que las consecuencias destructivas no dependen únicamente del fenómeno meteorológico en sí, sino de la exposición y la capacidad de respuesta de las poblaciones afectadas. Así pues, un evento físico o meteorológico solo se convierte en desastre cuando una comunidad carece de los medios necesarios para resistir, absorber y recuperarse de su impacto, es decir, cuando existe un elevado nivel de vulnerabilidad y exposición de la sociedad. Por lo tanto, ante los fenómenos meteorológicos extremos podemos hablar de riesgo de desastre, que no es el desastre en sí sino la probabilidad de que éste ocurra.

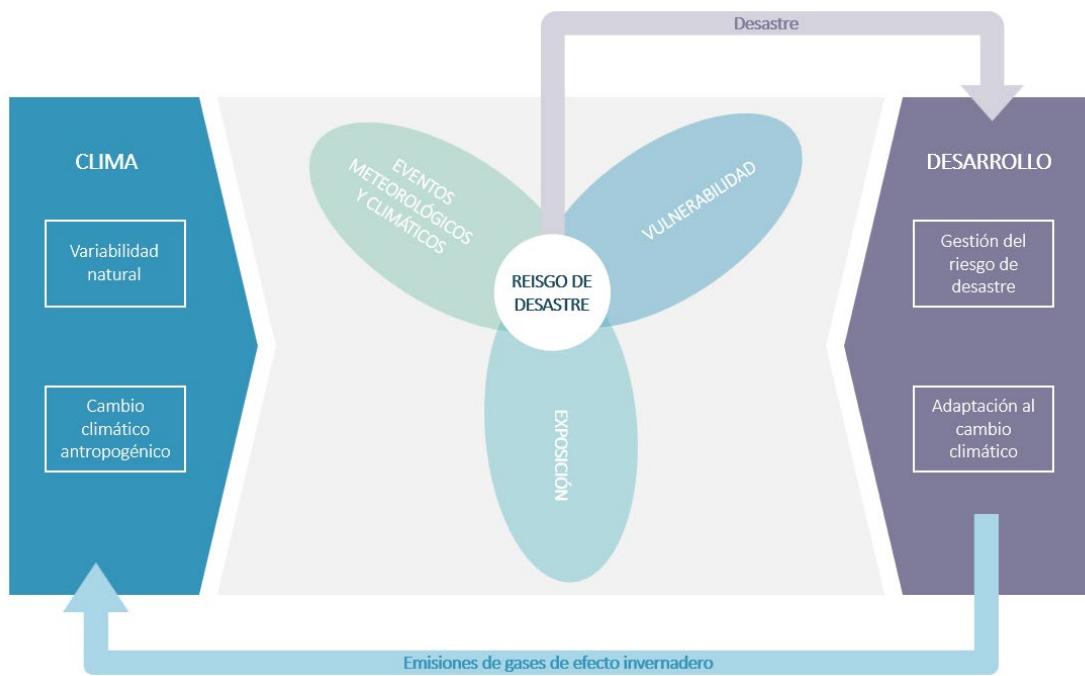


Figura 1. Ventana de oportunidad post-desastre.

El concepto de “riesgo” es el resultado de la combinación de tres factores: peligro, exposición y vulnerabilidad. El peligro puede definirse como la amenaza o potencial de que ocurra un evento físico (natural o inducido por el ser humano) que pueda causar daño; la exposición, se refiere a la presencia de personas, viviendas, infraestructuras, cultivos o cualquier activo económico o social en el territorio en el que sucede el evento no deseado; y la vulnerabilidad es la predisposición o propensión de una comunidad a ser afectada negativamente por un peligro. Es crucial entender que, si bien el peligro es difícilmente controlable (no podemos detener un huracán), sí tenemos una capacidad significativa para reducir la exposición (mediante una mejor planificación del uso del suelo, por ejemplo) y, sobre todo, para disminuir la vulnerabilidad a través de políticas de desarrollo social y económico.



Figura 2. Elementos que definen el riesgo de un desastre.

Sin ir más lejos, la DANA ocurrida el 29 de octubre de 2024 en la Comunidad Valenciana ha puesto de manifiesto la creciente vulnerabilidad del territorio valenciano frente a este tipo de episodios extremos. Este fenómeno, que provocó importantes daños humanos, materiales y ambientales, evidencia la necesidad de replantear las estrategias de gestión del riesgo climático y de fortalecer la capacidad de respuesta ante este tipo de eventos. Tras este episodio adverso, como sociedad, tenemos dos opciones, plantear estrategias de reconstrucción que permitan volver a las condiciones previas sin mitigar las vulnerabilidades existentes, o bien utilizar este evento como una oportunidad para implementar cambios significativos que permitan reducir los riesgos naturales, sociales o económicos, fortaleciendo la resiliencia y avanzando hacia una sociedad más sostenible.

Generalmente, cuando se implementan las estrategias de recuperación tras un desastre natural o una crisis se da especial importancia a los aspectos económicos y sociales, corriendo el riesgo de reconstruir el territorio rápidamente con infraestructuras semejantes a las existentes para que recupere su funcionalidad, sin llegar a pensar en posibles alternativas de mitigación para reducir la exposición y vulnerabilidad de la población. En muchas ocasiones también se opta por obra civil de gran envergadura, que crea una falsa sensación de seguridad, lo cual desemboca en una mayor densidad de población en áreas que ahora se perciben como seguras, aumentando la exposición

general y el potencial de pérdidas catastróficas si la estructura falla o es superada por un evento extremo.

Tras una catástrofe, pueden generarse períodos en los que resulta posible revisar y mejorar los sistemas de gestión, económicos y productivos, así como abordar vulnerabilidades previamente identificadas. A este periodo de tiempo es al que algunos autores como Davidsson (2020) denominan “ventana de oportunidad”. Este enfoque busca resaltar la importancia de integrar criterios ambientales en las estrategias de recuperación, considerando que el cambio climático y la presión humana aumentan la vulnerabilidad y la necesidad de acciones sostenibles.

Avanzar hacia un modelo de gestión integrada, preventiva y resiliente permitirá no solo mitigar los impactos de futuras DANAs, sino también consolidar un territorio más seguro y preparado ante los desafíos del cambio climático. En contraste, las estrategias basadas en una gestión más sostenible del territorio y la protección de ecosistemas ofrecen un enfoque más resiliente y menos disruptivo. Medidas como la planificación del uso del suelo, la zonificación para restringir el desarrollo en áreas de alto riesgo, la creación de zonas de amortiguación y la restauración de ecosistemas protectores son herramientas de reducción de riesgos más sostenibles.

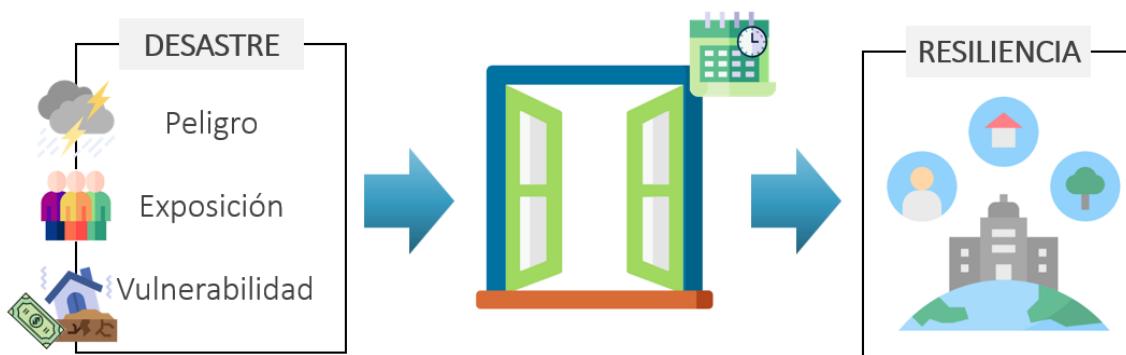


Figura 3. Ventana de oportunidad post-desastre.

Otro aspecto asociado a las ventanas de oportunidad es la rapidez con la que se introducen en la sociedad una serie de estrategias o medidas, puesto que lo que se hacía no funciona, el cambio es necesario y generalmente son medidas que se integran y son más rápidamente aceptadas por la sociedad que en circunstancias normales. La

pandemia del COVID-19 constituye un ejemplo ilustrativo de cómo una crisis puede acelerar procesos de cambio estructural ([Ogungbire y Mitra,2024; Rezaei et al.,2025](#)). Ante el confinamiento y las restricciones de movilidad, muchas empresas implementaron de forma inmediata el teletrabajo, reorganizando y adaptando procedimientos con la ayuda de herramientas digitales para mantener la productividad. Este proceso, que en condiciones normales habría requerido de un periodo de planificación largo, no solo se implementó de forma rápida, sino que fue aceptado por la sociedad positivamente, promoviendo modelos de trabajo más flexibles, resilientes y adaptados a nuevas circunstancias.

