



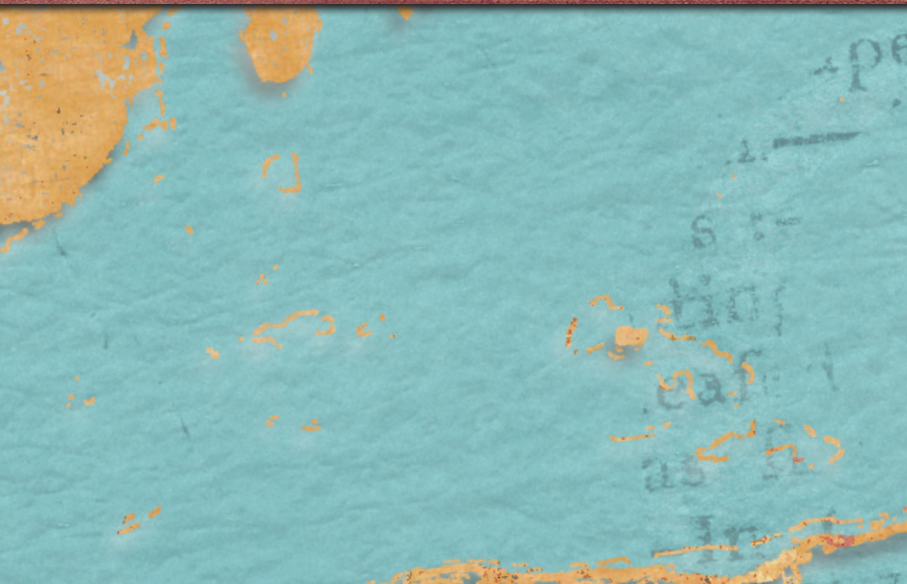
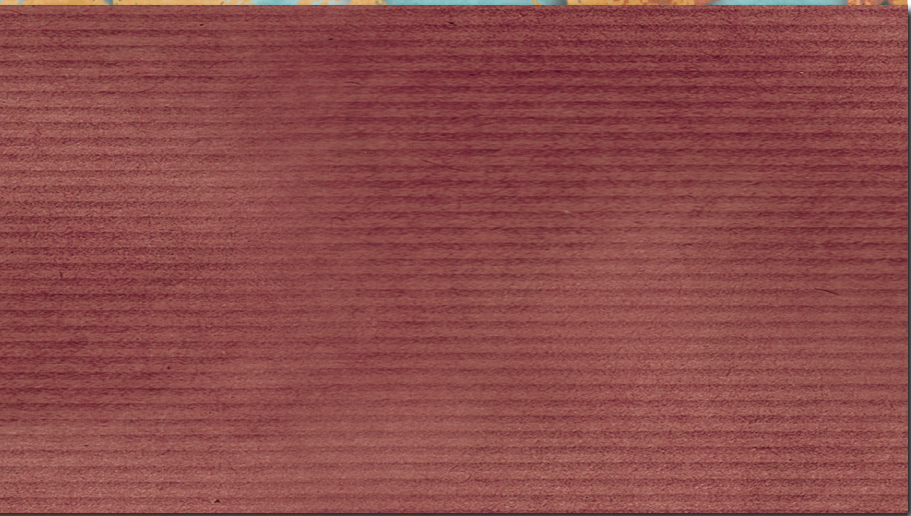
Cuaderno de Estrategia 233
Geopolítica de las aguas:
hacia un nuevo escenario hídrico

Instituto
Español
de Estudios
Estratégicos

ieeee.es
Instituto Español de Estudios Estratégicos



MINISTERIO
DE DEFENSA





Cuadernos de Estrategia 233

**Geopolítica de las aguas:
hacia un nuevo escenario hídrico**

Instituto
Español
de Estudios
Estratégicos

ieeee.es
Instituto Español de Estudios Estratégicos



MINISTERIO
DE DEFENSA



Catálogo de Publicaciones de Defensa
publicaciones.defensa.gob.es



Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado
cpage.mpr.gob.es

publicaciones.defensa.gob.es
cpage.mpr.gob.es

Edita:



