

Capítulo segundo

La gestión del agua en las ciudades

Jesús Mateos Robledo

Resumen

El agua en las ciudades es un pilar fundamental para la sociedad. Gran parte del tejido económico de los entornos urbanos dependen directa o indirectamente de este preciado recurso. Garantizar en cantidad y calidad este bien básico es uno de los retos a los que se enfrentan la sociedad mundial en esta década.

El crecimiento demográfico de las ciudades en todo el mundo incrementará las tensiones actuales en los sistemas de abastecimiento de agua potable. Según las previsiones actuales, una gran parte de la población urbana mundial vivirá en ciudades con escasez hídrica permanente. Estos escenarios serán más recurrentes en territorios que, en la actualidad, gozan de una situación hídrica favorable. La crisis climática está incrementando los episodios de estrés hídrico en muchas regiones. Se prevé que los escenarios futuros de este fenómeno no serán nada favorables y posiblemente pondrán a prueba los sistemas de abastecimiento de agua potable de los mayores núcleos poblacionales de nuestro planeta.

En el futuro, será vital desarrollar planes que fomenten una mejor gestión y gobernanza de los recursos hídricos en las ciudades. Es un objetivo global y de carácter multilateral en el que todos los Estados

deben formar parte del cambio hacia una transición que brinde soluciones positivas y proactivas con el cuidado ambiental. Si no se actúa de forma conjunta, todos los países se verán afectados de una manera u otra por la escasez hídrica que habrá en las ciudades.

Palabras clave

Escasez hídrica, Gobernanza del agua, Agua del grifo, Agua urbana, Ciudades resilientes.

Water management in cities

Abstract

Water in cities is a fundamental pillar for society. Much of the economic fabric of urban environments depends, directly or indirectly, on this precious resource. Guaranteeing this basic good in quantity and quality is one of the challenges facing global society in this decade.

Population growth in cities around the world will increase current tensions in drinking water supply systems. According to current forecasts, a large part of the world's urban population will live in cities with permanent water scarcity. These scenarios will be more recurrent in territories that currently enjoy a favorable water situation.

The climate crisis is increasing episodes of water stress in much of the world. Future scenarios are not at all favorable, testing the drinking water supply systems of the largest population centers of our planet.

In the future, it will be vital to develop plans that promote better management and governance of water resources in cities. It is a joint global goal in which all states must be part of the change and part of the solution. If we do not act together, all countries will be influenced in one way or another by water scarcity in cities around the world.

Key words

Water scarcity, Water governance, Tap water, Urban water management, Resilient cities.

Introducción

«Estamos envenenando nuestra agua con contaminación, drenándola a través del uso excesivo y causando estragos sobre su ciclo natural a través del cambio climático y la urbanización descontrolada, con modelos insostenibles de consumo, producción y desarrollos urbanísticos. Mientras tanto, nos enfrentamos a un empeoramiento de desastres relacionados con el agua, brotes de enfermedades, escasez de agua y sequías mortales».

António Guterres (UN Water, 2023)

El crecimiento poblacional de los entornos urbanos en todo el mundo está haciendo que tome cada vez más fuerza la necesidad de analizar los retos para poder abastecer de agua potable y de un sistema de saneamiento a su población global, para garantizar unas condiciones de vida digna en las ciudades.

Las previsiones actuales son muy alarmantes y es necesario tener presente en los análisis estratégicos de Defensa Nacional los nuevos retos de los entornos urbanos relacionados con los escenarios hídricos adversos.

El número actual de población mundial que habita zonas, donde no se tiene garantizado el abastecimiento de agua y sistemas de saneamiento adecuado para proteger a la población, es muy preocupante. Esto aumentará la vulnerabilidad de la población de muchas ciudades y provocará grandes tensiones tanto sociales como económicas.

El impacto de la crisis climática está favoreciendo que las ciudades se enfrenten a fenómenos meteorológicos adversos cada vez más extremos. Una gran parte de ellas sufrirá escenarios hídricos perennes y lluvias extremas que pondrán en peligro a un gran número de personas que las habiten.

Si no se toman medidas adecuadas frente al cambio climático, la estabilidad mundial, en cuanto a seguridad y defensa, podrán verse comprometidas. Los desplazamientos demográficos del campo a las ciudades, unidos a unos escenarios de escasez hídrica, implicarán que una gran parte de la población esté expuesta a la virulencia de escenarios hídricos y económicos adversos.

Ante este complejo escenario futuro, surgen grandes oportunidades para mejorar la vida de todas las personas que habitarán las

ciudades en el futuro. Todo ello se quiere tratar en este capítulo y así evidenciar que existen soluciones a largo plazo para poder hacer más resilientes los entornos urbanos.

1 El agua y las ciudades

En el año 2022, aproximadamente 2200 millones de personas carecían de acceso a agua potable de forma segura y 3500 millones no tenían acceso a sistemas de saneamiento básicos seguros (UN Water, 2023).

La prosperidad y el bienestar de las personas en las ciudades está muy relacionado con sus fuentes de agua. Un uso responsable de este recurso unido a una buena infraestructura de drenaje urbano y red de saneamiento garantizará un mayor nivel de vida para las personas que habiten estas ciudades. «Casi la mitad de la población mundial sufre escasez de agua al menos durante cierta parte del año. Una cuarta parte de la población mundial se enfrenta a niveles de estrés hídrico extremadamente altos y utiliza más del 80 % de su suministro renovable anual de agua dulce» (UN Water, 2023).

Entendiendo como estrés hídrico, según la ONU, «cuando un territorio extrae el 25 % o más de sus recursos renovables de agua».

«A pesar de que la agricultura concentra, aproximadamente, el 70 % de las extracciones de agua dulce, los usos industriales (algo menos del 20 %) y domésticos (cerca del 10 %) son los principales motores de la creciente demanda de agua. A medida que las economías se industrializan, las poblaciones se hacen más urbanas y se amplían los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento» (UN Water, 2023).

Se estima que, en el año 2050, una población superior a la que habita actualmente en China o India vivirá en ciudades afectadas por la escasez de agua en todo el planeta. El número de personas afectadas será entre 1693 y 2373 millones, aproximadamente un tercio de la población mundial y cerca de la mitad de la que habitará en las ciudades para ese año (He *et al.*, 2021).

En el mundo existen 526 grandes ciudades (con más de un millón de habitantes), 193 de ellas están ubicadas en zonas donde existe escasez de agua, 96 se ubican en zonas con escasez de agua perpetua y otras 97 en zonas con escasez de agua estacional (He *et al.*, 2021).

Es un hecho que el crecimiento de las ciudades va a convertirlas en lugares donde surgirán los mayores retos relacionados con el suministro de agua potable a la población. Además, será necesaria su protección ante las inundaciones a través de la construcción de sistemas de saneamiento óptimos, así como la conservación de los ecosistemas y de las masas de agua disponibles en las cuencas fluviales aguas abajo.

El éxodo creciente de las zonas rurales a las ciudades no está siendo ordenado en muchos países, lo que genera así grandes retos demográficos y de ordenación del territorio.

En numerosos entornos urbanos, están surgiendo grandes áreas metropolitanas descontroladas. Estas zonas carecen de todo tipo de servicios básicos y las habitan personas que buscan una oportunidad económica que les permita sobrevivir.

Los Gobiernos locales no son capaces de poder dar una respuesta acorde al aumento poblacional que están experimentando y exponen a un gran número de sus habitantes a zonas donde no existen: sistemas de abastecimiento de agua, electricidad, saneamiento de agua residual, drenaje urbano y desarrollos urbanísticos sostenibles.

La crisis climática es uno de los principales motivos de este desplazamiento poblacional. Muchos agricultores y ganaderos de todo el mundo están viendo mermadas sus cosechas y las capacidades de sus explotaciones ganaderas. Lamentablemente, esta problemática se verá incrementada en las próximas décadas.

Desde el punto de vista de los recursos hídricos, los problemas existentes relacionados con el agua en los entornos urbanos son los siguientes:

- Escenarios de escasez de agua perpetuos.
- Eventos de fenómenos meteorológicos adversos que propician lluvias importantes que inundan grandes zonas.
- Contaminación de los recursos hídricos disponibles por vertidos industriales, agrícolas o por la escasa depuración de las aguas residuales urbanas.

Todo ello pone de manifiesto que los Gobiernos locales y regionales de todo el mundo deben comenzar a trabajar en la gobernanza del agua en las grandes ciudades. Se estima que el crecimiento de la demanda urbana mundial de agua de uso industrial y doméstico crecerá entre el 50-80 % en las tres próximas décadas (Planeta en Verde, 2022).

En los planes de actuación futuros, una herramienta importante será la innovación y el desarrollo de soluciones creativas. Muchos de los retos futuros deberán solucionarse con tecnologías y planes alejados de las soluciones convencionales.

Las tecnologías disponibles para mitigar la escasez de agua en las ciudades exigen una planificación y una gran inversión de recursos económicos. Por ello, se debe comenzar cuanto antes a trazar planes específicos de desarrollo de estas tecnologías. Se deberán priorizar las zonas en las que se detecte una mayor problemática de escasez de agua.

1.1 El agua del grifo como elemento clave de la prosperidad

Abrir un grifo y conseguir que de una pared emane agua potable, sería algo difícil de explicar a nuestros antepasados cavernarios. Un gesto algo cotidiano para una parte de la población mundial y, al mismo tiempo, inimaginable para más de dos mil millones de personas en nuestro planeta (UNU INWEH, 2023).

En el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 de la agenda 2030, promovida por Organización de Naciones Unidas, está recogido que se deberá garantizar a toda la población mundial el acceso a agua potable y saneamiento antes del año 2030. Ante los escenarios actuales, queda mucho trabajo por delante y cada vez menos tiempo para cumplir este objetivo, recogido en el plan de acción de Naciones Unidas para el año 2030.