Las ventanas de oportunidad post-desastre constituyen, por tanto, un enfoque estratégico para transformar crisis en catalizadores de resiliencia ambiental y sostenibilidad, permitiendo que las comunidades no solo se recuperen, sino que también evolucionen hacia sistemas más fuertes y equilibrados frente a futuros desafíos.

2. Desafíos hídricos en la Comunidad Valenciana

La evolución en las condiciones climáticas está ejerciendo una influencia significativa sobre los recursos hídricos a escala global (Garrote, 2017; Asif et al, 2023; Noto et al., 2023; Rahmani y Fattahi, 2024). Tal y como se puede observar en el gráfico inferior (Figura 4) la temperatura media anual de la superficie terrestre ha ido aumentando de forma constante desde finales del siglo XIX, siendo los últimos diez años (2015 -2024) los más cálidos registrados, con anomalías de temperatura que oscilan entre los 1,5 y 1,6 °C sobre los niveles preindustriales. Este incremento de las temperaturas se espera que siga en aumento, aunque algunos escenarios presumen que el desarrollo e implementación de políticas de emisiones cero ralenticen dicho incremento.

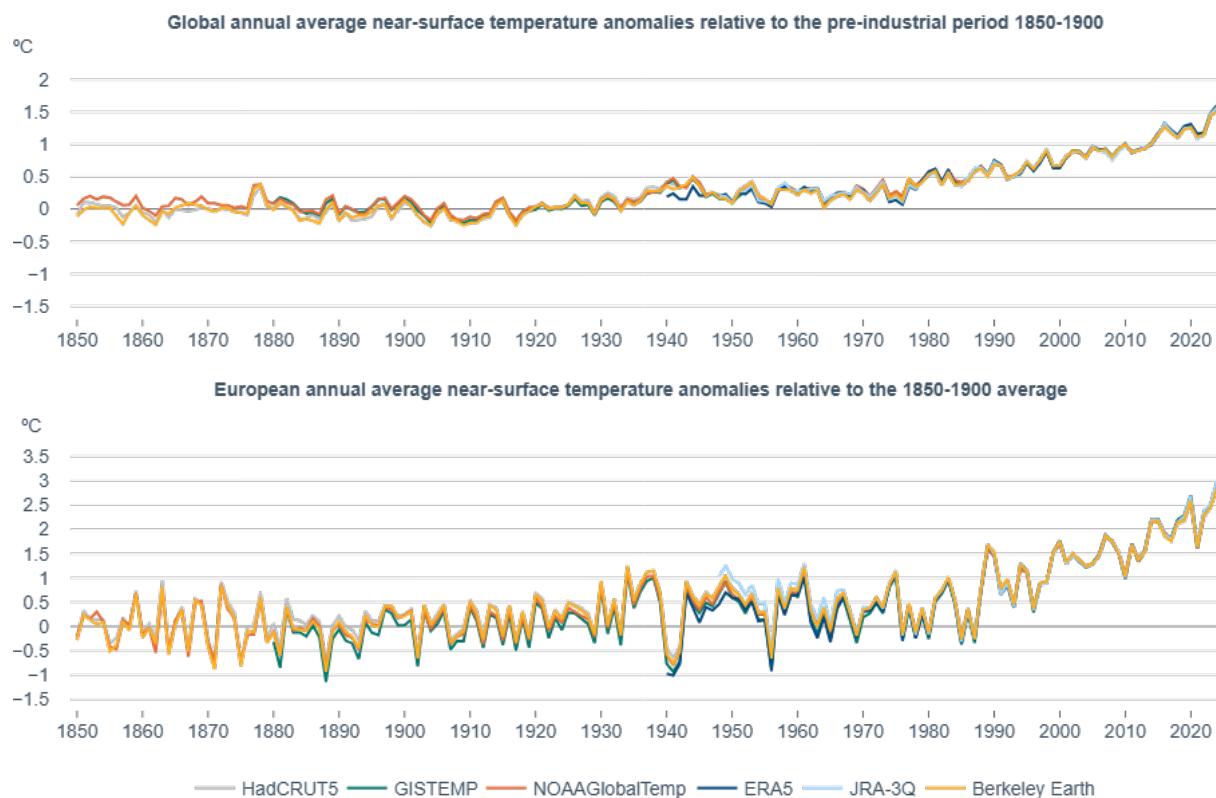


Figura 4. Anomalías anuales de la temperatura media cercana a la superficie a nivel global (arriba) y europeo (abajo), en comparación con el periodo preindustrial (1850-1900). Fuente: European Environment Agency.

De forma similar a nivel nacional, las anomalías térmicas siguen el patrón global y europeo observados anteriormente. El año 2024 se define como *extremadamente cálido* en la mayor parte del este, centro y sur de la España peninsular, y en ambos archipiélagos; mientras que resultó *muy cálido* en las regiones cantábricas y en el tercio oeste peninsular (Figura 5).

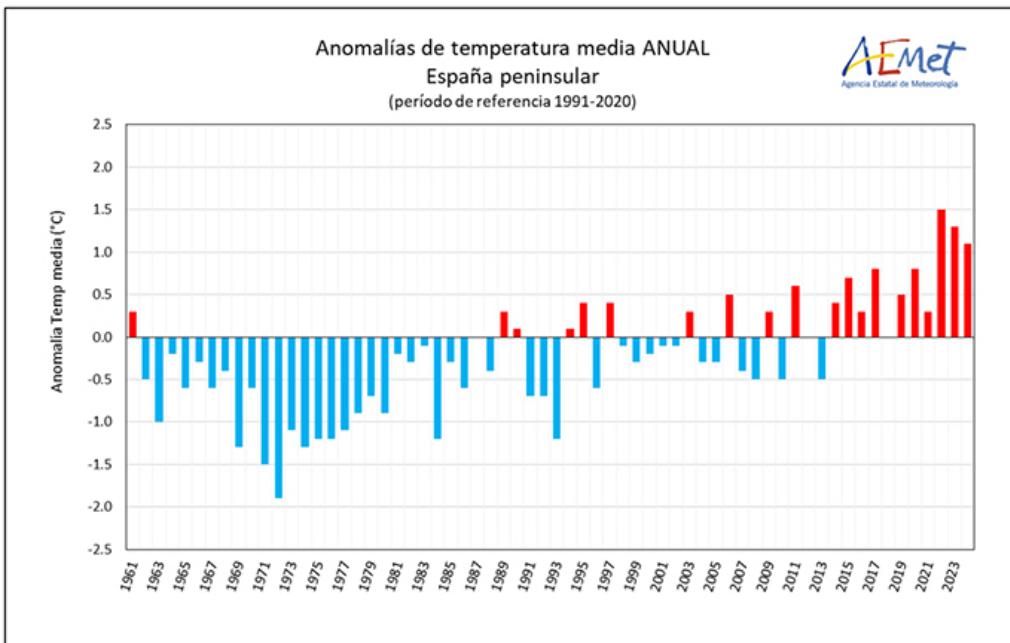


Figura 5. Anomalías anuales de la temperatura media en España. Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

El incremento paulatino de la temperatura media del planeta está provocando modificaciones significativas en el ciclo hidrológico. El aumento de las temperaturas altera el equilibrio del ciclo del agua al incrementar la evaporación y favorecer la aparición de sequías prolongadas en algunas zonas, mientras que en otras se intensifican los episodios de lluvias torrenciales e inundaciones. Paralelamente, el nivel medio global del mar ha aumentado aproximadamente 3,3 mm por año en los últimos 150 años, como consecuencia del deshielo y de la expansión térmica de los océanos.

Los cambios en el clima están alterando de manera significativa los patrones de precipitación a nivel global, lo que se traduce en un aumento de la frecuencia y la intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, como las tormentas asociadas a las DANAs. Estos episodios, cada vez más frecuentes, suponen un desafío complejo para la gestión del agua y la planificación urbana, debido a que no sólo incrementan la cantidad total de agua precipitada, sino que generan picos de intensidad concentrados en cortos periodos de tiempo. Las lluvias intensas provocan escorrentías rápidas y violentas que arrastran suelo, residuos, vehículos y otros objetos, aumentando el riesgo de inundaciones, desprendimientos y daños a infraestructuras críticas. Este tipo de eventos afecta tanto a zonas urbanas, donde la impermeabilización del suelo dificulta la absorción del agua, como a territorios rurales, donde las riadas pueden provocar

erosión, pérdidas agrícolas y alteraciones en los cauces naturales. Además, las lluvias extremas tienden a saturar los sistemas de drenaje y almacenamiento de agua, dificultando su aprovechamiento y aumentando los costes de recuperación y mantenimiento.

Por otro lado, el incremento de las temperaturas intensifica la evapotranspiración, reduce la disponibilidad de agua al disminuir la escorrentía superficial y la recarga de acuíferos, y, en consecuencia, compromete la seguridad hídrica (Noto et al., 2023). Estas alteraciones, unidas al crecimiento demográfico y al incremento de la demanda de agua, intensifican los problemas de escasez hídrica en muchas regiones.