Paseo de la Castellana 109, 28046 Madrid

© Autores y editor, 2026

NIPO 083-26-016-5 (edición impresa)

ISBN 978-84-1083-105-6 (edición impresa)

Cuadernos de Estrategia, ISSN 1697-6924 (edición impresa)

Cuadernos de Estrategia, ISSN 2952-3443 (edición en línea)

Depósito legal M 2986-2026

Fecha de edición: febrero de 2026

Maqueta e imprime: Imprenta Ministerio de Defensa

NIPO 083-26-017-0 (edición en línea)

Las opiniones emitidas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad de los autores de la misma.

Los derechos de explotación de esta obra están amparados por la Ley de Propiedad Intelectual. Ninguna de las partes de la misma puede ser reproducida, almacenada ni transmitida en ninguna forma ni por medio alguno, electrónico, mecánico o de grabación, incluido fotocopias, o por cualquier otra forma, sin permiso previo, expreso y por escrito de los titulares del copyright ©.

En esta edición se ha utilizado papel procedente de bosques gestionados de forma sostenible y fuentes controladas.



Esta publicación se distribuye bajo licencia CC BY-NC-ND 4.0 que permite compartir el material en cualquier medio o formato con la condición de reconocer adecuadamente la procedencia «Edita: Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica.» No se puede modificar. No se puede utilizar con fines comerciales.

ÍNDICE

	Página
Introducción	11
<i>Alfonso Muñoz Martín</i>	
Capítulo primero	
El agua como recurso estratégico	19
<i>Javier del Valle Melendo</i>	
1 ¿Es el agua dulce un recurso escaso?	21
2 Las razones de la posible crisis hídrica futura	21
2.1 Las principales problemáticas del agua: irregularidad espacial y temporal.....	21
2.2 Las crecientes demandas de agua en las sociedades avanzadas	24
3 El esfuerzo de los Estados para cubrir las demandas	30
3.1 El caso de las cuencas compartidas.....	33
3.2 El caso de los acuíferos compartidos	36
4 Las incertidumbres que plantea el cambio climático.....	37
5 Partiendo de la realidad actual, ¿cómo se prevé el futuro escenario hídrico?.....	38
6 Algunas propuestas de gestión.....	45
Bibliografía	47
Capítulo segundo	
La gestión del agua en las ciudades	51
<i>Jesús Mateos Robledo</i>	
Introducción.....	53
1 El agua y las ciudades	54

	Página
1.1 El agua del grifo como elemento clave de la prosperidad.....	56
1.2 Gobernanza hídrica en los entornos urbanos.....	57
1.3 Financiación para adaptar las ciudades a los nuevos escenarios hídricos.....	59
1.4 Un gran reto para el agua urbana: las megaurbes africanas.....	61
2 Adaptación de las ciudades en la mitigación de los efectos producidos por los eventos climáticos adversos	63
2.1 Sistemas de alarma temprana ante inundaciones	64
2.2 Sistemas de drenaje urbano sostenible.....	66
3 Digitalización y agua en las ciudades	68
3.1 Oportunidades para crear infraestructuras hidráulicas más eficientes.....	69
3.2 Sistemas de inspección autónomos.....	71
3.3 Ciberseguridad en el sector del agua urbana	73
4 Regeneración de agua como elemento clave de crecimiento económico	74
4.1 Agua regenerada para consumo humano.....	76
4.2 Singapur un caso de éxito de regeneración de agua	79
4.3 Agua regenerada para refrigerar grandes centros de datos	81
5 Retos y oportunidades. El horizonte del agua urbana.....	83
Bibliografía	84