Tener agua del grifo de calidad es sinónimo de vivir en un país que tiene capacidad suficiente para facilitar a su población un bien básico. Satisfacer la demanda de agua potable de la población es garantía de estabilidad social de un país.

La titularidad del agua a nivel mundial, salvo en casos excepcionales, es un recurso de dominio público que las administraciones se encargan de gestionar para su población. En muchos países, son las administraciones locales o regionales las encargadas de gestionar sus recursos hídricos.

El consumo de agua doméstico en todo el mundo representa una cifra cercana al 10 % del consumo de agua mundial. Aunque en cifras porcentuales pueda parecer un dato pequeño, es un eslabón vital para la paz y la estabilidad mundial.

Para la sociedad y los individuos, la prosperidad significa tener la oportunidad y la libertad de crecer sin correr riesgos. El agua

fomenta la prosperidad al satisfacer las necesidades humanas básicas, promover la salud, los medios de vida y el desarrollo económico; garantiza, además, la seguridad alimentaria y energética, y protege la integridad del medio ambiente (UN Water, 2024).

Los países con mayor calidad de vida a nivel mundial tienen, entre los beneficios básicos para su población, el abastecimiento de agua potable de calidad. Es vital legislar directivas internas que protejan este derecho básico para sus ciudadanos y llegar a acuerdos transfronterizos con países vecinos con los que se compartan cuencas hidrográficas.

Si se imaginan ciudades donde no se garantiza este bien básico, se podrá vislumbrar a personas vulnerables que no son capaces de cubrir sus necesidades básicas. Donde sería algo extraordinario poder cocinar con agua potable, higienizar los utensilios de cocina o, incluso, lavar la ropa.

«Se calcula que cerca de un millón de personas fallecen cada año a causa de enfermedades diarreicas, contraídas como resultado de la insalubridad del agua, de un saneamiento insuficiente o de una mala higiene de las manos. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, estas enfermedades se pueden prevenir: si se abordasen esos factores de riesgo, cada año se podría evitar que fallecieran unos 395 000 niños menores de cinco años» (OMS, 2023).

Todos los Gobiernos deben ser conscientes que la cooperación, en temas relacionados con el agua potable de calidad, traerá escenarios de prosperidad conjunta que guiará a la humanidad en los retos futuros.

Será vital trabajar para que existan Gobiernos locales estables y libres de corrupción. Vigilar sus prácticas en política de agua, garantizará un acceso más seguro de agua potable a toda su población. Crear organismos que les ayuden a gestionar de forma eficaz su inversión en infraestructuras y que dotará a sus regiones de una mayor protección frente a escenarios de estrés.

1.2 Gobernanza hídrica en los entornos urbanos

La gobernanza del agua no es un tema sencillo. De hecho, la gran mayoría de los ciudadanos, desconocen la complejidad que rodea a la gestión de los recursos hídricos de las regiones en las que habitan. En los países que comparten cuencas transfronterizas,

las tensiones y los intereses regionales incrementan la complejidad en torno a la gestión del agua.

Según la OCDE, se considera

«la gobernanza del agua como un medio para un fin y no un fin en sí mismo. Es decir, el abanico de reglas, prácticas y procesos (formales e informales) políticos, institucionales y administrativos a través de los cuales se toman e implementan decisiones. Los actores pueden articular sus intereses y que sus inquietudes sean tomadas en consideración, y los tomadores de decisiones rinden cuentas por su gestión del agua» (OECD, 2018).

La gobernanza del agua, en muchas regiones del mundo, es uno de los pilares fundamentales para garantizar su estabilidad geopolítica. Además, es una herramienta que busca impulsar la cooperación entre los sectores económicos, las entidades regionales e incluso los estados fronterizos.

Muchos países se ven incapaces de poder acceder a los recursos hídricos que necesitan por diversos motivos, como son: dependencia de otros países que controlan los recursos aguas arriba de la cuenca fluvial, intereses enfrentados entre los diferentes usos del agua (agrícola, industrial y doméstico) dentro de un territorio, fragilidad legislativa entre las entidades involucradas en la gestión hídrica y la contaminación de las fuentes de captación para abastecer a la población.

«Las funciones y responsabilidades de la gestión del agua en las ciudades se distribuyen entre los diferentes niveles de gobierno y una amplia gama de partes interesadas, como las autoridades de gobierno, los proveedores de servicios, los reguladores y las organizaciones de cuencas hidrográficas» (OECD, 2016).

La gobernanza del agua en los territorios está cada vez más tensionada por la acción de la crisis climática. Las cuencas transfronterizas de todo el planeta se enfrentan cada vez a más retos. Un factor clave está siendo el aumento de la frecuencia de escenarios de estrés hídrico.

La estabilidad y el crecimiento económico de las ciudades tiene una gran influencia en la gestión de los escenarios de escasez hídrica. Estos escenarios, generarán importantes conflictos de interés entre las entidades gestoras del agua, el sector agroalimentario y el sector industrial. La cooperación y colaboración,

entre los diversos grupos de interés, impulsarán el desarrollo de herramientas que garantizarán las necesidades de todos los actores involucrados.

Los Gobiernos de las ciudades, junto con los diversos Gobiernos regionales y estatales, deberán trazar planes estratégicos que garanticen el acceso del agua potable a su población, de modo que traten de minimizar el impacto sobre los demás sectores que componen la economía e impulsar una convivencia sostenible que salvable su competitividad económica.

Es obligación de los Gobiernos establecer organismos y legislaciones que salvaguarden las buenas prácticas en materia de gobernanza del agua. Si no se actúa, por parte de las entidades que gobiernan, se estará desaprovechando una oportunidad clave para garantizar la convivencia entre los poderes económicos, sociales y legislativos.

1.3 Financiación para adaptar las ciudades a los nuevos escenarios hídricos

La adaptación de las ciudades a los nuevos escenarios hídricos requiere de una gran inversión. Actualmente, esta inversión está muy por debajo de la velocidad de crecimiento demográfico de las grandes urbes en todo el mundo. Siendo más significativo en países con economías menos desarrolladas.

Los países con menos recursos serán los más expuestos a las consecuencias derivadas, tanto de los nuevos escenarios hídricos como del crecimiento vertiginoso y descontrolado de sus núcleos urbanos. Las entidades gubernamentales deberán centrar sus esfuerzos en crear planes que mitiguen las consecuencias de estos nuevos desafíos.

Se estima que la inversión global necesaria para alcanzar los objetivos descritos en la agenda 2030 deberá ser de, aproximadamente, 1,04 billones de dólares anuales (Strong *et al.*, 2020). Este valor representa casi el 1,21 % del producto interior bruto mundial. Esta inversión se verá afectada directamente por el aumento de la demanda directa e indirecta de agua, por el aumento demográfico y por la disminución de la disponibilidad de los recursos hídricos.

En la conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, COP 27, celebrada en Egipto durante el mes de noviembre del año 2022; se creó el fondo de subsidio para países con

pérdidas y daños medioambientales por la emergencia climática (United Nations Climate Change, 2022).

Posteriormente, en marzo del año 2023, se celebró una conferencia sobre el agua organizada por la Naciones Unidas, 46 años después de la celebrada en mar del Plata (Argentina). Durante la conferencia estuvieron presentes más diez mil delegados y representantes de todo el mundo. Un tema importante que se trató durante esta conferencia fue la iniciativa de Water Positive, debido a la relevancia que se le dio a la huella hídrica como vector de cambio entre las organizaciones (Zarzo y Sturniolo, 2023).

La iniciativa Water Positive, es una gran oportunidad para canalizar grandes fuentes de inversión en proyectos que tienen como objetivo, fomentar una huella hídrica positiva y compensar el consumo de agua a través del impulso de proyectos que generan un impacto positivo con respecto a este consumo de agua. Poniendo en valor el recurso y evitando, así, términos especulativos derivados de transacciones económicas ligadas a un mercado.

A finales de ese mismo año, durante el mes de noviembre del año 2023, se celebró la COP28 en Emiratos Árabes Unidos. En esta cumbre, los delegados de los países participantes acordaron la entrada en funcionamiento, asimismo, se anunciaron contribuciones inmediatas por un total de cuatrocientos millones de dólares para los países con menos recursos que sufren los impactos del cambio climático (McGrath, 2023).

Garantizar la robustez de estos sistemas de financiación impulsará proyectos que adapten las ciudades a las nuevas necesidades climáticas. Esto será una oportunidad para los países que cuentan con menos recursos económicos y mejorará tanto la calidad de vida en sus ciudades como su resiliencia económica.

Desde las entidades públicas, se deberá estimular la colaboración público-privada con inversiones para construir nuevas infraestructuras. Es una forma de atracción de inversión, de modo que consigue dotar a la población de unos mejores servicios en abastecimiento y saneamiento de agua. Esto será una de las claves para poder conseguir los objetivos contemplados en la Agenda 2030.

Si no se toman medidas efectivas, se crearán desequilibrios muy importantes en las regiones con menos recursos. Estos desequilibrios desencadenarán tensiones geopolíticas a nivel global, amplificadas por los escenarios de escasez de agua permanentes y una población cada vez más vulnerable.

1.4 Un gran reto para el agua urbana: las megaurbes africanas

El continente africano será la región del planeta en la que se va a experimentar un mayor crecimiento de su población urbana en las próximas décadas. Se estima que para el año 2033 habrá más africanos viviendo en las ciudades que en las zonas rurales. A ello se le suma que, para el año 2050, se duplicará su población y aumentará el número de personas que habitarán en las periferias de las ciudades sin ningún acceso a agua corriente y otros servicios¹.