Resulta evidente que el agua constituye un recurso esencial no solo para la vida y el equilibrio de los ecosistemas, sino también para el desarrollo social y económico. No obstante, la creciente demanda (la cual se espera que siga en aumento) junto con los efectos de tipo climático, están generando una presión sin precedentes sobre los recursos hídricos. En los últimos años, los niveles de agua en los embalses de España han mostrado una notable variabilidad, marcada por períodos de sequía severa y otros de mayor abundancia hídrica. Por ejemplo, el año 2013, se alcanzaron los 47.469 hm³, el nivel más alto desde 2004. Por otro lado, en 2017, el volumen embalsado cayó por debajo de los 20.500 hm³. En 2023, la situación volvió a ser crítica, con los embalses situados por debajo del 50 % de su capacidad total, reflejando la persistencia de condiciones climáticas adversas y la presión sobre los recursos hídricos. Tal y como se puede observar, durante los últimos 10 y 15 años, esta variabilidad ha sido especialmente evidente.

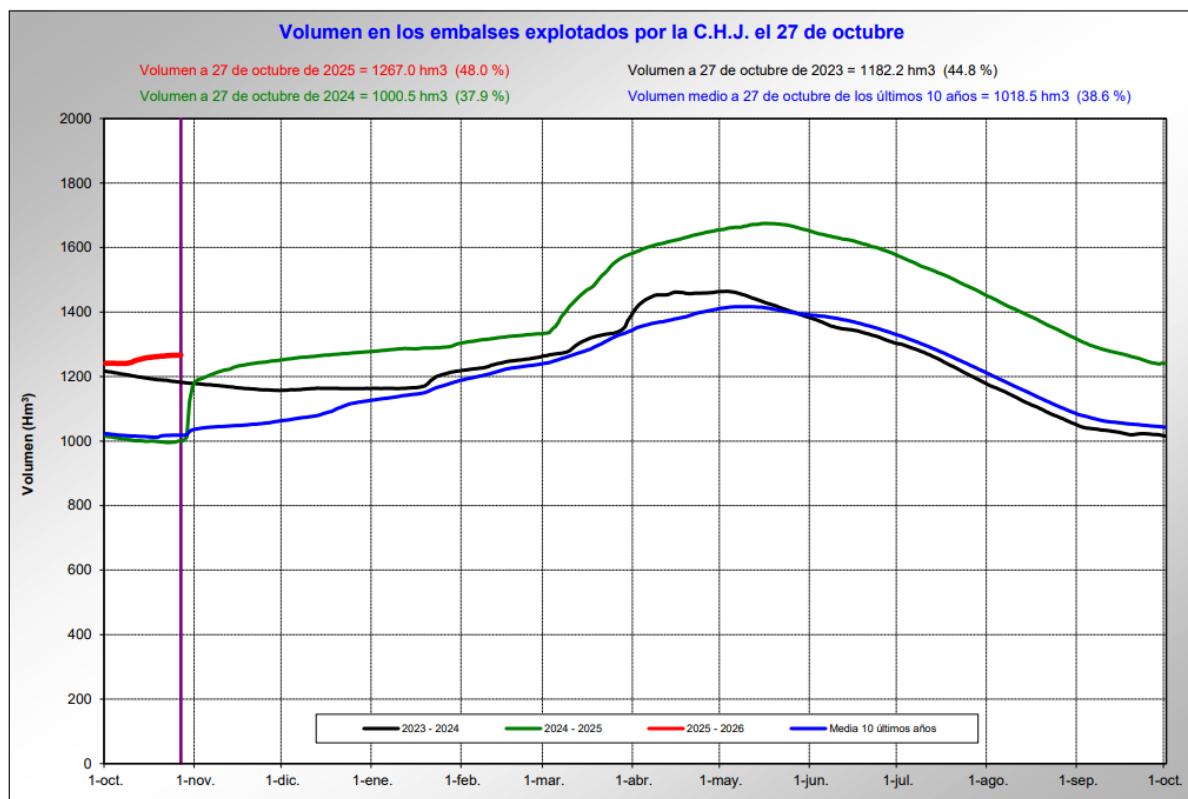
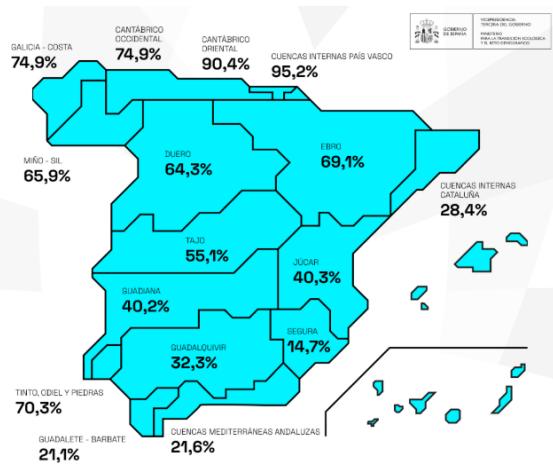


Figura 6. Evolución del volumen de agua embalsada en España: Fuente: Ministerio para la Transición ecológica y Reto Demográfico (MITECO).

Más recientemente, en octubre de 2024, la disponibilidad de agua en los embalses españoles se situaba en torno al 50 % de su capacidad total, con un volumen almacenado de 28.035 hm³. Gracias a la abundancia de precipitaciones registrada en los meses posteriores, la reserva hídrica aumentó hasta alcanzar los 34.125 hm³ en marzo de 2025, lo que equivale al 60,9 % de la capacidad total de los embalses del país. En 2025, las reservas hídricas muestran signos de recuperación, aunque los niveles siguen siendo una preocupación constante. En la actualidad, el agua almacenada en los embalses ha vuelto a descender a niveles similares a los del año anterior, 28.910 hm³ lo cual supone el 51,6 % de la capacidad total. Por lo tanto, la evolución de la reserva hídrica depende en gran medida tanto de las condiciones meteorológicas como de la propia gestión del agua en el conjunto del territorio.

Reserva hídrica española

29/10/2024



Reserva hídrica española

11/3/2025

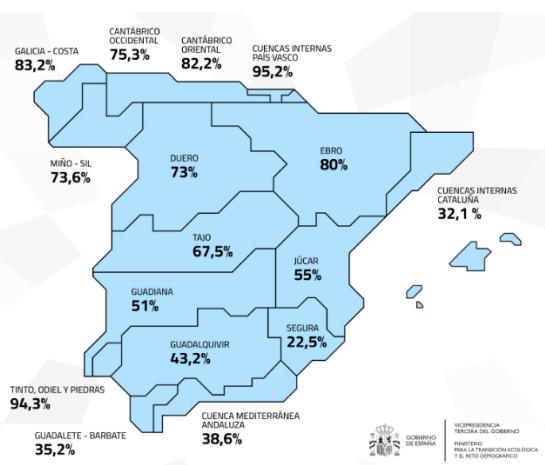


Figura 7. Reservas hídricas en España en octubre de 2024 y marzo de 2025. Fuente: Ministerio para la Transición ecológica y Reto Demográfico (MITECO).

En suma, la evolución en las condiciones climáticas está generando impactos acumulativos sobre la disponibilidad, calidad y distribución del agua, comprometiendo la seguridad hídrica y aumentando la exposición de las sociedades a eventos extremos y riesgos asociados. Estos desafíos refuerzan la necesidad de impulsar políticas de gestión integrada y resiliente del agua, orientadas a la adaptación y mitigación frente a las variaciones de carácter climático.

3. Las infraestructuras hídricas: un servicio esencial para la población

El ciclo urbano del agua es un elemento clave para el buen funcionamiento de las ciudades y su desarrollo económico. Las infraestructuras hídricas constituyen uno de los pilares fundamentales del bienestar y la salud pública, al garantizar el acceso continuo y seguro al agua potable, así como la correcta gestión de las aguas residuales. Su funcionamiento permite abastecer a la población, sostener la actividad económica y preservar el equilibrio ambiental. El conjunto de estas infraestructuras conforma un sistema estratégico que debe considerarse un servicio esencial, al igual que la energía o las comunicaciones. Su adecuada gestión, mantenimiento y modernización son

indispensables para garantizar la seguridad del suministro, prevenir riesgos sanitarios y favorecer la resiliencia frente a la evolución en las condiciones climáticas.

A continuación, se describen las fases que constituyen el ciclo urbano del agua:

1. Captación: la primera fase consiste en la captación del agua a través de presas, embalses o acuíferos. Esta etapa es fundamental para asegurar la disponibilidad del recurso en cantidad y calidad suficientes para el suministro posterior. Por lo que a su gestión y mantenimiento se refiere, generalmente, las presas y embalses son de titularidad de las Confederaciones Hidrográficas.