Capítulo tercero

Gestión del agua en campamentos de refugiados..... 89

Esperanza Montero González

Introducción.....	91
1 El agua en situaciones de emergencia.....	93
1.1 Cómo iniciar una intervención: el uso de cuestionarios.....	95
2 Abastecimiento de agua potable: cantidad.....	100
2.1 Fuentes de abastecimiento de agua	102
3 Abastecimiento de agua potable: calidad	106
4 Saneamiento e higiene	110
4.1 Control de vectores.....	112
4.2 Drenaje.....	113
4.3 Manejo de cadáveres	114
4.4 Otros focos de contaminación	115
5 Elaboración de un proyecto de construcción de un campamento	115
5.1 Fases de un proyecto	115
5.2 Características de los proyectos.....	116
5.2.1 La fuente de agua	117
5.2.2 La unidad de bombeo.....	119
5.2.3 El sistema de almacenamiento	121
5.2.4 Distribución del agua: conducciones y grifos	123
5.2.5 Tratamiento de agua comunitario	124

	Página
5.2.6 Tratamiento domiciliario.....	126
5.2.7 Contenedores de agua para el transporte y el almacenamiento seguro en casa.....	126
Bibliografía	127

Capítulo cuarto

Gestión integral del agua en campamentos militares

Jaime Lancho Cenamor

Introducción.....	131
1 Concepto de la GIA.....	132
2 Criterios para la elección del emplazamiento del campamento	136
2.1 Zona geográfica del despliegue y su topografía.....	137
2.2 Climatología, con especial atención las temperaturas, pluviosidad y tormentas.....	138
2.3 Tiempo estimado de permanencia del campamento	140
2.4 Número de personas que ocuparán el campamento.....	141
2.5 Hidrología de la zona	142
2.6 Calidad del agua de la zona.....	142
2.7 Infraestructura existente y su estado.....	143
2.8 Empresas del sector del agua en la AOR.....	144
2.9 Situación de la seguridad y ambiente de la población respecto a la Fuerza.....	145
2.10 Impacto probable en poblaciones cercanas de la explotación de los acuíferos de la zona por nuestra parte	146
2.11 Resto de informaciones que pudieran influir en la propuesta de la ubicación	146
3 Abastecimiento de agua a campamentos militares.....	146
3.1 Captación.....	147
3.2 Conducción.....	152
3.3 Tratamiento.....	152
3.4 Almacenamiento.....	153
3.5 Distribución.....	156
4 Saneamiento de aguas residuales en campamentos militares.....	160
Bibliografía	170

Capítulo quinto

Agua e inteligencia artificial

Víctor Gómez-Escalonilla, Pedro Martínez-Santos

Introducción.....	175
1 Conceptos básicos de inteligencia artificial	177
1.1 Aprendizaje automático	177
1.2 Funcionamiento elemental de los algoritmos de aprendizaje supervisado	179

	Página
2 El agua: un recurso poliédrico y transversal.....	181
3 Agua e inteligencia artificial.....	183
3.1 El complejo cambio de paradigma.....	183
3.2 Aplicaciones reales de la inteligencia artificial en el ámbito de los recursos hídricos.....	187
4 Riesgos asociados a la inteligencia artificial.....	189
4.1 Incremento de consumo hídrico.....	189
4.2 Vulnerabilidad ante amenazas de tipo malicioso.....	192
4.3 Problemáticas de tipo ético.....	194
Conclusiones.....	196
Bibliografía.....	197

Capítulo sexto

El agua como amenaza para la seguridad..... 201

Alberto Cique Moya

Introducción.....	204
1 El agua como recurso estratégico y amenaza para la seguridad.....	207
1.1 El agua como generador de conflictos: pasado, presente y futuro	208
1.2 Definición de «guerras de agua».....	212
2 Importancia del agua como recurso estratégico.....	213
2.1 El agua como desencadenante de conflictos.....	215
2.2 El agua como herramienta militar o arma de conflicto.....	216
3 Consecuencias de los conflictos de agua.....	218
4 Enfoques de resolución y cooperación.....	220
4.1 Estrategias para prevenir conflictos por el agua.....	221
5 Vulnerabilidad de las infraestructuras hídricas.....	222
5.1 Vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento hídrico frente a la contaminación intencionada del agua.....	225
5.2 Defensa hídrica: una herramienta frente a la amenaza.....	228
Conclusiones.....	229
Bibliografía.....	230