En la actualidad, la mitad del África subsahariana vive en esas periferias. Los retos de los Gobiernos locales de estas ciudades son uno de los temas más importantes que se deberán solucionar en un futuro cercano.

«En el África Subsahariana, el crecimiento demográfico, la rápida urbanización, el desarrollo económico, el cambio de los estilos de vida y los patrones de consumo están incrementando la demanda de agua en toda esta región. Gran parte de su población sufre escasez económica de agua, ya que, a menudo, la infraestructura hídrica es inadecuada (o inexistente) y la gestión de los recursos hídricos es deficiente, debido, principalmente, a la falta de financiación. Además, la calidad del agua parece estar deteriorándose considerablemente» (UN Water, 2024).

Para el año 2050, se espera que la demanda de agua en el África subsahariana se dispare en un 163 %, cuatro veces la tasa de cambio en comparación con América Latina, la segunda región con más demanda, la cual se espera que experimente un aumento del 43 % en la demanda de agua (Unesco, 2024).

«África es el continente que tiene la mayor proporción de cuencas transfronterizas. Según las estimaciones cubren el 64% del territorio. La cooperación transfronteriza, puede facilitar el acercamiento de los Estados ribereños y las partes interesadas, con el fin de promover conjuntamente la seguridad hídrica, energética y alimentaria. De los 72 acuíferos transfronterizos cartografiados en África (que discurren por debajo del 40 % del territorio), tan solo se han establecido acuerdos de cooperación en siete» (Unesco, 2024).

¹ Véase: <https://www.worldometers.info/world-population/africa-population/>

Estos datos evidencian la importancia de llevar a cabo políticas regionales que aborden los retos derivados de escenarios de estrés hídrico futuros y fomenten la colaboración transfronteriza para garantizar el abastecimiento de agua potable a sus poblaciones, sectores agrícolas e industriales.

Muchos Gobiernos africanos están desarrollando megaproyectos urbanísticos que puedan solventar los retos demográficos que se viven en sus ciudades. Estos proyectos buscan construir ciudades que drenen el crecimiento poblacional de las zonas urbanas y garanticen unos estándares de habitabilidad a su población.

Se están construyendo ciudades rutilantes como: Diamniadio (Senegal), Nueva Capital Administrativa (Egipto), Konza (Kenia), Green City Kigali (Ruanda) (Planeta Futuro, 2023).

Diamniadio (Senegal) es una ciudad que surge por el crecimiento que ha experimentado la capital del país, Dakar, en las últimas décadas. Se ha multiplicado su población más de diez veces, lo que ha zonas altamente pobladas con insuficientes servicios básicos. Por ello, el Gobierno senegalés comenzó a desarrollar el proyecto de construcción de una nueva ciudad que mitigue los problemas demográficos futuros de Dakar.

Nueva Capital Administrativa (Egipto). El Gobierno egipcio busca construir una ciudad que ayude a mitigar los problemas existentes en El Cairo. Este megaproyecto tiene la ambición de llevar a cabo una transformación profunda de la actual capital administrativa.

Konza (Kenia). «El eterno sueño de un Silicon Valley africano». Esta ciudad es un proyecto del Gobierno nacido en el año 2008 para ser un centro de innovación tecnológico a nivel mundial. Kenia buscaba con este proyecto llegar a ser uno de los países punteros en tecnología y poder transformar su economía. La burocracia y los problemas de financiación están ralentizando cuantiosamente su construcción.

Green City Kigali (Ruanda). Los importantes retos poblacionales de Kigali, donde están creciendo de manera descontrolada nuevos barrios sin ninguna ordenación, han llevado al Gobierno a desarrollar el proyecto de una nueva ciudad con el fin de garantizar una solución sostenible e inclusiva para las personas que la habiten.

Solo el futuro podrá decir si estos ambiciosos proyectos poblacionales podrán llegar a ser parte de la solución del crecimiento urbano que se vivirá en África. Todos estos proyectos se enfren-

tan a importantes retos de financiación para su construcción. Más adelante, uno de los mayores retos será conseguir repoblar estas nuevas ciudades.

Los Gobiernos africanos están ante una gran oportunidad para construir ciudades que generen entornos favorables para la sostenibilidad y el bienestar de las personas. Una de las claves será catalizar el crecimiento de las ciudades y desarrollar planes ambiciosos de ordenación urbana centrados en la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Estos proyectos precisarán de una importante financiación y de una estabilidad política duradera que permita establecer planes estratégicos a largo plazo. Conseguir un entorno digno para las personas que habiten estas mega urbes será de suma importancia tanto para los escenarios geopolíticos como económicos futuros.

El futuro del planeta y de las generaciones futuras dependerá de los planes que se aborden para acometer soluciones a los retos hídricos que se plantean en los entornos urbanos africanos. Es responsabilidad de todos los Gobiernos participar activamente en la consecución de proyectos que garanticen unos servicios básicos como son: el acceso a agua potable, electricidad y sistema de redes de saneamiento.

La inacción en política hídrica de los países africanos podría provocar una crisis demográfica y económica de dimensiones desconocidas. Por ello, es necesario seguir trabajando en dar una solución real a los retos hídricos de las futuras mega urbes africanas.

2 Adaptación de las ciudades en la mitigación de los efectos producidos por los eventos climáticos adversos

¿Te imaginas que el acumulado anual de precipitaciones de una región se concentre únicamente en cinco o seis episodios de lluvia torrencial? Esto es lo que está pasando en numerosas ciudades en todo el mundo, influido por la emergencia climática que se está viviendo en la actualidad.

Muchas ciudades se están viendo afectadas por lluvias intensas y abundantes, de modo que llegan a acumularse en un corto período precipitaciones con más de trescientos litros por metro cuadrado. Estos eventos son increíblemente destructivos y, si no se disponen de infraestructuras de protección, pueden suponer un importante número de vidas humanas e importantes costes económicos.

Por desgracia, cada vez es más habitual leer noticias de lluvias torrenciales que afectan a ciudades de todo el mundo. De hecho, existen numerosos ejemplos en todos los continentes, de eventos meteorológicos adversos, que han producido importantes inundaciones en los entornos urbanos.

Los nuevos escenarios climáticos están obligando a replanificar los sistemas de drenaje de las ciudades. La frecuencia y virulencia de estos eventos meteorológicos adversos están obligando a construir infraestructuras que mitiguen los daños que producen. Absorber estos caudales se está convirtiendo en uno de los mayores retos a los que se enfrentan los sistemas de drenaje urbano a nivel mundial.

Desde el año 2000, los desastres relacionados con inundaciones han aumentado un 134 % en comparación con las dos décadas anteriores. La mayoría de las muertes y pérdidas económicas relacionadas con las inundaciones se han producido en Asia (Naciones Unidas, s. f.).

Los diez desastres climáticos más importantes ocurridos durante el año 2022 tuvieron unos costes acumulados directos cercanos a los 168 000 millones de dólares (Christian Aid, 2022). Este coste es doce veces mayor que el presupuesto destinado por el Gobierno de España al Ministerio de Defensa en el año 2023 (Ministerio de Defensa, 2022).

Estos desastres estuvieron en su gran mayoría relacionados con inundaciones debidas, principalmente, a tormentas, ciclones y huracanes. Esto evidencia la exposición, cada vez mayor, de los países y las ciudades a eventos meteorológicos adversos a nivel mundial.

2.1 Sistemas de alarma temprana ante inundaciones

La gestión de eventos meteorológicos extremos, como las lluvias torrenciales, es uno de los puntos críticos de la resiliencia hídrica de las ciudades. Estos eventos solo se pueden abordar con sistemas que impulsen la prevención y su predicción eficaz anticipada.

Recibir una alerta en el móvil horas antes de que se produzca un desastre natural puede salvar muchas vidas. Este tipo de alertas se conocen como *sistemas de alarma temprana* y tienen como objetivo reducir los riesgos de exposición de las personas a eventos extremos que puedan provocar desastres naturales.

Crear sistemas eficaces que prevengan e informen a la población es la mejor forma de reducir los daños y las muertes provocadas por las inundaciones. Estos sistemas son complementarios a la construcción de infraestructuras de protección frente a las inundaciones. Para ello, se deberá seguir trabajando paralelamente en la planificación y construcción de esas infraestructuras.

«La Organización de Naciones Unidas, define los Sistemas de Alarma Temprana como: «Un sistema integrado de monitoreo de peligros, pronósticos y predicción, evaluación de riesgos de desastres, comunicación y actividades de preparación de sistemas y procesos que permiten a los individuos, comunidades, gobiernos, empresas y otros actores a tomar medidas oportunas para reducir los riesgos de desastres ante eventos peligrosos» (UNDRR, s. f.).

«Durante décadas, la ciencia y las agencias estatales han estado desarrollando Sistemas de vigilancia y predicción hidrometeorológica. Recientemente, se han llevado a cabo mejoras en la resolución de los modelos, la representación del proceso, la parametrización, el análisis de datos y la eficiencia computacional de predicción numérica avanzada meteorológica e hidrológica. Los sistemas de predicción de alerta temprana se han beneficiado de ello por igual» (Najafi *et al.*, 2024).

Este perfeccionamiento de los sistemas de predicción meteorológica y de los programas de modelado digital impulsará el desarrollo de sistemas de alarma temprana más eficaces. Esto reducirá cuantiosamente la exposición de la población y los daños materiales derivados de estos eventos meteorológicos adversos.

En el año 2022, la Organización de Naciones Unidas creó un Plan de Acción para desarrollar e integrar sistemas de alarma temprana en todos los países del mundo entre los años 2023 y 2027. Este plan contempla unas inversiones por valor de 3100 millones de dólares en esos cinco años, lo que equivale a solo cincuenta céntimos por persona y año (Naciones Unidas, 2022).