2. Distribución en alta: se refiere al transporte del agua desde las fuentes de captación hasta los puntos de almacenamiento o potabilización.

3. Potabilización, almacenamiento y distribución en baja: en esta fase se realiza la potabilización del agua y su almacenamiento en depósitos municipales antes de su distribución, garantizando que el agua cumpla con los estándares sanitarios exigidos para su consumo y uso urbano. Estas infraestructuras suelen ser de titularidad de los ayuntamientos, que pueden gestionarlas directamente o a través de empresas concesionarias. En el caso del agua destinada al riego agrícola, el suministro es gestionado por las Confederaciones Hidrográficas y distribuido mediante redes específicas, separadas de las de consumo humano.

4. Sistema de alcantarillado, depuración y vertido: la última etapa del ciclo urbano del agua corresponde a la recolección y el tratamiento de las aguas residuales. La finalidad de esta fase es el tratamiento de las aguas residuales urbanas para devolverlas al medio natural minimizando el impacto que pudieran generar.

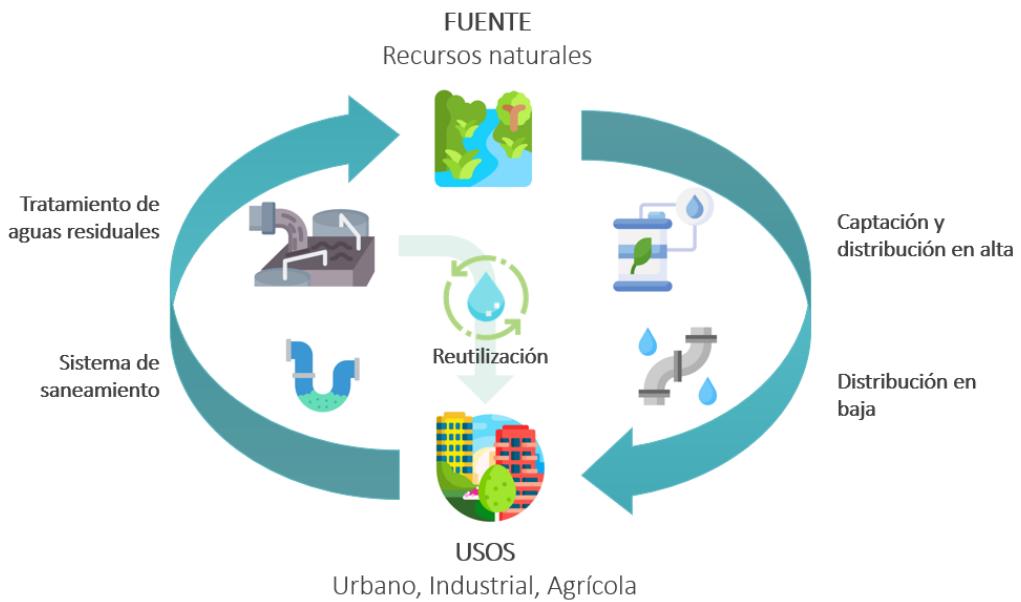


Figura 8. Ciclo urbano del agua.

Tal y como se ha analizado en la sección anterior, el cambio en las condiciones climáticas está alterando profundamente el ciclo natural del agua, generando sequías más prolongadas e inundaciones más intensas y frecuentes. Estas variaciones extremas suponen un desafío creciente para la gestión de los recursos hídricos, ya que obligan a los sistemas de abastecimiento y saneamiento a adaptarse a condiciones cada vez más impredecibles. Las sequías reducen la disponibilidad de agua en embalses, acuíferos y ríos, comprometiendo el suministro urbano, agrícola e industrial. Por otro lado, las inundaciones ocasionan daños en infraestructuras hidráulicas, deterioran la calidad del agua y aumentan los costes de mantenimiento y reparación. Tal y como se ha manifestado con la DANA sufrida el pasado año, este fenómeno ha tenido repercusiones sobre el conjunto de infraestructuras hídricas que constituyen el ciclo urbano del agua.

El evento meteorológico del 29 de octubre de 2024, caracterizado por lluvias torrenciales que registraron casi 500 litros por metro cuadrado en las cabeceras de los ríos, desencadenó inundaciones repentinas que devastaron una superficie de más de 300 kilómetros cuadrados, afectando gravemente tanto a la población como a los servicios e infraestructuras esenciales. Durante los primeros días posteriores al episodio, miles de personas se enfrentaron a importantes dificultades para acceder a suministros básicos como el agua, la electricidad y el gas, lo que evidenció la vulnerabilidad del sistema urbano y la necesidad de fortalecer las infraestructuras

críticas ante fenómenos meteorológicos extremos. Entre los servicios afectados, el suministro de agua fue la principal preocupación de las autoridades. La contaminación de fuentes y redes de distribución, junto con el corte eléctrico que dejó inoperativas las plantas potabilizadoras y estaciones de bombeo, comprometió temporalmente la calidad y disponibilidad del recurso. Para garantizar el acceso al agua, se habilitaron zonas de recogida controladas, que permitieron a la población abastecerse mientras se completaban los trabajos de purificación y restablecimiento del sistema.

Se estima que los daños en las infraestructuras hídricas ascendieron a un total de 784 millones de euros. Las intensas lluvias y las inundaciones afectaron a más de 350 kilómetros de cauces, dos estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP), dos presas y 123 estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR). Estos daños comprometieron de manera directa el ciclo integral del agua, alterando tanto el abastecimiento de agua potable como la capacidad de depuración y la gestión de aguas pluviales.

La restauración de estas infraestructuras constituye una prioridad estratégica, no solo para garantizar el suministro seguro y la calidad del agua, sino también para fortalecer la resiliencia del territorio ante futuros episodios de inundación. Su correcto funcionamiento resulta esencial para la protección de la salud pública, la estabilidad del entorno urbano y la sostenibilidad ambiental. En este sentido, la reconstrucción de los sistemas hidráulicos dañados debe abordarse desde una perspectiva integral, que combine la reparación inmediata con la planificación de infraestructuras más seguras, adaptadas y sostenibles frente a las nuevas condiciones climáticas.

4. Análisis de las posibilidades para la optimización de los servicios de abastecimiento y depuración para fomentar el crecimiento económico de los territorios vulnerables

Las variaciones en las condiciones climáticas están generando impactos relevantes sobre la disponibilidad, calidad y distribución del agua, comprometiendo la seguridad hídrica y aumentando los riesgos asociados. Estos desafíos refuerzan la necesidad de promover nuevas estrategias de gestión integrada y resiliente del agua.

Son muchas las áreas de la Comunidad Valenciana que muestran una elevada vulnerabilidad ante fenómenos extremos como lluvias intensas y periodos prolongados de sequía severa. La densidad poblacional en áreas costeras y la presencia de infraestructuras hidráulicas y agrícolas sensibles requieren una gestión del agua basada en la previsión, la adaptación y la mitigación de riesgos. Por ello, la gestión del agua debe orientarse hacia la resiliencia y la sostenibilidad, priorizando la planificación a largo plazo, la reutilización del recurso, la diversificación de fuentes y la incorporación de sistemas de control y alerta temprana. Solo mediante una gestión integrada y preventiva será posible garantizar la seguridad hídrica y la protección del territorio ante las variaciones en las condiciones climáticas.

A diferencia de los modelos convencionales que gestionan el agua para fines específicos, como el suministro urbano o el riego agrícola, la gestión integrada de los recursos hídricos se consolida como un enfoque esencial para abordar los efectos acumulativos y complejos derivados de las nuevas condiciones climáticas (Müller y Schanze, 2022). Este nuevo planteamiento de gestión para el agua busca equilibrar las necesidades económicas, sociales y ambientales, garantizando que las decisiones consideren tanto la equidad en su distribución como la sostenibilidad de los ecosistemas que la sustentan. Solo mediante un enfoque integral que combine ciencia, tecnología y planificación territorial será posible reducir la vulnerabilidad frente a lluvias extremas y garantizar una gestión sostenible de los recursos hídricos ante los cambios de carácter climático.

Esto implica articular políticas de uso del suelo, conservación ambiental, planificación urbana, desarrollo agrícola e industrial, bajo un mismo marco de acción. Adoptar este enfoque no solo contribuye a alcanzar la seguridad hídrica en ámbitos vulnerables ante fenómenos extremos, sino que también fortalece la capacidad de adaptación de las comunidades y las instituciones. Además, la implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos está directamente vinculada al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 6 (Agua Limpia y Saneamiento) y el ODS 13 (Acción por el Clima), al promover una gobernanza del agua que sea participativa, resiliente y ambientalmente responsable (Asif et al., 2023).