Capítulo séptimo

Los proyectos hidrográficos como herramienta geopolítica... 243

María del Mar Hidalgo García

Introducción.....	245
1 Asia-Pacífico y las crisis de agua.....	247
1.1 Río Kunar (Afganistan y Pakistán).....	247
1.2 Río Helmand (Irán y Afganistán).....	250
1.3 La cuenca del Indo (Pakistán e India).....	251
1.4 Asia Central (Kirguistán, Tayikistán, Kazajstán, Uzbekistán, Turkmenistán).....	254

	Página
1.5 Cuenca del Yarlong Tsangbo-Bramaputra (China e India).....	259
1.6 Cuenca del Mekong (China, Myanmar, Laos, Camboya, Vietnam y Tailandia).....	264
2 África.....	269
2.1 La cuenca del Nilo (Egipto, Etiopía y Sudán).....	270
3 Oriente Medio.....	275
3.1 Tigris y Éufrates (Turquía, Siria, Irak).....	275
3.2 Afluentes del Tigris y el río Chat al-Arab (Irán e Iraq).....	279
Conclusiones.....	281
Bibliografía.....	282
Componentes del Grupo de Trabajo.....	283
Cuadernos de Estrategia.....	285

Introducción

Alfonso Muñoz Martín

Vivimos en un planeta con más de ocho mil millones de habitantes, que, con la mejora de las condiciones de vida y el progreso, demandan cada vez más recursos de todo tipo (recursos minerales, energía, agua, alimentos...). Entre esos recursos hay uno que resulta imprescindible para la vida, y sin el que resulta imposible la supervivencia de la humanidad: el agua. Este aumento en la demanda de recursos se ha acelerado de manera drástica a lo largo del siglo xx y comienzo del xxi, debido a dos factores que se combinan: por una parte, el aumento prácticamente exponencial de la población desde comienzo de 1900 hasta la actualidad, y, por otra, el aumento de la demanda per cápita de estos recursos. A este aumento en la demanda se le añaden otras variables que dependen de la evolución socioeconómica o la existencia de conflictos. Entre ellas, destaca la creciente tendencia de concentración de la población en entornos urbanos, especialmente en zonas costeras o grandes cuencas fluviales. Sin embargo, el planeta es finito y, por lo tanto, sus recursos son limitados, lo que implica que estos adquieren una importancia estratégica, de modo que son potenciales causas de conflictos, pero también una oportunidad para colaborar en la gestión y uso racional de los mismos. El agua es uno de esos recursos más abundantes, pero también el más necesario para la vida, por lo que este libro es

oportuno y esencial, y constituye un verdadero viaje a través de los desafíos hídricos de nuestro tiempo.

Para asegurar la sostenibilidad de la especie humana y de la vida en la Tierra, resulta imprescindible abordar la compleja cuestión del agua desde de una manera estratégica. Esto implica abordar la cuestión desde el análisis de la situación actual y su evolución, analizar los diferentes escenarios, prever posibles obstáculos y oportunidades, y ver qué decisiones informadas deben guiar las acciones hacia la sostenibilidad de la especie humana. Así, el agua deja de ser un simple recurso y emerge como un eje central de la seguridad global, la estabilidad y el desarrollo. A lo largo de los capítulos del libro, se exploran las múltiples facetas de este elemento vital y se desvela su intrincada relación con la estrategia, la geopolítica, la ciencia y la tecnología y también con las necesidades de las personas en las situaciones más extremas y complejas. El agua no solo sustenta la vida, sino que también es un recurso estratégico: su disponibilidad o escasez define la riqueza de una nación, la estabilidad de sus gobiernos y la seguridad de sus ciudadanos. Esta perspectiva obliga a mirar más allá de la gestión doméstica del agua para entender cómo se ha convertido en una herramienta de poder, una fuente de conflicto potencial y, al mismo tiempo, un catalizador para la cooperación.