Estos planes son una gran noticia para los países con menos recursos económicos. Serán una vía de ayuda para minimizar los daños producidos por grandes desastres naturales debidos a las lluvias torrenciales.

Si se consigue implementar a gran escala los Sistemas de Alerta Temprana, se conseguirá reducir la exposición de la población

a zonas con mayor probabilidad de sufrir un desastre natural. Estos sistemas reducirán un gran número de pérdidas humanas y garantizarán un desarrollo urbanístico más sostenible en todo el planeta.

2.2 Sistemas de drenaje urbano sostenible

Cuando se imagina una ciudad resiliente nunca se vendrá a la cabeza una imagen de una calle en la que corre el agua con gran virulencia. Sin embargo, esto es lo que sucede habitualmente en la mayoría de las ciudades que cuentan con sistemas de drenaje urbano convencional.

En los entornos urbanos convencionales existen grandes superficies de asfalto, hormigón y zonas con materiales muy poco permeables. Este tipo de materiales provocan que las calles se conviertan en grandes ríos artificiales y se multiplique la capacidad destructora de las lluvias torrenciales.

El sistema de drenaje de las ciudades convencionales está compuesto por un entramado de rejillas, canalones, tuberías subterráneas, tanques de tormentas y sistemas ideados para recoger el agua de lluvia. Cuanto mayor es la superficie urbana, estas infraestructuras van adquiriendo unas dimensiones faraónicas.

En muchas ciudades existen grandes redes de drenaje para poder recoger las aguas pluviales. Estos sistemas permiten almacenar las primeras aguas de lluvia, que podrían llegar a tener una importante carga contaminante. Esto se debe a los residuos que se almacenan en el suelo de las calles, como son: la polución, los derrames de combustibles, la basura y un gran número de partículas que van ligadas a estas aguas de lluvia.

El tratamiento y descontaminación de estas aguas, antes de su devolución a los cauces fluviales, es uno de los mayores retos al que se enfrentan un gran número de ciudades en todo el mundo. La correcta gestión de las aguas pluviales y su posterior tratamiento son esenciales para garantizar la protección de los ecosistemas fluviales de ribera, tanto a su paso por las ciudades como en la cuenca aguas abajo de estas.

Una solución a estos grandes retos, que emergen de la gestión de las aguas pluviales urbanas, son los conocidos como *sistemas de drenaje urbano sostenible*. Estos son elementos superficiales, permeables, preferiblemente vegetados, integrantes de la estructura urbana-hidrológica-paisajística y previos al sistema

de saneamiento. Están destinados a filtrar, retener, transportar, acumular, reutilizar e infiltrar el agua de lluvia hacia el terreno, de forma que no degraden e incluso restauren la calidad del agua que gestionan (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s. f.).

«El drenaje urbano sostenible se está implementando en muchas ciudades del mundo, como Portland, Oregon en los Estados Unidos y Vancouver en Canadá. En Portland, se han creado más de 500 instalaciones de gestión de aguas pluviales sostenibles, que incluyen techos verdes, pavimentos permeables, jardines de lluvia y zanjas de infiltración. Estas instalaciones han reducido la cantidad de agua que ingresa a los sistemas de drenaje convencionales y han mejorado la calidad del agua en los ríos y arroyos cercanos» (iAgua, s. f.).

Muchos de estos sistemas están inspirados en soluciones basadas en la naturaleza y buscan inspirarse en el comportamiento del agua en el medio natural y replicarlo en mayor medida en los entornos urbanos. Entre sus objetivos principales están: mejorar la permeabilidad del suelo, aumentar la cobertura vegetal, crear zonas inundables controladas y mejorar la calidad de los vertidos de agua pluvial a los ríos.

Incluir estos sistemas en los planes urbanísticos acelerará su implementación. Además, es una apuesta por la economía circular y la mejora de la calidad de vida para las personas que habitan en las ciudades.

Son soluciones que requieren de una menor inversión que los sistemas de drenaje urbano convencionales. Esto se debe a que su instalación está más localizada y descentralizada. Por ello, esta inversión se puede gestionar repercutiendo sus costes a los promotores de las futuras unidades urbanísticas.

Gracias al aumento de superficie vegetal en las ciudades, lo que ha aumentado de forma significativa las zonas de sombra, podría llevar a una importante reducción de la temperatura superficial. Todo ello conllevaría una reducción de la demanda de refrigeración en verano, aproximadamente 92 TWh/año. Este ahorro energético reduce en 29,9 Mtons las emisiones de CO₂ y considera que se emiten 0,325 kg de CO₂ para generar 1 kWh de electricidad europea (Quaranta *et al.*, 2021). Este ahorro energético equivale aproximadamente a la tercera parte de la energía eléctrica consumida en España durante 2023.

Estos datos evidencian que reverdecer las ciudades será una solución efectiva frente a la emergencia climática. Además, el CO₂ capturado por las infraestructuras con cobertura vegetal servirán como drenajes de esta molécula que influye tanto en el calentamiento global.

Abordar soluciones simbióticas basadas en la naturaleza impulsará la solución de diversos desafíos como la gestión de lluvias torrenciales y el calentamiento extremo de las ciudades durante los meses de verano. De este modo, fomenta lugares más cómodos donde las personas podrán tener una mayor calidad de vida.

Por ello, abrir la puerta de las ciudades a la madre naturaleza se está convirtiendo en una magnífica oportunidad para abordar los desafíos climáticos actuales y futuros. Esto impulsará que los entornos urbanos se adapten mucho mejor a los escenarios climáticos emergentes, lo que brinda espacios donde las personas podrán conectar con la naturaleza. Esto creará un nuevo concepto donde se podrá vivir al cobijo de la naturaleza.

3 Digitalización y agua en las ciudades

Gracias a la digitalización se pueden consultar los tiempos de espera en directo en el transporte público, conocer el consumo instantáneo de electricidad, desbloquear vehículos de alquiler, hacer los pedidos de comida desde el móvil y un sinnúmero de herramientas muy accesibles al alcance de la población en los entornos urbanos.

Las ciudades son lugares donde la digitalización está teniendo un mayor impacto, tanto en los servicios como en las personas que las habitan. Cada vez son más los servicios que se ayudan de la digitalización y buscan optimizar sus procesos y así poder acercar a sus habitantes las mejores soluciones en su día a día.

Estos avances están revolucionando los entornos urbanos contemporáneos en muchos de los países con mayor desarrollo tecnológico. Ayudar a la accesibilidad de los servicios es uno de los objetivos de todas estas herramientas nacidas en el entorno digital.

El sector del agua urbana está desarrollando un viaje vertiginoso hacia la digitalización de sus procesos. Estas mejoras harán que la gestión de los recursos hídricos y las redes de abastecimiento

sean cada vez más eficientes. Todo ello reducirá el agua desperdiciada durante los diversos procesos del ciclo del agua urbana.

En este viaje hacia la digitalización, un gran número de empresas operadoras de agua están dotando las infraestructuras hídricas con tecnología de última generación. Esto impulsará un nuevo paradigma en la gestión de los recursos hídricos gracias al mayor control sobre los parámetros críticos.

Desde un punto de vista holístico, la tecnología permitirá un control más eficiente de la gestión del agua desde su origen hasta que sea nuevamente devuelta a los ríos. Además, ayudará a encontrar mejores soluciones a los nuevos desafíos, como son la escasez de agua y el aumento de la demanda de agua en las ciudades.

Conjuntamente, la inteligencia artificial, los sistemas de internet de las cosas y la automatización podrán mejorar la eficiencia de la operación de las instalaciones de agua potable y saneamiento. Todo ello podrá reducir los consumos energéticos de los procesos industriales, vinculados tanto a la potabilización como a la depuración del agua residual.

La digitalización del sector del agua urbana está generando una coyuntura favorable para desarrollar sistemas con una gran anticipación. Esto favorecerá la mejora de la calidad de un servicio básico para la población.

Gracias a la utilización de la tecnología, se podrá conseguir un mayor impacto en la financiación de nuevas infraestructuras. Esto será posible porque se construirán infraestructuras diseñadas para las necesidades reales a través de estudios que analicen los datos empíricos obtenidos de los sistemas hidráulicos.

3.1 Oportunidades para crear infraestructuras hidráulicas más eficientes

Reducir las pérdidas de agua es uno de los principales objetivos de los operadores de agua. La escasez hídrica está motivando que sus esfuerzos se centren en mejorar la eficiencia de las redes de abastecimiento de agua potable.

«Las tecnologías inteligentes pueden transformar las actividades de mantenimiento preventivo y reducir el tiempo de inactividad. Las fugas de agua en las redes de abastecimiento de agua potable suman unos 45 mil millones de litros de agua potable por día en los países en desarrollo, lo que

equivale a hidratar a 180 millones de personas» (Richards *et al.*, 2023).

Mejorar la red de abastecimiento puede conseguirse a través de diversas actuaciones, como son: la renovación de las tuberías por antigüedad o material obsoleto, integración de sistemas de monitorización (basados en el internet de las cosas), creación de modelos digitales basados en los sistemas reales y desarrollo de aplicaciones de toma de decisión anticipativas.

Gracias a la digitalización de las infraestructuras hidráulicas, se podrán desarrollar sistemas de detección de fugas cada vez más sofisticados. Esto buscará incrementar la eficiencia de las redes de abastecimiento de agua potable, lo que reduce significativamente el agua perdida en sus miles de kilómetros de tuberías.

Uno de los hitos que tiene por delante el sector del agua urbana es implementar en sus redes de abastecimiento contadores inteligentes. Controlar instantáneamente tanto el consumo en sus tuberías como el servido a los usuarios finales permitirá detectar fugas en las redes domésticas en tiempo real.