Un elemento fundamental en la transformación del modelo de gestión frente a la variación en las condiciones climáticas radica en adoptar estrategias que comprendan la adaptación como un proceso continuo y evolutivo, y no como un conjunto de medidas puntuales o respuestas aisladas frente a eventos específicos. Esta adaptación, debe entenderse como parte de un proceso de transformación social, cuyo objetivo no es solo responder a los impactos de fenómenos extremos, sino también promover la cooperación, el aprendizaje compartido y los cambios estructurales que permitan a las comunidades estar mejor preparadas ante futuros desafíos. En este sentido, aprender de la experiencia y compartir conocimientos entre diferentes actores y niveles de gestión son elementos esenciales para mejorar la respuesta colectiva.

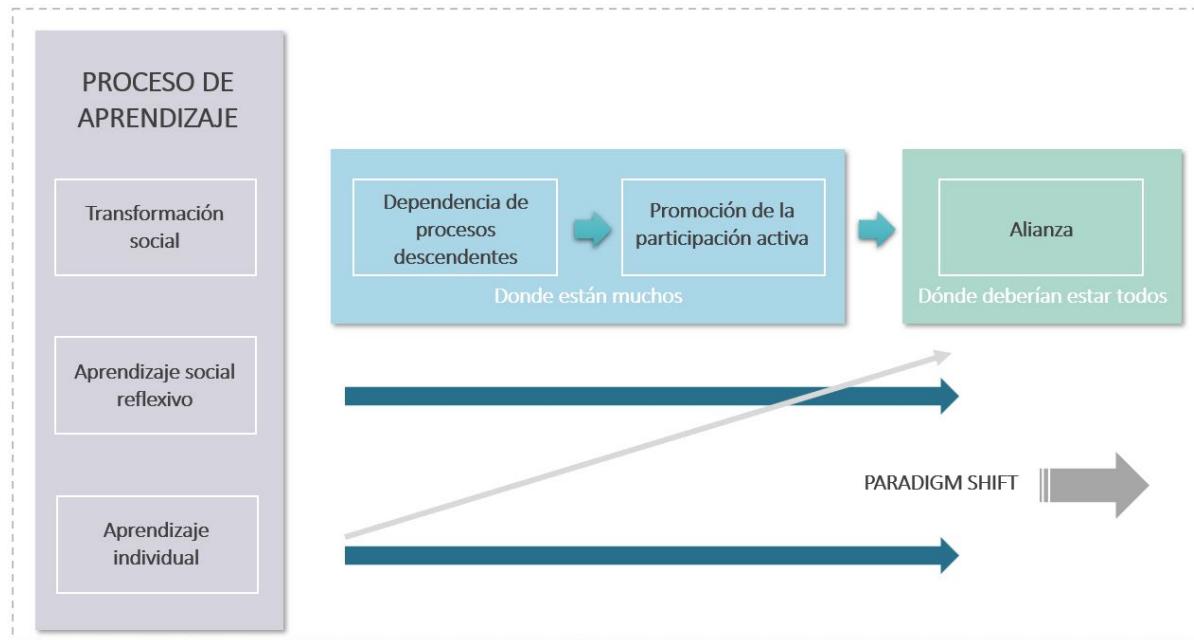


Figura 9. Dirección de las estrategias de adaptación a las nuevas condiciones climáticas. Fuente: IPCC, 2012.

En los últimos años, y como consecuencia de los efectos meteorológicos extremos, es cada vez más evidente la necesidad de un cambio de paradigma que consista en pasar de una gestión reactiva y centralizada, a un enfoque proactivo, descentralizado e integrador. Ciertamente, la resiliencia hídrica no se logrará con una única solución tecnológica, sino a través de una combinación sinérgica de soluciones basadas en la naturaleza, innovación tecnológica y una gobernanza colaborativa y sólida que abarque cuencas enteras. Para ello se requiere de una mejora en el actual sistema de actuación

frente a fenómenos meteorológicos extremos, así como impulsar la modernización y adaptación de las infraestructuras hidráulicas y urbanas, frente a los nuevos escenarios climáticos.

Estrategias adaptativas frente a las nuevas condiciones climáticas

La Comunidad Valenciana, caracterizada por su clima mediterráneo y su alta densidad urbana, se enfrenta a desafíos significativos relacionados con la gestión de los recursos hídricos. Eventos meteorológicos extremos, como la DANA (Depresiones Aisladas en Niveles Altos) han evidenciado la vulnerabilidad de las infraestructuras urbanas. Para hacer frente a estos riesgos, la adopción de herramientas de predicción y monitoreo avanzadas se ha vuelto esencial. En este sentido, la implementación de radares meteorológicos de alta precisión, permiten anticipar la intensidad de la lluvia y emitir alertas tempranas, activar planes de emergencia y gestionar en tiempo real la respuesta a inundaciones.

De manera complementaria se muestra necesario combinar estas tecnologías con estrategias de planificación territorial, infraestructura resiliente y medidas de adaptación, como la restauración de ríos, la creación de zonas de retención de agua y la mejora de los sistemas urbanos de drenaje. A continuación, se identifican tres áreas relacionadas con la gestión de los recursos hídricos en las que se plantean una serie de medidas dirigidas a mitigar los efectos de las variaciones en las condiciones climáticas:

1) Potenciar el uso de agua regenerada

Para hacer frente a la escasez de agua no basta con promover tecnologías que mejoren la eficiencia en el uso del agua, resulta imprescindible avanzar hacia un modelo de gestión basado en los principios de la economía circular, en el que la reutilización de las aguas residuales se consolide como una estrategia fundamental. Los avances tecnológicos actuales permiten tratar el agua previamente usada en los hogares o industrias, con una calidad suficiente (cumpliendo la normativa vigente) para volver a utilizarse con distintos propósitos en el sector industrial, agrícola o urbano, e incluso para la recarga de acuíferos. Este enfoque minimiza el uso de agua de fuentes convencionales, preservando el agua de mayor calidad para usos más exigentes, como

es el consumo humano, y convierte el agua regenerada en un elemento clave dentro de la gestión integrada del ciclo urbano del agua.

Adoptar este modelo supone un paso decisivo hacia una economía circular del agua, en la que cada recurso se aprovecha de forma más eficiente antes de retornar al medio natural. Las aguas residuales dejan así de considerarse un desecho y se transforman en una fuente alternativa y sostenible, capaz de aliviar la presión sobre ríos, embalses y acuíferos sobreexplotados. Para hacer efectiva esta transición, es necesario invertir en tecnologías e infraestructuras que garanticen la calidad del agua regenerada, así como su adecuada distribución y almacenamiento, y políticas y medidas que analicen los riesgos para mitigar los riesgos del uso.

En este sentido, España cuenta desde hace años con un marco legal sólido en materia de reutilización, establecido por el Real Decreto 1620/2007, que define los usos permitidos del agua regenerada. En el ámbito europeo, el Reglamento 2020/741 refuerza esta línea, reconociendo el agua como un recurso cada vez más escaso que debe preservarse y gestionarse de manera sostenible. Esta normativa, aplicable desde 2023, impulsa la reutilización como una herramienta esencial frente a las nuevas condiciones climáticas y la creciente presión sobre los recursos hídricos.

Aun así, el camino hacia una gestión más circular del agua no está exento de desafíos. La percepción social sigue siendo una de las principales barreras (Lee y Jepson, 2020) ya que se constata todavía cierta reticencia al uso del agua regenerada, muchas veces fundamentada por el desconocimiento del nivel de control y seguridad que garantizan los tratamientos actuales. A ello se suman el elevado coste económico que supone la inversión en tecnologías de tratamiento avanzadas y su operación, ya que generalmente conllevan un elevado consumo energético; a esto hay que añadir la construcción de infraestructuras específicas como redes de distribución dobles o depósitos de almacenamiento, lo cual, incrementa los costes de inversión (Lee et al., 2018; Zhang and Shen, 2019).

Para asegurar su viabilidad a largo plazo, es necesario asignar un valor de mercado al agua regenerada e integrarla dentro de un sistema tarifario competitivo, que permita recuperar costes y fomentar su uso de forma sostenida. Ampliar las fuentes de agua a

través de la reutilización no es solo una medida técnica, es una apuesta estratégica por la resiliencia y la sostenibilidad. Reconocer el valor del agua regenerada y potenciar su uso representa un paso decisivo hacia un modelo de gestión más responsable, donde la innovación, la cooperación y la visión a largo plazo se convierten en los pilares para garantizar la disponibilidad de agua en un futuro cada vez más incierto. Además de la reutilización del agua se pueden recuperar otros subproductos como por ejemplo los fangos resultantes de potabilizadoras y plantas de tratamiento de aguas residuales, así como nutrientes.

Por otro lado, existen una serie de actuaciones que deben ser implementadas para garantizar una gestión más eficiente del agua y la seguridad hídrica. Se trata de la elaboración y puesta en marcha de los Planes de Gestión de Sequías. Tal y como se ha comentado con anterioridad, los períodos de sequía van a ser cada vez más largos e intensos, por lo que disponer de estos planes y su implementación eficaz es esencial. Estos planes establecen de antemano qué hacer, cómo repartir el agua y qué medidas tomar para minimizar los daños. Es un cambio fundamental de una gestión de crisis reactiva a una gestión de riesgos proactiva.