A lo largo de este libro, el lector se familiarizará con conceptos clave como «seguridad hídrica», «gestión integrada», «huella hídrica», «hidropolítica» y «defensa hídrica». Estos términos son fundamentales para comprender la importancia del agua no solo como un recurso estratégico, sino también en sus aspectos más críticos y complejos.

El capítulo 1, «El agua como recurso estratégico», sienta las bases teóricas y analiza por qué el agua es un activo tan valioso para la seguridad y la economía. En él, se aborda cómo su control a lo largo de la historia ha sido un factor determinante en el ascenso y la caída de civilizaciones, y cómo, en la actualidad, su gestión se ha convertido en una pieza clave de la geopolítica. La seguridad hídrica, en este contexto, no es una mera preocupación ambiental, sino una cuestión de seguridad nacional y bienestar social. El autor concluye que el agua dulce no es un recurso globalmente escaso, sino que su principal problema radica en la irregularidad de su distribución espacial y temporal. Esta situación, junto con las crecientes demandas en sociedades avanzadas y en desarrollo, son las verdaderas causas de las posibles crisis hídricas futuras. Las demandas de agua aumentan con el

desarrollo socioeconómico en diversos sectores, que van desde la agricultura de regadío (aproximadamente, el 70 % del consumo mundial), y la industria (cerca del 20 %). Estos sectores han tenido un notable crecimiento en países emergentes como China e India, lo que ha generado serios problemas de contaminación y presión sobre los acuíferos subterráneos. Otros usos, como la generación de energía, la minería y la más reciente refrigeración de centros de datos para la inteligencia artificial también contribuyen a su demanda, y las proyecciones señalan también un fuerte aumento de las necesidades de agua en estos sectores.

Para enfrentar estos desafíos, los Estados implementan diversas estrategias, que incluyen aspectos como la construcción de obras hidráulicas como embalses y trasvases que, si bien aseguran el suministro, pueden generar conflictos y problemas ambientales. Para abordar estas cuestiones se plantean la gestión integrada de recursos superficiales y subterráneos y la desalación, una opción cada vez más común en países costeros con escasez de agua dulce, aunque requiere mucha energía y unos elevados costes. De especial complejidad es la gestión del agua en cuencas hidrográficas compartidas, que suponen un desafío geopolítico que exige la cooperación entre Estados. Esta gestión se rige por principios como la prevención del daño, la gestión integrada y la participación, aunque la ambigüedad de estos principios puede dar lugar a conflictos entre los diferentes estados.

Desde esta visión global, nos movemos hacia escenarios particulares y complejos o de extrema vulnerabilidad. En el capítulo 2 («La gestión del agua en las ciudades»), se comprende que este es un pilar fundamental para la sociedad, ya que gran parte de su tejido económico depende del agua. Sin embargo, el crecimiento demográfico y la crisis climática están generando una escasez hídrica y estrés en los sistemas de abastecimiento, lo que se prevé que afectará a un gran número de la población urbana. Para enfrentar estos retos, es vital que se fomente una mejor gestión y gobernanza de los recursos hídricos a nivel global y multilateral. Esto incluye la inversión en infraestructuras y en el desarrollo de soluciones tecnológicas e innovadoras. Un claro ejemplo de estos desafíos se ve en las megaciudades africanas, donde el crecimiento poblacional descontrolado y la falta de financiación e infraestructuras adecuadas exponen a sus habitantes a una gran vulnerabilidad. La cooperación entre gobiernos es clave para garantizar servicios básicos como el acceso a agua potable, electricidad y saneamiento para su población. Por otra

parte, las ciudades deben adaptarse a fenómenos meteorológicos extremos, como son las lluvias torrenciales, que han aumentado de manera significativa debido al fenómeno de calentamiento global de origen antropogénico. La inversión en sistemas de drenaje y de alerta temprana resulta crucial para mitigar los daños económicos y salvar vidas.