Desde el punto de vista del usuario final, se conseguirá desarrollar proyectos de ahorro en el ámbito doméstico. Facilitar a los usuarios herramientas que les ayuden a cuantificar su consumo instantáneo de agua les impulsará a tener un consumo de agua mucho más responsable. También podrán identificar en sus instalaciones domésticas consumos anómalos de agua potable y así reducir las pérdidas indeseadas.

Las soluciones digitales permitirán a las empresas gestoras optimizar la inversión en las infraestructuras hidráulicas. Estas nuevas tecnologías propiciarán que se actúe en las zonas más sensibles a sufrir posibles averías fortuitas.

Mejorar la eficiencia de las infraestructuras hidráulicas reducirá el caudal medio tratado en las estaciones de tratamiento de agua potable y en las estaciones depuradoras de agua residual. Esto representará un importante ahorro de energía y de los costes de tratamiento.

Por todo lo anterior, la digitalización de los procesos será un importante aliado para superar los retos actuales de las redes de abastecimiento. Una inversión inteligente para impulsar esta revolución tecnológica en las infraestructuras será el inicio de un futuro más prometedor donde se cuiden mucho más los recursos hídricos.

3.2 Sistemas de inspección autónomos

Inspeccionar una galería de la red de alcantarillado donde existe una gran exposición a multitud de enfermedades, inundaciones e incluso a bajas concentraciones de oxígeno. A estos ambientes se exponen a diario multitud de personas que trabajan en la inspección de las redes de alcantarillado de todo el mundo.

En las ciudades, existe un gran número de kilómetros de conducciones bajo tierra que transportan tanto el agua potable como el agua residual. La vigilancia, mantenimiento y renovación de estas redes son un gran reto para las empresas gestoras del ciclo del agua urbana, de modo que dedican una gran cantidad de recursos económicos y humanos a estas tareas.

Por lo general, el agua potable es conducida en tuberías estancas, denominadas conducciones a presión, que transportan el fluido desde los depósitos principales hasta los grifos de los consumidores finales. Históricamente, su inspección ha sido únicamente visual, desconociendo el estado interior de las tuberías o afecciones en las amplias zonas donde están enterradas.

Sin embargo, las redes del alcantarillado urbano conducen las aguas por tuberías, galerías e infraestructuras donde el agua, la mayoría del tiempo, no ocupa todo el volumen de la conducción, esto se conoce como tuberías en gravedad. Por ello, en estas infraestructuras, los trabajadores realizan, periódicamente, inspecciones visuales interiores en zonas que se conocen como visitables por sus dimensiones.

El desarrollo tecnológico y la digitalización de procesos están haciendo posible una gran revolución en el mantenimiento preventivo y predictivo del sector del agua urbana. Cada vez es más habitual utilizar dispositivos autónomos que permiten realizar tareas de inspección que antes eran imposibles de poder llevarse a cabo y con un alcance de detalle inimaginable hasta la fecha.

En las tuberías de agua potable, gracias a la digitalización de los procesos, se ha incrementado cuantiosamente el número de sensores de medida de los parámetros más importantes. Esto ha abierto una gran ventana de oportunidad para desarrollar sistemas de predicción de anomalías de funcionamiento, a través de las medidas indirectas, brindadas por todos los sensores instalados en la red.

Además, se ha llegado a probar dispositivos autónomos que son introducidos dentro de las tuberías capaces de detectar fugas

potenciales y obtener un modelo digital por donde discurre realmente la traza de las tuberías. Todo ello sin afectar a la garantía y calidad de este servicio básico para la sociedad.

Centrándose en los sistemas de *software*, la automatización de procesos ligada al potencial de los sistemas de inteligencia artificial está propiciando una gran revolución dentro de la gestión del ciclo integral del agua urbana. Se está consiguiendo llegar a unos sistemas cada vez más eficientes que, además, se anticipan rápidamente a los problemas recurrentes de la red.

En las redes de alcantarillado, la penetración de sistemas semiautónomos lleva muchos años utilizándose satisfactoriamente. Las características de estas redes han permitido desarrollar sistemas equipados con cámaras para grabar el estado interior de las tuberías y realizar trabajos puntuales de reparaciones interiores. Estos sistemas son controlados desde el exterior por un técnico especializado de forma análoga a un cirujano que opera a un paciente por laparoscopia.

Sin embargo, estos sistemas tienen limitaciones importantes cuando las tuberías discurren por zonas inaccesibles, tanto para el dispositivo como para el vehículo desde donde se controlan. Por ello, el desarrollo tecnológico de los últimos años ha permitido desarrollar nuevos sistemas totalmente autónomos que pueden llegar a zonas sin cobertura y donde el personal que mantiene las redes nunca ha podido tener acceso.

Un ejemplo de estos sistemas autónomos son los drones autónomos, que son capaces de navegar en la mayoría de la red de alcantarillado urbana. Estos equipos son desplegados desde un punto accesible y realizan su viaje de inspección hasta otro punto que puede estar a varios kilómetros de distancia. Durante esta inspección, el equipo va grabando en tres dimensiones todo el sistema de alcantarillado. Esto permite obtener un modelo digital gemelo a la red existente bajo tierra, lo que facilita una información detallada que llevará a los operadores a otra dimensión de gestión (Aguasresiduales.info, 2024).

Todos estos equipos autónomos desarrollados no buscan desplazar la mano de obra humana, sino que buscan cubrir necesidades imperantes para mejorar la gestión de las infraestructuras. Además, han marcado un hito, debido a que pueden llegar a inspeccionar zonas inaccesibles con la tecnología anterior.

La digitalización está siendo una gran oportunidad para elevar los cánones de seguridad del personal en los entornos labora-

les. Reducir la exposición de las personas a tareas con especial peligrosidad es una garantía de protección de la salud de los trabajadores.

En el futuro, la implantación de todos estos sistemas estará más generalizada. Existirán multitud de dispositivos circulando a diario por las infraestructuras hidráulicas urbanas y garantizarán un excepcional servicio esencial para toda la población que habitará en las ciudades.

3.3 Ciberseguridad en el sector del agua urbana

La digitalización está produciendo una de las mayores revoluciones en el sector del agua urbana de las últimas décadas. La velocidad de penetración tecnológica fue lenta en sus inicios, pero con el paso de los años se ha ido incrementado y, en la actualidad, se está experimentando una gran velocidad de cruce de implantación tecnológica.

Los proyectos de digitalización son un hecho en todos los sectores de la sociedad. La aparición de aplicaciones que facilitan tanto la vida de las personas como de las empresas es una realidad. Esto pone de manifiesto que se está ante una nueva revolución hacia un mundo más digital en todos los niveles.

Sin embargo, cuando surge un movimiento de transformación viene lleno de grandes oportunidades e incipientes peligros. De las oportunidades ya se ha ido hablando con anterioridad, seguidamente nos centraremos en los retos de seguridad a los que se va a enfrentar el mundo de la digitalización en el sector del agua urbana.

El aumento del uso de la tecnología y de las soluciones digitales incrementa la superficie de exposición a sufrir ataques cibernéticos. Este aumento de exposición requiere que la digitalización venga precedida por una correcta planificación de sistemas de seguridad robustos que reduzcan el daño ante cualquier ataque.

Vivimos en un momento geopolítico complejo, marcado por los conflictos bélicos en Ucrania y en la franja de Gaza. En los últimos años, se están intensificando el número de ataques virtuales contra gobiernos y grandes empresas de todo el mundo, lo que evidencia amplias vulnerabilidades de sistemas que almacenan una gran cantidad de datos confidenciales, tanto de personas como de organizaciones.

La vulnerabilidad a ataques de infraestructuras cibernéticas de empresas puede suponer altos costes económicos y reputacionales. Empresas de todos los sectores han sufrido un aumento de las conocidas como «megabrechas», tanto en número, escala y coste. El porcentaje de reporte de estos ataques con un coste mayor al millón de dólares ha aumentado un 36 % en los últimos tres años (PwC Global, 2023).

Cuanto mayor sea el porcentaje de digitalización de las empresas, se deberá aumentar, en la misma medida, el presupuesto dedicado a desarrollar herramientas de ciberseguridad. Si se desea una sostenibilidad digital, esta inversión es esencial para llevar a cabo procesos de digitalización seguros.

La inversión en ciberseguridad deberá ser el pilar fundamental de todos los proyectos ligados a la digitalización. Planificar la seguridad de los sistemas desde su inicio será la clave de éxito y resiliencia de los sistemas digitales. Por ello, la ciberseguridad deberá estar en el centro de la planificación de las compañías en esta nueva era digital.

4 Regeneración de agua como elemento clave de crecimiento económico

Como se ha tratado a lo largo del capítulo, uno de los problemas más acuciantes en las ciudades es el crecimiento demográfico y el aumento de la demanda de agua potable, tanto doméstica como industrial.

A lo largo de la historia de la humanidad, el crecimiento y desarrollo económico de las ciudades ha estado ligado a la disponibilidad de recursos hídricos. Por ello, conseguir una fuente de recursos hídricos alternativa es una vía de crecimiento para aquellas zonas donde existen importantes problemas de estrés hídrico.

En esta búsqueda de fuentes alternativas de recursos hídricos se han ido desarrollando, a lo largo de los años, diversas tecnologías. Estas se han conocido como fuentes no convencionales de obtención de recursos hídricos y las tecnologías más utilizadas hasta la fecha han sido: la desalinización de agua del mar y la regeneración de agua residual a través de los procesos de depuración.

Este apartado se centrará en evaluar los potenciales del agua regenerada. Este recurso está disponible en todos los núcleos

urbanos del planeta y tiene un gran potencial para mitigar escenarios de escasez hídrica en numerosas regiones. «Las aguas regeneradas son «aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan» (España, 2007).