2) Integración de soluciones digitales inteligentes

La búsqueda de fuentes de agua alternativas responde a la necesidad de sustituir las fuentes convencionales con el objetivo de preservar la calidad de las masas de agua y avanzar hacia una gestión más sostenible de los recursos hídricos. El propósito último no es mantener el actual ritmo de consumo, sino disminuirlo y optimizarlo, garantizando que cada uso del agua contribuya a la sostenibilidad del sistema en su conjunto. En este sentido, las medidas de reutilización, desalación o captación de nuevas fuentes deben implementarse junto con instrumentos de planificación, regulación y sensibilización social que fomenten un consumo responsable. Por lo tanto, esto debe formar parte de una estrategia integral que combine la diversificación de las fuentes con políticas orientadas a la reducción y el uso eficiente del recurso, haciendo énfasis en la gestión de la demanda.

Para optimizar la gestión de la demanda las tecnologías digitales avanzadas pueden ser de gran ayuda. La digitalización del ciclo del agua facilita la recogida, análisis e

interpretación de datos en tiempo real, lo que contribuye a diseñar estrategias de gestión más precisas y adaptadas a las necesidades de cada territorio o sector productivo. Conocer en detalle los volúmenes de agua disponibles, las demandas específicas y las necesidades hídricas de los distintos sectores permite planificar medidas concretas para garantizar el abastecimiento, mejorar la eficiencia y promover la reutilización de las aguas residuales siguiendo los principios de la economía circular.

Desde el punto de vista operativo, las tecnologías digitales ofrecen un gran potencial. Por ejemplo, el uso del internet de las cosas (IoT) en las diferentes etapas que constituyen el ciclo urbano del agua permite recoger y analizar de forma continua y en tiempo real grandes volúmenes de datos relacionados tanto con la calidad del agua (pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez o niveles de agua...) como con la propia gestión (consumo energético, reactivos utilizados, recursos económicos utilizados...). Haciendo uso de diversas herramientas informáticas como los Algoritmos de Aprendizaje Automático todos los datos recopilados pueden combinarse para generar una amplia gama de indicadores que aportan información relevante sobre los procesos, desde su eficiencia energética, identificar el estado y necesidad de mantenimiento y renovación de las infraestructuras y activos que intervienen en el ciclo urbano del agua, la monitorización de contaminantes y establecimiento de posibles alertas, con el objetivo final de mejorar y optimizar los procesos (Hernández-Chover et al., 2024; Tsegaye et al., 2020; Xiang et al., 2021).

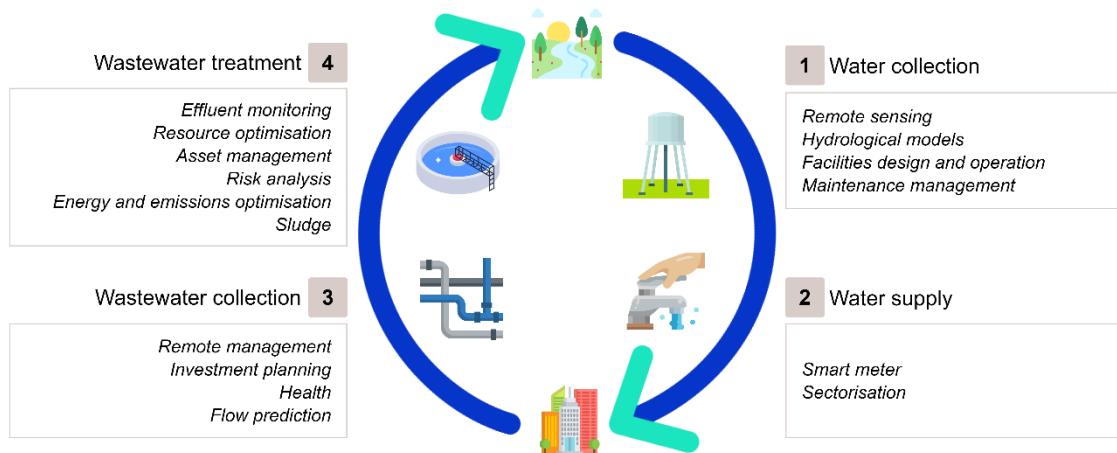


Figura 10. Implementación de la digitalización en el ciclo urbano del agua. Fuente: Hernández-Chover et al., 2022.

La digitalización no solo aporta ventajas en la gestión operativa del ciclo integral del agua (desde la captación y potabilización hasta el abastecimiento, alcantarillado, tratamiento y reutilización), sino que también desempeña un papel clave en el análisis espacial y temporal de los recursos hídricos. A través de la teledetección y el uso combinado de modelos de inteligencia artificial con datos satelitales procesados en la nube, es posible predecir vulnerabilidades ante eventos climáticos extremos y proporcionar información en tiempo real que facilite la toma de decisiones estratégicas (Schwarz et al., 2018).

La Unión Europea reconoce que la digitalización es un elemento clave para impulsar la competitividad, mejorar la sostenibilidad y garantizar el bienestar de la ciudadanía. En un contexto global marcado por la transición ecológica y los retos del cambio en las condiciones climáticas, la transformación digital se ha convertido en una herramienta esencial para optimizar los procesos productivos, reducir impactos ambientales y fortalecer la cohesión social entre los Estados miembros. En coherencia con esta estrategia europea, el Gobierno de España ha desarrollado la Agenda España Digital 2026, que actúa como hoja de ruta nacional para impulsar la transformación digital del país. Su objetivo es fomentar un modelo de crecimiento económico sostenible, basado en la innovación tecnológica, la cohesión territorial y la igualdad de oportunidades, aprovechando plenamente las posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías (MITECO, 2022). Con ello, España se alinea con la visión europea de una digitalización

inclusiva, sostenible y centrada en las personas, en la que la tecnología se convierte en un motor de progreso económico y social, pero también en una herramienta para afrontar los desafíos ambientales y garantizar un futuro más resiliente y equitativo.

3) Soluciones descentralizadas e infraestructuras verdes

Frente a los retos crecientes derivados de las nuevas condiciones climáticas (como el aumento de lluvias intensas, las inundaciones y la reducción de la disponibilidad de agua), las soluciones descentralizadas representan una alternativa eficaz y sostenible a las infraestructuras tradicionales. En este sentido, las infraestructuras verdes se consolidan como estrategias clave para incrementar la resiliencia de las ciudades, al reproducir los procesos hidrológicos naturales y gestionar el agua directamente en el lugar donde se genera.

En este contexto, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) emergen como herramienta esencial para la gestión de las lluvias intensas y la mitigación de inundaciones en entornos urbanos de forma eficiente y sostenible. Los SUDS son sistemas superficiales de drenaje que imitan el ciclo natural del agua, cuyo objetivo principal no solo es controlar el flujo del agua de lluvia, sino filtrarla, retenerla, transportarla, acumularla, reutilizarla e infiltrarla en el terreno. Estos sistemas incluyen elementos como pavimentos permeables, jardines de lluvia, cunetas vegetadas y humedales urbanos, diseñados para captar el agua pluvial en origen, es decir, lo más cerca posible de donde precipita, utilizando materiales filtrantes como capas granulares, geotextiles y superficies porosas.

Estas soluciones contribuyen no solo a reducir los efectos de los eventos extremos, sino también a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la calidad ambiental urbana y proteger los ecosistemas. Entre sus principales beneficios cabe destacar:

- Gestión sostenible del agua de lluvia: Elementos como los pavimentos permeables o los sistemas de infiltración permiten retener e infiltrar el agua en el terreno, reduciendo el riesgo de inundaciones, la presión sobre los sistemas de drenaje y la contaminación difusa.

- Recarga de acuíferos y mejora de la calidad del agua: Las técnicas de biorretención, como los jardines de lluvia o los humedales artificiales, facilitan la infiltración lenta del agua y su depuración natural mediante procesos físicos y biológicos, favoreciendo la recuperación de los recursos hídricos subterráneos.
- Reducción de desbordamientos y aumento de la resiliencia urbana: Ciudades que han incorporado estas estrategias, como Waterloo o Toronto (Canadá), han logrado disminuir significativamente los desbordamientos y mejorar la capacidad de respuesta ante lluvias extremas.

En conjunto, estas medidas impulsan un cambio de paradigma en la gestión del agua urbana, pasando de un modelo reactivo basado en grandes infraestructuras grises a un enfoque proactivo, adaptable y basado en la naturaleza, alineado con los objetivos de sostenibilidad y adaptación climática.