En el capítulo 3 («Agua en los campamentos de refugiados»), se aborda la crisis humanitaria y se examinan los desafíos monumentales que enfrentan las organizaciones para proporcionar acceso seguro y suficiente al agua en estos entornos. En estos lugares, el agua potable no es solo una cuestión de salud, sino de dignidad y supervivencia, donde cada litro cuenta y cada decisión de distribución puede tener consecuencias críticas. Este capítulo ilumina la cara más cruda de la escasez del recurso y muestra cómo las crisis hídricas están intrínsecamente ligadas a los conflictos y al desplazamiento forzado de la población.

La gestión del agua en los campamentos de refugiados es una labor crítica y compleja, fundamental para la supervivencia y la salud de millones de personas. Según los datos de ACNUR, alrededor de ciento veinte millones de individuos han sido desplazados forzosamente en el mundo. De esta cifra, 35 millones son refugiados, y el 22 % de ellos (unos 6,6 millones de personas) vive en campamentos que, aunque concebidos como soluciones temporales, a menudo se prolongan durante años o incluso décadas, como el caso de los campamentos de refugiados saharauis de Tinduf (Argelia). En estos entornos, el ciclo del agua debe gestionarse de forma integral para garantizar el suministro de agua potable, el saneamiento y la higiene. Estos servicios básicos son esenciales para prevenir la proliferación de enfermedades y salvaguardar la salud pública. Desde las primeras etapas de la creación de un campamento, la planificación es crucial e implica un proyecto con objetivos claros y limitados, centrado en la búsqueda de fuentes de agua cercanas, tanto superficiales como subterráneas. En este proceso, no solo es importante la cantidad de agua disponible, sino también su calidad para el consumo humano.

La importancia del agua tiene también un enfoque técnico y operativo que se muestra en el capítulo 4 («Gestión integral del agua en campamentos militares»). Este apartado se centra en la *gestión integral del agua* (GIA) en campamentos militares, un aspecto técnico y operativo fundamental para garantizar la autonomía y la seguridad. Este enfoque no solo requiere eficiencia,

sino también ingenio, ya que la falta de agua en entornos hostiles puede poner en riesgo una misión y la vida del personal. La GIA en campamentos se divide en dos procesos principales: en primer lugar, el abastecimiento, que incluye la captación, el tratamiento y la distribución del agua potable y para otros usos. Para asegurar un suministro efectivo, es crucial analizar los recursos hídricos locales, el clima y la geografía del área. En segundo lugar, el saneamiento de aguas residuales, para una correcta evacuación y tratamiento de las aguas negras, grises y pluviales para evitar la contaminación y proteger la salud.

Un objetivo clave de la GIA es minimizar la huella hídrica del campamento. Para ello, se optimiza el uso del agua y se implementan sistemas de reutilización, como el de aguas pluviales y grises para usos no potables, lo que promueve la sostenibilidad y reduce el impacto ambiental. En este capítulo, también se exploran las soluciones tecnológicamente avanzadas, como los sistemas de purificación portátiles, esenciales para el éxito operativo.

El futuro de la gestión del agua está inextricablemente ligado a la tecnología. Por ello, el capítulo 5 («Agua e inteligencia artificial») se adentra en el prometedor campo de la IA, lo que muestra cómo puede optimizar la distribución, predecir la escasez, detectar fugas y mejorar la toma de decisiones en tiempo real, de modo que transforma los sistemas hídricos en redes inteligentes y resilientes. Desde algoritmos predictivos hasta sistemas de monitoreo avanzados, la tecnología se presenta como una herramienta fundamental para enfrentar los desafíos hídricos del mañana. Los autores del capítulo examinan el papel de la inteligencia artificial (IA) en la gestión del agua, un sector que históricamente ha sido reacio a la innovación. La IA se presenta como una herramienta muy útil para manejar la complejidad del agua, ya que puede procesar grandes cantidades de datos para predecir comportamientos y resolver problemas, un avance facilitado por la digitalización. De este análisis emergen conclusiones como que el aprendizaje automático puede ser un gran aliado para enfrentar la complejidad de la gestión del agua, que abarca múltiples factores como los hidrológicos, sociales, económicos y éticos. Por otra parte, la democratización de la IA y la digitalización del sector han permitido una adopción masiva de estas tecnologías.