Los usos más extendidos de las aguas regeneradas son:

- Urbanos: riego de parques y jardines, descarga de aparatos sanitarios, limpieza de alcantarillado y calles, etc.
- Industriales: sistema de refrigeración o aguas de proceso y limpieza.
- Recreativos: sistemas de agua ornamentales como fuentes, riego en campos de golf, etc.
- Ambientales: mantenimiento de humedales y caudales mínimos o recarga de acuíferos y aguas subterráneas.
- Agrícolas: riego de pastos y de cultivos.

Sin embargo, la utilización del agua regenerada está prohibida en muchos usos, como son:

- Consumo humano (salvo catástrofe).
- La mayoría de usos para industria alimentaria.
- Uso en instalaciones hospitalarias y similares.
- Cultivo de moluscos filtradores de acuicultura.
- Agua de baño.
- Uso en fuentes y láminas ornamentales con acceso del público al agua.

Aprovechar el agua residual que llega a sus estaciones depuradoras para diversos usos del entorno urbano, como son: riego de parques y jardines, baldeo de calles, limpieza de vehículos, uso de agua industriales, etc. La utilización de este recurso brinda a las ciudades que se ubican en zonas con evidente estrés hídrico una magnífica oportunidad de crecimiento.

Alrededor de los mayores núcleos poblacionales mundiales, existen importantes centros industriales que necesitan satisfacer una gran demanda de agua. Por ello, utilizar agua regenerada para satisfacer esta demanda puede impulsar un crecimiento económico en regiones que sufren un importante estrés hídrico.

Muchas ciudades en zonas de interior se enfrentan a problemas de escasez de agua recurrentes y la gestión de los recursos hídricos disponibles es vital para su desarrollo económico. Gracias a la regeneración de agua, estas ciudades podrán disminuir el consumo de agua potable para usos urbanos, industriales y agrícolas.

A pesar de que los usos domésticos representan, aproximadamente, el 10 % de la demanda de agua dulce (Unesco, 2024), se podría llegar a satisfacer al menos la mitad de la demanda de agua de usos industriales, incluso llegar a satisfacer la demanda doméstica siempre que la legislación lo permita.

Para ello, habría que generar un cambio legislativo en muchas regiones a nivel mundial, donde se contemple un uso más extendido del agua regenerada procedente del tratamiento de las aguas residuales.

Además, uno de los mayores retos de cara a la población es la gestión a través de la divulgación, en cuanto a la seguridad de poder utilizar agua regenerada. Esto muestra a la población que este agua cumple con los requerimientos mínimos de calidad amparados por la legislación aplicable.

Para muchas personas resulta complejo conceptualmente utilizar el agua residual en usos cotidianos o domésticos, aun cumpliendo con todos los requerimientos legales de seguridad sanitaria. Esto es uno de los principales obstáculos a la hora de extender la utilización del agua regenerada en todo el mundo.

La utilización de agua regenerada, reutilizada o reciclada es una oportunidad estratégica que muchos países deberán valorar e incluir en sus políticas, para poder asegurar un desarrollo sostenible de sus entornos urbanos. Con ello, fomentarán entornos urbanos, naturales y sociales más seguros para sus habitantes.

4.1 Agua regenerada para consumo humano

Utilizar agua regenerada para consumo humano es una alternativa de supervivencia para muchas regiones de todo el mundo. La escasez hídrica está motivando que muchas ciudades valoren desarrollar planes para abastecer de agua potable a su población con este recurso no convencional. Aunque se utilizó por primera vez hace más de sesenta años en Windhoek, esta solución se ha llevado a cabo en muy pocas regiones.

En 1968, la ciudad de Windhoek, capital de Namibia, fue la primera en todo el mundo en abastecer a la población con agua regenerada apta para el consumo humano. Esta alternativa permitió tratar el agua residual, mitigó, en gran parte, la escasez hídrica de la región y garantizó una mayor resiliencia hídrica a la ciudad (Durán Ramírez, 2018).

«Debido a la falta de lluvias, la mayoría de los ríos que transcurren por Namibia, suelen disponer de caudales muy bajos y durante muchos meses del año están secos. Solo en los meses de verano, y después de registrarse intensas tormentas típicas de la época, los ríos llevan un caudal más constante de agua superficial. Por esta razón, la mayoría de las demandas de agua se abastecen, principalmente de agua subterránea» (Durán Ramírez, 2018).

Ese contexto hídrico empujó a una ciudad de interior a optar por un recurso no convencional como alternativa a su escasez de agua estructural. Esta es una solución vanguardista que todavía sigue inspirando en la búsqueda de soluciones en ciudades que sufren graves tensiones hídricas. La ciudad de Windhoek es un gran ejemplo de cómo sobreponerse a un escenario hídrico adverso.

Con el cambio de milenio, Singapur y Australia se aventuraron a promover proyectos que destinasen el agua regenerada para uso potable. El primero de ellos es un pequeño país que depende, principalmente, de recursos hídricos que no están en su territorio. Al contrario, Australia es un extenso país que tiene pocas precipitaciones anuales en muchas regiones y ha sufrido grandes sequías como la ocurrida entre los años 2000 y 2009, conocida como *la sequía del milenio*.

En ambos países se construyeron plantas de regeneración de aguas residuales, capaces de obtener una calidad apta para el consumo humano. Singapur desarrolló un proyecto que bautizó como NeWater y, desde el año 2002, sigue apostando por aumentar su capacidad de regeneración de agua. Sin embargo, las autoridades australianas no han terminado apostando por el agua regenerada para el consumo humano.

En 2020 se aprobó en España el Plan de Emergencia en situación de sequías de Cataluña. En dicho plan se introdujo un uso de agua regenerada, como fuente indirecta previa a su potabilización. Para ello, se debe activar la emergencia por sequía y que los embalses de la cuenca Ter-Llobregat estén por debajo

del 25 % de su capacidad de agua embalsada (Generalitat de Catalunya, 2020).

Durante el año 2023, se aprobaron, en los Estados de Colorado y California leyes para regenerar aguas residuales y poder abastecer a la población con ella. Esto fue propiciado por las persistentes sequías que llevaban sufriendo durante años ambas regiones estadounidenses. Además, con esta nueva legislación se abrió la posibilidad de recargar acuíferos de forma generalizada.

El Estado de Colorado fue el primero en los Estados Unidos de América que desarrolló una legislación que contemplase el abastecimiento a la población con agua regenerada. Esta normativa fue aprobada de forma preliminar en el otoño de 2022 por la Comisión de Control de la Calidad del Agua como parte de las disposiciones principales del Estado sobre el agua potable (Colorado Department of Public Health & Environment, 2023).

Posteriormente, el Estado de California aprobó una ley que contemplaba también el abastecimiento de la población con agua regenerada. Aunque muchas entidades gestoras de agua han utilizado este recurso durante décadas para regadío, usos industriales y recarga de acuíferos. Con esta norma se buscó garantizar que el agua regenerada para abastecer a la población cumpliera con todos los estándares de salud pública (James, 2023).

Otro hito alcanzado durante ese año fue la puesta en marcha del sistema de agua regenerada para abastecer indirectamente a la población en la región española de Cataluña. Este escenario propició que se enviaran al río Llobregat, hasta un 25 % del caudal tratado por la principal estación de tratamiento de agua potable de la ciudad de Barcelona (iAgua, 2023). Esto marcó un punto de inflexión para los usos de agua regenerada en España, donde la normativa no permite utilizar el agua regenerada para consumo humano; lo que significa la primera vez donde se ha utilizado este recurso no convencional para abastecer indirectamente a la población.

Para alcanzar el hito de abastecer a la población con agua regenerada, se deberán superar varias barreras, como son: la educación de la población, para concienciarla que el agua regenerada es un recurso seguro para la salud y la construcción de nuevas instalaciones que aumente la disponibilidad de este recurso en las ciudades.

El agua regenerada se está convirtiendo en una salida viable, eficaz y segura para entornos urbanos que sufren escasez hídrica.

Por ello, planificar la construcción de instalaciones que consigan mitigar su déficit hídrico será una vía importante para garantizar el abastecimiento de la población de estas ciudades.

4.2 Singapur un caso de éxito de regeneración de agua

Ser uno de los principales centros comerciales y financieros del mundo no es garantía de acceso ilimitado a los recursos hídricos. Singapur tiene una dependencia vital de su país vecino (Malasia) en temas de gestión hídrica, y llega a importar más del 30 % de su consumo de agua potable desde este país.

«La ciudad-estado es el país más pequeño del Sudeste Asiático. Cuenta con una población cercana a los 5 millones de habitantes, tiene un territorio con una superficie aproximada de 720 km² y está formado por más de 73 islas. Es uno de los países con mayor PIB per cápita y dispone del segundo puerto más importantes del mundo en gestión de mercancías» (Perero, 2016).

El abastecimiento de agua potable de la ciudad-estado depende, sobre todo, del río Johor. Este río es el principal del Estado malasio de Johor, tiene una longitud de 123 km y está enmarcado en una cuenca de, aproximadamente, 2636 km². Las entidades que gestionan esta fuente hídrica son la Syarikat Air Johor, SAJ (o compañía de agua de Johor) y la compañía de servicios públicos de Singapur (PUB, por sus siglas en inglés).

«Actualmente, cerca de un 30 % del suministro de Agua, proviene de la vecina Malasia bajo un contrato cuya duración está establecida hasta 2061, otro 30 % de los 17 embalses que han construido, sin casi posibilidad de poder ampliar su número y su capacidad, un 10 % del agua proviene de la desalación y el resto, cerca del 30 %, de aguas reutilizadas» (Perero, 2016).

Desde su expulsión de la república de Malasia en 1965, la relación política entre la ciudad-estado y el país ha experimentado algunas fricciones en las que el agua fue un tema de disputa. Se firmaron diversos acuerdos que garantizaron parte de su abastecimiento de agua potable. Algunos de ellos están activos en la actualidad.