5. Importancia de la escala local en la planificación y gestión sostenible de los recursos hídricos

La necesidad de abordar la gestión del agua desde un punto de vista holístico se ha vuelto cada vez más urgente ante los crecientes impactos derivados de las nuevas condiciones climáticas. Los fenómenos extremos, la variabilidad en las precipitaciones, el incremento en la intensidad y durabilidad de los períodos de sequía, junto con la presión que se está ejerciendo sobre los recursos hídricos, exigen una respuesta coordinada e integradora. Es fundamental avanzar hacia modelos que reconozcan la interdependencia entre los sistemas naturales, las actividades humanas y las políticas públicas, promoviendo una gestión coordinada que trasciende los enfoques sectoriales tradicionales.

En esta línea, existen diversos enfoques para gestionar el riesgo que desencadena los fenómenos extremos y adaptarse a los cambios de carácter climático. Estas estrategias abarcan desde la planificación y la formulación de políticas hasta la implementación de soluciones tecnológicas, sociales y basadas en la naturaleza. En cuanto a la planificación y las políticas de adaptación, existen dos enfoques principales: i)

Escenarios e Impactos Primero (Top-Down) y ii) Vulnerabilidad y Umbrales Primero" (Bottom-Up) que, aunque distintos, se complementan y se fortalecen cuando se integran, permitiendo una respuesta más efectiva frente a los desafíos de tipo climático.

Tabla 1. Modelos de gestión para la adaptación a las nuevas condiciones climáticas.

ENFOQUE	DESCRIPCIÓN	UTILIDAD
"Escenarios e Impactos Primero" (Top-Down)	Comienza con modelos y distintos escenarios de carácter climático para evaluar los impactos esperados y luego identificar opciones de adaptación para reducir los riesgos proyectados.	Útil para concientiar, explorar estrategias y establecer prioridades de investigación, especialmente para decisiones a largo plazo e irreversibles (p. ej., grandes infraestructuras).
"Vulnerabilidad y Umbrales Primero" (Bottom-Up)	Comienza a nivel del tomador de decisiones, identificando la resiliencia del sistema a la variabilidad climática actual, evaluando la capacidad de adaptación y los "puntos de inflexión" críticos.	Particularmente útil para identificar acciones prioritarias inmediatas, cuando los recursos son limitados o cuando las incertidumbres sobre los impactos futuros son muy grandes.

El éxito de las estrategias de adaptación frente a los riesgos asociados a las nuevas condiciones climáticas depende de una integración efectiva entre los niveles local, nacional e internacional. En este sentido, las estrategias globales y nacionales proporcionan marcos de referencia, recursos y coordinación necesarios para enfrentar desafíos a largo plazo y de alcance transfronterizo, mientras que las acciones locales se concentran en la respuesta inmediata y en la construcción de resiliencia comunitaria. A nivel internacional, la financiación, así como el apoyo tecnológico y científico, son esenciales para fortalecer las capacidades nacionales y locales.

La cooperación entre países también permite abordar riesgos sistémicos, garantizando que los impactos de un desastre en una nación no se propaguen en efecto dominó a nivel global. Este marco estratégico internacional debe traducirse en políticas y acciones concretas a nivel nacional. La coordinación intersectorial, una legislación clara y la inversión en sistemas de alerta temprana son elementos clave para reducir impactos.

Asimismo, el desarrollo de instrumentos económicos y mecanismos de financiación asegura que los esfuerzos de adaptación puedan sostenerse en el tiempo y responder eficazmente a los riesgos climáticos.

Por otro lado, la participación de las comunidades locales es clave para diseñar estrategias más realistas y efectivas. Integrar datos cuantitativos, como información climática, demográfica o económica, con la comprensión del contexto social y cultural del territorio permite construir escenarios más completos y representativos. Generalmente cuando se habla de las nuevas condiciones climáticas se hace referencia a los efectos a nivel global, sin embargo, su impacto más directo y devastador ocurre a nivel local, tal y como ha quedado reflejado con la DANA o los últimos períodos de sequía prolongados. La pérdida de vidas, propiedades y medios de subsistencia se experimenta en comunidades específicas, por personas concretas.

Por esta razón, para que la gestión de los recursos hídricos sea más efectiva se requiere tener en cuenta a las comunidades locales ya que el nivel local no es simplemente un receptor pasivo de políticas, sino el epicentro de la experiencia, la respuesta y la adaptación duradera a los riesgos climáticos. En este sentido, incluir la variable local en la planificación de estrategias es fundamental por las siguientes razones:

- **Conocimiento y experiencia:** Las comunidades locales poseen un valioso conocimiento tradicional y una experiencia práctica sobre los riesgos de su entorno. Esta información, en combinación con el conocimiento científico y técnico externo, es un recurso crucial para diseñar planes y estrategias pertinentes y eficaces.
- **Adaptabilidad territorial:** La eficacia de las medidas propuestas depende en gran medida de su adecuación a las condiciones específicas de cada territorio. Factores como las características físicas del entorno, así como las particularidades sociales, culturales y económicas, influyen directamente en su desempeño. Por tanto, las estrategias deben ser diseñadas y aplicadas de manera contextualizada, garantizando su coherencia con las realidades locales y optimizando su efectividad en la gestión del recurso.

- **Seguridad humana y gestión del riesgo:** Los impactos de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos amenazan directamente la seguridad humana a nivel local, cuya vulnerabilidad dependen de la planificación urbana o la falta de infraestructuras resilientes, la capacidad institucional, los mecanismos de gobernanza y gestión del riesgo entre otras cosas.
- **Garantizar los principios de sostenibilidad:** Las medidas implementadas deben enmarcarse en una estrategia integral de sostenibilidad que promueva un equilibrio entre las dimensiones social, económica y ambiental a nivel local. Este enfoque asegura que las acciones adoptadas no solo respondan a necesidades inmediatas, sino que contribuyan al bienestar de las comunidades, la eficiencia en el uso de los recursos y la preservación de los ecosistemas a largo plazo.

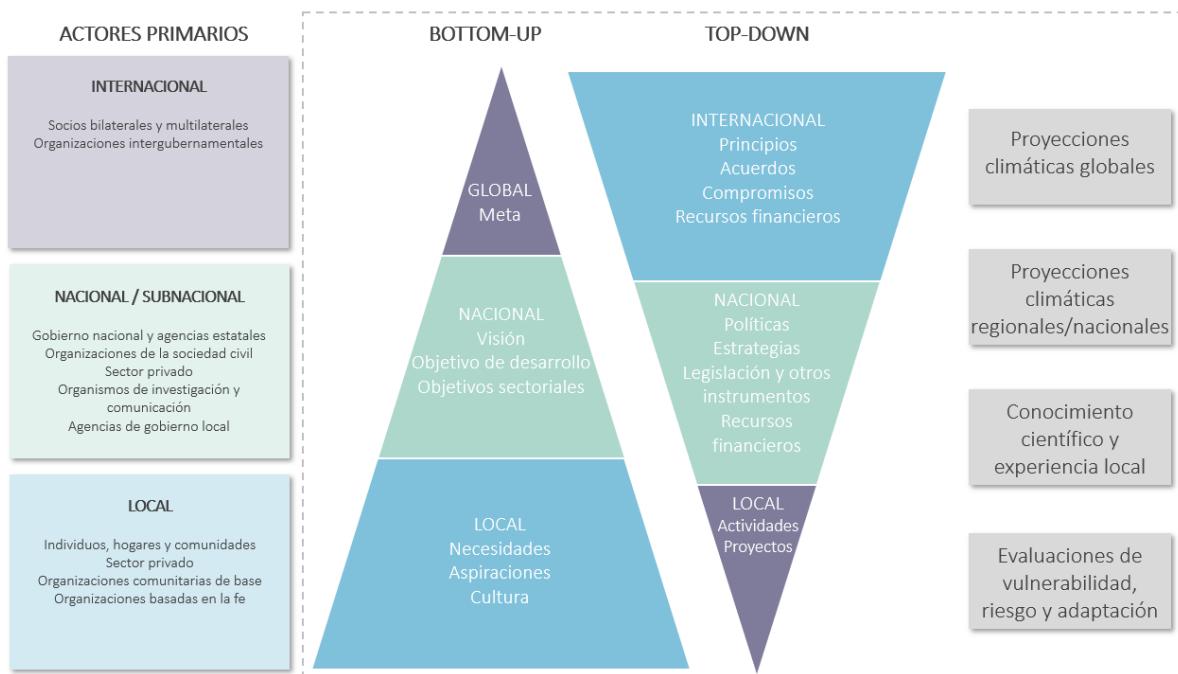


Figura 11. Actores y acciones de las estrategias para la adaptación a las nuevas condiciones climáticas. Fuente: IPCC (2012).