Pero el uso de la IA incluye también retos y desafíos, como son la resistencia al cambio en un sector conservador y la naturaleza a largo plazo y de alto costo de los proyectos hídricos son

obstáculos importantes. Tampoco conviene olvidar que la propia IA supone un reto ambiental al consumir grandes cantidades de agua para la refrigeración de los centros de datos. Por último, y con una gran importancia, son los riesgos que supone su uso, en especial, la vulnerabilidad a ciberataques y la necesidad de abordar dilemas éticos sobre los que aún no hay consenso.

El libro continúa con una visión más geopolítica en el capítulo 6 («El agua como amenaza para la seguridad»), donde se examinan los conflictos y las tensiones que surgen del control de los recursos hídricos compartidos, y donde se identifican los puntos calientes y las dinámicas que definen el panorama actual. Este capítulo explora la hidropolítica, las disputas por cuencas transfronterizas y el riesgo de que el agua se convierta en el detonante de conflictos armados en el futuro. Se concluye que el agua ha sido tanto un recurso estratégico como una fuente de tensión y conflicto desde las primeras civilizaciones hasta la actualidad. Históricamente, se ha constatado que la infraestructura hídrica sigue siendo un objetivo militar, como son el uso de tácticas como el envenenamiento de pozos en tiempos de Sun Tzu o los recientes ejemplos en la guerra de Ucrania. En la actualidad, esta problemática se ha acentuado debido a la distribución desigual del recurso, el aumento de la demanda, la creciente escasez, la contaminación y los efectos del cambio climático.

Sin embargo, el agua, a pesar de ser un factor de conflicto, también puede convertirse en un catalizador para la paz y la cooperación entre naciones. Para lograrlo, es fundamental fomentar el diálogo, la gobernanza compartida y los acuerdos de cooperación en la gestión de cuencas transfronterizas. No obstante, la gestión del agua enfrenta retos importantes. El principal es la vulnerabilidad de la infraestructura hídrica ante sabotajes y ciberataques, lo que exige la implementación de una estrategia integral de «defensa hídrica». A esto, se suma el desafío de gestionar de manera sostenible la escasez, la contaminación y los impactos cada vez más severos del cambio climático sobre este pilar fundamental de la vida.

El capítulo 7 («Los proyectos hidrográficos como herramienta geopolítica») cierra el libro y revela cómo las grandes obras de ingeniería, como presas y canales, son mucho más que infraestructuras: constituyen instrumentos de influencia, poder y control. Se analiza cómo estos megaproyectos pueden alterar el equilibrio de poder en una región, lo que crea dependencias y rivalidades, y cómo, a su vez, pueden ser una fuente de coope-

ración y diplomacia. La construcción de proyectos hidrográficos, como las presas, ha demostrado ser una herramienta geopolítica de gran relevancia que genera tanto oportunidades como riesgos. Si bien la energía hidroeléctrica es fundamental para la descarbonización del sistema eléctrico y el cumplimiento de los objetivos climáticos globales, su desarrollo, sobre todo en cuencas compartidas, suscita serias preocupaciones. La aparición de disputas en la gestión de estos recursos puede agravar la inseguridad y, en el peor de los casos, desencadenar conflictos armados.