Para entender este conflicto geopolítico relacionado con el agua, es importante conocer los acuerdos en materia de gestión hídrica, firmados a lo largo del siglo xx por los Gobiernos de Singapur y Malasia.

Los acuerdos firmados hasta la fecha son los siguientes (Flora, 2021):

- **Acuerdo de 1927.** Fue firmado el 5 de diciembre de 1927 por los Comisionados Municipales de la Ciudad de Singapur y el sultán Ibrahim II, el sultán de Johor. A Singapur se le permitió alquilar una superficie de 8,5 km² de tierra en Gunong Pulai, en el Estado malasio de Johor, para el suministro de agua bruta. Por su parte, Johor podría disponer de agua potable tratada desde Singapur. Este acuerdo ya no está vigente.
- **Acuerdo de 1961.** La Federación de Malaya firmó un acuerdo el día 1 de septiembre de 1961 que otorgaba a Singapur el derecho a extraer agua bruta del embalse de Poncio y de los ríos Tebrau, Skudai y Gunung. A cambio, Singapur debía suministrar a Johor diariamente el 12 % del agua extraída. Este acuerdo expiró sin renovación en el año 2011.
- **Acuerdo de 1962.** El 29 de septiembre de 1962, se firmó un acuerdo que permitía extraer a Singapur agua del río Johor. Este acuerdo, que está actualmente vigente hasta el año 2061, se revisó en el año 1986 y 1987.
- **Acuerdo de 1965.** El 9 de agosto de 1965, se firmó el acuerdo de separación de Singapur de Malasia. En este acuerdo se incluyó la garantía de cumplimiento de los acuerdos firmados en los años 1961 y 1962. Se presentó un documento ante la ONU, para garantizar que ninguna de las partes incumplía el acuerdo sobre agua, a pesar de sus fricciones gubernamentales.
- **Acuerdo de 1990.** Firmado el 24 de noviembre de 1990 por la Compañía de Servicios Públicos de Singapur y el Gobierno de Johor, es complementario al firmado en el año 1962. Este acuerdo permitió a Singapur construir una presa en Sungei Linggiu para extraer agua del río Johor. Singapur asumió todos los costes de la construcción y mantenimiento del proyecto. Este acuerdo tiene vigencia hasta el año 2061.

En agosto de 2002, la compañía de servicios públicos de Singapur lanzó el proyecto estratégico denominado NEWater. El objetivo principal fue poder transformar el agua residual, en una nueva fuente de agua para el abastecimiento de la ciudad-estado.

«Desde entonces hasta el año 2022, la apuesta de utilizar agua regenerada fue aumentando hasta llegar a satisfacer

un 30 % de la demanda. Para producir este recurso Singapur fue construyendo varias plantas de tratamiento de aguas, en Bedok (2002; 82 000 m³/día), Kranji (2002; 100 030 m³/día), Ulu Pandan (2007; 148 000 m³/día) y Changi (2009; dos plantas con 228 000 m³/día). Además, está prevista la ampliación de una de estas plantas (Kranji con 22 730 m³/día más) y la construcción de una nueva (Tuas) con 228 000 m³/día» (Perero, 2016).

Una de las grandes barreras a las que se han enfrentado ha sido la de concienciar a la población de la seguridad de este recurso. Han creado numerosas campañas de información a la población sobre su salubridad para el consumo. Una de ellas consistió en repartir numerosas botellas de NEWater durante las últimas décadas con el fin de mejorar la aceptación de la sociedad.

Desde sus inicios, se construyó un Centro de Visitantes de Información sobre NEWater, que ha sido galardonado con varios premios. En este centro, se han desarrollado distintos programas educativos y científicos para estudiantes, aula libre y la generación de embajadores del agua, etc. (Perero, 2016).

Uno de los objetivos del país para 2060 será poder satisfacer el 55 % de la demanda de agua durante ese año. Se debe tener en cuenta que la demanda de agua industrial irá en aumento en las próximas décadas debido, principalmente, al crecimiento de las industrias en el país y su demanda de agua.

La determinación de Singapur para obtener su independencia hídrica de Malasia está regalando al mundo un ejemplo real de la oportunidad que brinda un recurso no convencional como el agua regenerada. Además, este recurso está al alcance de todos los entornos urbanos y es una garantía de economía circular.

4.3 Agua regenerada para refrigerar grandes centros de datos

Una conversación con ChatGPT, de veinte a cincuenta preguntas, consume, aproximadamente, quinientos mililitros de agua. Si se contempla el entrenamiento previo del modelo de inteligencia artificial, el consumo subirá hasta los setecientos mil litros de agua (Shanji George, 2023).

Ante la irrupción de los sistemas de inteligencia artificial y su uso generalizado, la demanda de agua para refrigerar los centros de datos se prevé que sea cada vez mayor. Por ello, este nuevo paradigma se deberá tener en cuenta en la planificación

y así encontrar fuentes alternativas de agua que satisfagan esta demanda creciente.

La digitalización y los modelos de inteligencia artificial precisan de una gran cantidad de agua para la refrigeración de sus centros de datos. La democratización del uso de algoritmos de inteligencia artificial está impulsando un crecimiento vertiginoso de usuarios a nivel mundial de esta tecnología. Para ello, se está multiplicando la construcción de centros de datos y su consumo de agua para su refrigeración.

Además, la fabricación de los elementos que componen estos centros de datos precisa de un consumo de agua importante. Esto denota que un uso irresponsable de los modelos de inteligencia artificial podría suponer un riesgo importante para el acceso al agua potable de la población mundial.

Se estima que el consumo de agua anual para refrigerar los centros de datos de Google durante 2022 fue de 21 [hm³] (Google Sustainability, 2023). Con ese volumen de agua se podrían haber abastecido a aproximadamente a 432 633 personas durante un año (INE, 2024).

Con el fin de evitar el desplazamiento de agua potable para la población, emerge la cuestión de utilizar agua regenerada producida en las estaciones depuradoras de las ciudades. Este recurso podrá ser una fuente alternativa de agua para los futuros centros de datos.

Utilizar este recurso no convencional evitará el aumento de la sobreexplotación de los acuíferos y una mayor disponibilidad de agua para la población. Gracias a la regeneración, se evitará poner en riesgo el abastecimiento a la población y se obtendrá de sus aguas residuales un recurso clave para satisfacer las necesidades del crecimiento de los centros de datos.

Este recurso les brindará una independencia de los escenarios de estrés hídrico y promoverá un aumento de la eficiencia de la utilización de los recursos. También, acercará estas instalaciones a los grandes núcleos poblacionales, lo que optimizará aún más las redes de telecomunicaciones.

Si no se hace nada, la demanda creciente de agua de los centros de datos entrará en conflicto con la demanda de agua potable de la población. En zonas con elevado estrés hídrico, estas tensiones llevarán a tomar medidas drásticas que comprometerán el crecimiento económico y tecnológico de estas regiones.

5 Retos y oportunidades. El horizonte del agua urbana

El agua urbana se enfrenta al principal desafío de gestionar eficazmente el aumento de la demanda de agua potable, ligada al crecimiento demográfico de la población de las ciudades, en las próximas décadas. Esto propiciará que la escasez hídrica en las ciudades sea cada vez mayor y las fuentes hídricas disponibles no conseguirán satisfacer la demanda de agua urbana.

La crisis climática también pondrá a prueba todas las infraestructuras hídricas en los entornos urbanos y podrá provocar graves episodios de sequía y eventos de lluvias torrenciales. Estos desafíos deberán tenerse muy presentes en la planificación urbanística y la gestión hídrica de las ciudades a nivel global.

Los escenarios geopolíticos con tensiones crecientes serán un factor clave que podrán impulsar escenarios desfavorables para poder solucionar los retos hídricos de las ciudades en muchas partes del planeta. Si no se actúa de manera global, habrá un gran número de urbes con problemas hídricos crónicos que limitarán cuantiosamente su crecimiento social y económico.

Abrir la puerta de nuestras ciudades a la madre naturaleza incrementará notable su resiliencia hídrica. Implementar soluciones basadas en la naturaleza ayudará a construir entornos más saludables para las personas que vivirán en las ciudades.

Además, los retos financieros mundiales, pondrán a prueba la adaptación de los entornos urbanos a los nuevos escenarios hídricos. Obtener el dinero para acometer la construcción de las infraestructuras hídricas necesarias dificultará cuantiosamente su adaptación.

La digitalización será una oportunidad para el sector e impulsará nuevos modelos de gestión más eficientes. Sin embargo, expondrá notablemente las infraestructuras hídricas a ataques cibernéticos, de modo que emergerá la ciberseguridad como un elemento vital de la transformación del sector a la nueva era digital.

El agua regenerada se erige como uno de los recursos clave para enfrentarse a los nuevos escenarios hídricos urbanos. Este recurso no convencional al alcance de todas las urbes del mundo será un elemento vital para regiones con estrés hídrico crónico que deseen continuar con su desarrollo social y económico.

Otra gran oportunidad emergerá de la transformación de los hábitos de las personas en el ámbito doméstico. Existe una potencial

vía de ahorro ligada a la reducción del uso de agua potable en demandas que no lo precisan, como son: agua para el retrete, el riego de plantas, la limpieza de suelos, etc.

El sector del agua urbana mundial está ante una de sus mayores oportunidades. Por ello, debe dar un paso adelante ante las instituciones y la sociedad para reivindicar que representa un eslabón esencial para la generación de paz y prosperidad.

Queda mucho trabajo por hacer. Las instituciones deben trabajar para involucrar a la sociedad como un actor clave para la transformación de la relación de las ciudades con el agua. Sin el trabajo conjunto de las instituciones y las sociedades, nunca se llegará a superar los retos emergentes del sector del agua urbana.