Una integración más estrecha entre la gestión de riesgos de desastres y la adaptación a los cambios de carácter climático, junto con la incorporación de ambas en las políticas y prácticas de desarrollo a nivel local, nacional e internacional, puede generar beneficios en todas las escalas. Esta integración no solo fortalece la capacidad de respuesta frente a desastres inmediatos, sino que también facilita la adaptación a fenómenos extremos a largo plazo. Abordar aspectos como el bienestar social, la calidad de vida, las

infraestructuras y los medios de subsistencia, incorporando un enfoque de múltiples riesgos en la planificación y acción ante desastres, contribuye a construir resiliencia frente a futuras amenazas climáticas, tal como se reconoce cada vez más a nivel internacional. Asimismo, las estrategias y políticas resultan más efectivas cuando consideran múltiples factores de presión, valores diversos y prioridades de carácter económico, social y ambiental. Este enfoque integral permite una planificación más realista y adaptable, capaz de responder a la complejidad de los riesgos climáticos y sociales de manera sostenible.

6. Conclusiones

A lo largo de este estudio se han identificado las principales afectaciones que el territorio valenciano enfrenta como consecuencia de los cambios en las condiciones climáticas. Los fenómenos meteorológicos extremos ya no son ni serán sucesos excepcionales, sino realidades recurrentes que exigen una respuesta estructural, sostenida y coordinada por parte de las administraciones públicas. Ante esta situación, es necesario apostar por modelos de gestión y desarrollo capaces de mitigar los efectos de los cambios de carácter climático, haciendo hincapié en aspectos clave como son la seguridad hídrica, la eficiencia en la gestión del agua y la sostenibilidad ambiental, garantizando así la protección de la salud de las personas, la preservación de los recursos naturales y la continuidad de los servicios públicos. Estos impactos se manifiestan fundamentalmente a través de fenómenos extremos como inundaciones y períodos de sequía, que ponen a prueba la capacidad de gestión de los recursos hídricos y la resiliencia de las infraestructuras asociadas.

La DANA que tuvo lugar el 29 de octubre de 2024 en Valencia debe constituir un punto de inflexión en la gestión de emergencias climáticas y en la planificación de infraestructuras hidráulicas, no solo en el ámbito de la Comunidad Valenciana sino en todo el territorio nacional. Los daños observados en infraestructuras hidráulicas, de transporte y servicios básicos evidencian la necesidad de avanzar hacia una modernización integral del sistema de gestión urbana e hidráulica, reforzando la capacidad de prevención y respuesta ante emergencias.

Actualmente, resulta imprescindible integrar la adaptación a las nuevas condiciones climáticas en la planificación territorial, en el diseño de obras públicas y en la rehabilitación de las existentes. En este contexto, invertir en la mejora y protección de las infraestructuras hídricas no es solo una cuestión técnica, sino una prioridad social y estratégica para asegurar el desarrollo sostenible y la calidad de vida de la ciudadanía. La adaptación, más que una reacción puntual, debe verse como parte de un proceso de transformación social. Su objetivo no es solo responder a los impactos del cambio climático, sino también promover la cooperación, el aprendizaje compartido y los cambios estructurales que permitan a las comunidades estar mejor preparadas ante futuros desafíos. En este sentido, aprender de la experiencia y compartir conocimientos entre diferentes actores y niveles de gestión son elementos esenciales para mejorar la respuesta colectiva.

Para abordar estos desafíos es necesario implementar estrategias integradas que permitan una gestión eficiente y sostenible del agua, combinando medidas de adaptación, mitigación y planificación territorial. Entre los elementos clave que deben formar parte de esta estrategia destacan:

- Red de agua regenerada: La utilización de agua regenerada y su integración en el ciclo urbano permite no solo reducir la demanda sobre los recursos hídricos convencionales, sino también promover los principios de la economía circular, valorizando un recurso que de otro modo se desperdiciaría y generando ventajas ambientales y económicas significativas.
- Red separativa de aguas de lluvia: La separación del agua pluvial del sistema de saneamiento convencional contribuye a reducir el riesgo de desbordamientos y permite un aprovechamiento más eficiente de las precipitaciones, ya sea para recarga de acuíferos, riego urbano o usos recreativos y paisajísticos.
- Incremento de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): La implementación de SUDS, como pavimentos permeables, jardines de lluvia, cubiertas ecológicas y humedales urbanos, favorece la infiltración, retención y filtrado del agua de lluvia, mitigando la escorrentía urbana y reduciendo la presión sobre las infraestructuras de drenaje tradicionales.

- Digitalización y sistemas de monitorización: La gestión en tiempo real de los recursos hídricos se fortalece mediante herramientas digitales y sensores que permiten controlar, anticipar y optimizar el uso y la distribución del agua, mejorando la respuesta frente a episodios de sequía o lluvias intensas y facilitando la planificación operativa y estratégica.

La combinación de estos elementos, integrados de manera coordinada, constituye un enfoque robusto para adaptar el territorio valenciano a los efectos del cambio climático, garantizando la sostenibilidad de los recursos hídricos, la resiliencia de las infraestructuras y la seguridad de la población frente a fenómenos extremos. La estrategia propuesta refuerza la necesidad de una gestión proactiva, basada en la innovación, la economía circular y la planificación urbana sostenible.

7. Referencias

- Asif, Z., Chen, Z., Sadiq, R., & Zhu, Y. (2023). Climate change impacts on water resources and sustainable water management strategies in North America. *Water Resources Management*, 37(6), 2771-2786.
- Blunden J, Arndt DS, Bissolli P et al (2020) State of the climate in 2019. *Bull Am Meteorol Soc* 101:S1–S8. https://doi.org/10.1175/2020BAMSSTATEOFTHECLIMATE_INTRO.1
- Davidsson, Å. (2020). Disasters as an opportunity for improved environmental conditions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48, 101590.
- Garrote, L. (2017). Managing water resources to adapt to climate change: facing uncertainty and scarcity in a changing context. *Water Resources Management*, 31(10), 2951-2963.
- Hernández-Chover, V., Bellver-Domingo, Á., Castellet-Vicianco, L., & Hernández-Sancho, F. (2024). AI applied to the circular economy: An approach in the wastewater sector. *Sustainability*, 16(4), 1365.
- Hernández-Chover, V., Castellet-Vicianco, L., Bellver-Domingo, Á., & Hernández-Sancho, F. (2022). The potential of digitalization to promote a circular economy in the water sector. *Water*, 14(22), 3722.
- IPCC (2012) Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M.

Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

Lee EJ, Criddle CS, Geza M, Cath TY, Freyberg DL (2018). Decision support toolkit for integrated analysis and design of reclaimed water infrastructure. *Water Res* 134:234–252. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.037>

Lee, K., y Jepson, W. (2020). Drivers and barriers to urban water reuse: A systematic review. *Water Security*, 11, 100073.

Martin-Moreno, J. M., Garcia-Lopez, E., Guerrero-Fernandez, M., Alfonso-Sanchez, J. L., & Barach, P. (2025). Devastating “DANA” Floods in Valencia: Insights on Resilience, Challenges, and Strategies Addressing Future Disasters. *Public Health Reviews*, 46, 1608297.

MITECO, 2022. España Digital 2026.

MITECO, 2025. Informe de recursos hídricos 27 de octubre de 2025.

Müller AB, Avellán T, Schanze J (2022) Translating the ‘water scarcity – water reuse’ situation into an information system for decision-making. *Sustain Sci* 17. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01077-9>

Noto, L. V., Cipolla, G., Francipane, A., & Pumo, D. (2023). Climate change in the mediterranean basin (part I): Induced alterations on climate forcings and hydrological processes. *Water Resources Management*, 37(6), 2287-2305.

Ogungbire, A., & Mitra, S. K. (2024). Unlocking telecommuting patterns before, during, and after the COVID-19 pandemic: An explainable AI-driven study. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 28, 101244.

Rahmani, F., & Fattahi, M. H. (2024). Investigation of alterations in droughts and floods patterns induced by climate change. *Acta Geophysica*, 72(1), 405-418.

Rezaei, N., Caicedo, J. D., Wenzel, T. P., Todd-Blick, A., Fujita, K. S., Poliziani, C., ... & Spurlock, C. A. (2025). Zooming in on virtual commutes: Telecommuting impacts on mobility and sustainability. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 143, 104731.

Sarku R, Appiah DO, Adiku P et al (2021) Digital Platforms in Climate Information Service Delivery for Farming in Ghana. In: African Handbook of Climate Change Adaptation. pp 1–3.

Schwarz B, Pestre G, Tellman B et al (2018) Mapping Floods and assessing Flood vulnerability for disaster Decision-Making: a Case Study Remote sensing application in Senegal. In: Earth Observation Open Science and Innovation.

Tsegaye S, Missimer TM, Kim JY, Hock J (2020) A clustered, decentralized approach to urban water management. Water (Switzerland) 12. <https://doi.org/10.3390/w12010185>

Xiang X, Li Q, Khan S, Khalaf OI (2021) Urban water resource management for sustainable environment planning using artificial intelligence techniques. Environ Impact Assess Rev 86. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106515>

Zhang Y, Shen Y (2019) Wastewater irrigation: past, present, and future. Wiley Interdiscip Rev Water 6:e1234. <https://doi.org/10.1002/wat2.1234>