No existirá una solución única para adaptarse a los nuevos escenarios hídricos. Las soluciones deberán basarse en tres pilares fundamentales como son la innovación, la creatividad y la cooperación entre países. El mundo se deberá identificar como un gran conjunto de ecosistemas compartidos por regiones que deberán colaborar en la conservación y supervivencia de estas fuentes de vida.

Bibliografía

- Aguasresiduales.info. (2024). Volando en el subsuelo: Drones hechos a medida para recorrer las redes de alcantarillado de Madrid [en línea]. *Aguasresiduales.info*. [Consulta: 25 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/volando-en-el-subsuelo-drones-hechos-a-medida-para-PvK>
- Christian Aid. (2022). Counting The Cost 2022, a year of climate breakdown [en línea]. *Christian Aid*. [Consulta: 15 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.christianaid.org.uk/resources/our-work/counting-cost-2022-year-climate-breakdown>
- Colorado Department of Public Health & Environment. (2023). *Colorado passes a new water reuse rule – the first of its kind across the nation* [en línea]. Colorado Department of Public Health & Environment. [Consulta: 20 mayo 2024]. Disponible en: <https://cdphe.colorado.gov/press-release/colorado-passes-a-new-water-reuse-rule-the-first-of-its-kind-across-the-nation>
- Durán Ramírez, X. (2018). Namibia y el agua regenerada para consumo humano [en línea]. *Iagua*. [Consulta: 20 abril 2024]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/xavi-duran-ramirez/namibia-y-agua-regenerada-consumo-humano>

- España. (2007). Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas [en línea]. *Boletín Oficial del Estado*. 19 de diciembre, núm. 294. [Consulta: 25 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/12/07/1620/con>
- Flora, K. (2021). *Singapore-Malaysia Water Conflict* [en línea]. Water Diplomacy, Aquapedia Case Study Database, MIT OpenCourseWare. [Consulta: 2025]. Disponible en: https://ocw.mit.edu/courses/11-382-water-diplomacy-spring-2021/80485514953a1f316f9536bdaa35e38a_MIT11_382s21_Klise.pdf
- Generalitat de Catalunya. (2020). Acuerdo GOV/1/2020, de 8 de enero, por el que se aprueba el Plan especial de actuación en situación de alerta y eventual sequía [en línea]. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*. 8 de enero, núm. 8039. [Consulta: 28 abril 2024]. Disponible en: <https://portaldogc.gencat.cat/utillsEADOP/PDF/8039/1778534.pdf>
- Google Sustainability. (2023). *Environmental Report 2023* [en línea]. Google Sustainability. [Consulta: 24 mayo 2024]. Disponible en: <https://sustainability.google/reports/google-2023-environmental-report/>
- He, C., Liu, Z., Wu, J. *et al.* (2021). Future global urban water scarcity and potencial solutions [en línea]. *Nature Communications*. 12(4667). [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3>
- iAgua. (2023). Cataluña inicia las pruebas para aportar agua regenerada al tramo final del río Llobregat [en línea]. *iAgua*. [Consulta: 24 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/agencia-catalana-agua/cataluna-inicia-pruebas-aporar-agua-regenerada-al-tramo-final-rio>
- iAgua. (s. f.). ¿Qué son los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS)? [en línea]. *iAgua*. [Consulta: 20 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-los-sistemas-drenaje-urbano-sostenible-suds>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2024). Estadística sobre el suministro y saneamiento del agua [en línea]. INE. [Consulta: 24 mayo 2024]. Disponible en: https://ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176834&menu=ultiDatos&idp=1254735976602
- James, I. (2023). California prepares to transform sewage into pure drinking water under new rules [en línea]. *Los*

Angeles Times. [Consulta: 20 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.latimes.com/environment/story/2023-12-17/california-sewage-potable-reuse>

McGrath, M. (2023). La COP28 aprueba el lanzamiento del fondo climático de daños y pérdidas para países vulnerables [en línea]. *BBC News Mundo*. [Consulta: 20 abril 2024]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-67586040#:~:text=Naciones%20vulnerables%20como%20Sud%20C3%A1n%20recibir%20los%20fondos%20Los,tormentas%20y%20sequ%20C3%ADas%20causadas%20por%20el%20cambio%20clim%20C3%A1tico>

Ministerio de Defensa. (2022). Los presupuestos de Defensa refuerzan las capacidades de las FAS a través de programas especiales de modernización, en el contexto de la guerra de Ucrania [en línea]. Ministerios de Defensa. [Consulta: 16 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/gabinete/notasPrensa/2022/10/DGC-221007-presupuestos-defensa.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)* [en línea]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [Consulta: 20 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/vertidos-de-aguas-residuales/vertido-desbordamiento-sistema-saneamiento-dss/vertidos-dss-sistemas-urbanos-drenaje-sostenible-suds.html>

Naciones Unidas. (2022). Alertas tempranas para todos. Naciones Unidas, Acción por el Clima. [Consulta: 16 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/es/climatechange/early-warnings-for-all#:~:text=La%20iniciativa%20Alertas%20Tempranas%20para%20Todos%20agrupa%20a%20las%20personas%20C%20sin%20dejar%20a%20nadie%20atr%20C3%A1s>

Naciones Unidas. (2023). *Blueprint for Acceleration: Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report on Water and Sanitation 2023*. Geneva, Naciones Unidas. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://digitallibrary.un.org/record/4030567?v=pdf>

Naciones Unidas. (s. f.). El agua: en el centro de la crisis climática [en línea]. Naciones Unidas. [Consulta: 15 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/es/climatechange/science/climate-issues/water#:~:text=Se%20prev%20C3%A9%20que%20los%20riesgos%20de%20sequ%20C3%ADa%20>

- e,XXI%2C%20con%20m%C3%A1s%20inundaciones%20provocadas%20por%20la%20lluvia
- Najafi, H., Shrestha, P. K., Rakovec, O. *et al.* (2024). High-resolution impact-based early warning system for riverine flooding. *Nature Communications*. 15(3726). [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48065-y>
- OECD. (2016). Water Governance in Cities [en línea]. *OECD Studies on Water*. París, OECD Publishing. [Consulta: 2025]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264251090-en>
- OECD. (2018). Implementing the OECD Principles on Water Governance: Indicator Framework and Evolving Practices [en línea]. París, OECD Publishing. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1787/9789264292659-en>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2023). Agua para consumo humano [en línea]. OMS. [Consulta: 20 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20y%20el%20saneamiento%20deficiente%20contribuyen,hepatitis%20A%2C%20la%20fiebre%20tifoidea%20y%20la%20poliomielitis>
- Perero Van Hove, E. (2016). NEWater. La aceptación social en el del agua regenerada: el caso de Singapur [en línea]. *iAgua*. [Consulta: 24 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/eduardo-perero/newater-aceptacion-social-uso-agua-regenerada-caso-singapur>
- Planeta en Verde. (2022). Megaciudades que tendrán escasez de agua en 2050 [en línea]. *Planeta en Verde*. [Consulta: 14 abril 2024]. Disponible en: <https://planetaenverde.com/ciudad-verde/megaciudades-que-tendran-escasez-de-agua-en-2050-nid-1184>
- Planeta Futuro. (2023). La fiebre de las nuevas ciudades africanas [en línea]. *El País*. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://elpais.com/planeta-futuro/2023-09-18/la-fiebre-de-las-nuevas-ciudades-africanas.html>
- PwC Global. (2023). The C-suite playbook: Putting security at the epicenter of innovation. Finding from the 2024 Global Digital Trust Insights [en línea]. *PwC Global*. [Consulta: 25 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.pwc.com/gx/en/issues/cybersecurity/global-digital-trust-insights.html>
- Quaranta, E., Dorati, C. y Postochi, A. (2021). Water, energy and climate benefits of urban greening throughout Europe under

- different climatic scenarios [en línea]. *Scientific Reports*. 11(12163). [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88141-7>
- Richards, C. E., Tzachor, A., Avin, S. et al. (2023). Rewards, risks and responsible deployment of artificial intelligence in water systems [en línea]. *Nature Water*. 1, pp. 422-431. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s44221-023-00069-6>
- Shanji George, A., Hovan George, A. S. y Gabrio Matin, A. S. (2023). The Environmental Impact of AI: A case Study of Water Comsumption by ChatGPT [en línea]. *Partners Universal International Innovation Journal (PUIIJ)*. 1(2). [Consulta: 2025]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/370202417_The_Environmental_Impact_of_AI_A_Case_Study_of_Water_Consumption_by_Chat_GPT
- Strong, C., Kuzma, S., Vionnet, S. et al. (2020). Achieving abundance: Understanding the cost of a sustainable water future [en línea]. World Resources Institute. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.wri.org/research/achieving-abundance-understanding-cost-sustainable-water-future#>
- Unesco. (2024). The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace [en línea]. París, Unesco. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388948.page=26>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (s. f.). Early warningn system. United Nations Office fo Disaster Risk Reduction [en línea]. UNDRR. [Consulta: 16 mayo 2024]. Disponible en: <http://www.undrr.org/quick/11967>
- UNU INWEH. (2023). Global Water Security 2023 Assessment [en línea]. Canadá, UNU INWEH. [Consulta: 2025]. Disponible en: <http://inweh.unu.edu/publications/>
- Worldometer.info* [en línea]. (s. f.). [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.worldometers.info/world-population/africa-population/>
- Zarzo, D y Sturniolo, A. (2023). A fondo: Análisis y pronósticos del sector de la gestión y tratamiento del agua. Conferencia de Naciones Unidas sobre agua y Water Positive [en línea]. *IndustriAmbiente*. [Consulta: 15 abril 2024]. Disponible en: https://www.industriambiente.com/media/uploads/noticias/documentos/A_FONDO-WATER-POSITIVE_eng_cast.pdf