Cada cuenca fluvial presenta una dinámica única debido a los intereses geopolíticos de los países ribereños. La falta de marcos de cooperación, los intereses ajenos a la gestión del agua y la influencia de potencias extranjeras pueden influir en el surgimiento de conflictos, en particular con la construcción de megaproyectos hidroeléctricos. Aunque el derecho internacional consuetudinario establece que un país río arriba no puede vetar las intervenciones de un país río abajo, se espera una notificación previa y consultas para evitar un «daño sustancial». Sin embargo, en la práctica, estas condiciones a menudo no se cumplen, lo que da lugar a complejas disputas. Para ilustrar estas tensiones en el capítulo se presentan ejemplos clave en Asia, como son los ríos Kunar (Afganistán y Pakistán), Helmand (Irán y Afganistán) y la cuenca del Indo (Pakistán e India). En estos casos, las tensiones entre los países de cabecera y aguas abajo se complican porque cada país busca su seguridad energética y alimentaria. La situación se complica por la falta de tratados entre países, su incumplimiento o los intereses de empresas o terceros países. Existen otros ejemplos donde el agua y la energía van de la mano, especialmente en Asia Central donde la fuente de discordia es entre las naciones «ricas en agua, pero pobres en energía» río arriba (Kirguistán, Tayikistán) y las «pobres en agua, pero ricas en energía» río abajo (Kazajistán, Uzbekistán, Turkmenistán). En estos casos, a la escasez de agua agravada por el cambio climático, se une la falta de un sistema de gestión unificado y acuerdos de cooperación eficaces desde la desintegración de la Unión Soviética. A pesar de los intentos de crear comisiones y programas de cooperación, el desequilibrio entre los intereses energéticos y agrícolas de los países ha socavado los acuerdos y han mantenido un clima político tenso en la región.

Solo me queda animar al lector a que se sumerja en estas páginas para ir descubriendo que la seguridad hídrica es una cuestión compleja y que constituye un pilar fundamental de la paz y

la estabilidad global. Para abordar cómo conseguir esa ansiada seguridad resulta necesario aunar aspectos científicos, técnicos, éticos y políticos. Se espera que este libro no solo informe, sino que también inspire a la reflexión y a la acción, ya que el futuro de la humanidad, que no del planeta, dependerá en gran medida de cómo se gestione este recurso invaluable.

Capítulo primero

El agua como recurso estratégico

Javier del Valle Melendo

Resumen

El agua, además de ser necesaria para el normal desarrollo de la vida, es un recurso absolutamente imprescindible para muchos usos y, al igual que otros recursos imprescindibles en las sociedades de principios del siglo **xxi**, se está convirtiendo en cada vez más estratégico, por lo que la problemática y las tensiones en torno a ella, sin duda, van a ir en aumento.

Palabras clave

Agua, Seguridad hídrica, Recurso estratégico.

Water as a strategic resource

Abstract

Water, in addition to being necessary for the normal development of life, is an absolutely essential resource for many uses. Like other essential resources in societies at the beginning of the 21st century, it is becoming increasingly strategic, so the problems and tensions surrounding it will undoubtedly increase.

Key words

Water, Water security, A strategic resource.

1 ¿Es el agua dulce un recurso escaso?

En el planeta, se calcula que hay unos 1386 millones de km^3 de agua (Blanco y de la Torre, 2017). Se trata de una cantidad inmensa que se reparte, aproximadamente, en algo más del 97 % de agua salada y poco menos del 3 % de agua dulce, lo que significa unos 35 millones de km^3 . Aproximadamente el 70 % de esta agua dulce está en forma de hielo en los casquetes glaciares (Antártida, Groenlandia y glaciares continentales y de montaña) por lo que queda algo más de once millones de km^3 en el agua atmosférica, superficial (ríos y lagos), subterránea y la que forma parte de los seres vivos (Fernández Jáuregui, 2017).

Es muy difícil estimar la cantidad de agua disponible de fácil acceso para el ser humano y los ecosistemas, considerando como tal la de los ríos, lagos de agua dulce y agua subterránea renovable. Blanco y Torre F. (2017) la estiman en unos 200 000 km^3 . Está siempre movilizada por el ciclo del agua o ciclo hidrológico que la convierte en un recurso renovable. Esta característica significa que su utilización provoca una posible transformación (agua superficial en subterránea, líquida en vapor, limpia en sucia...), pero no su desaparición.

Según la Unesco (2006), para 2030 la cantidad de agua extraída de sus localizaciones naturales para todos los usos de esta en el mundo se estima en algo más de 5000 km^3 , una cifra muy lejana a los 200 000 km^3 disponibles señalados con anterioridad. En conjunto, no se puede afirmar que la cantidad de agua disponible sea menor que las necesidades del ser humano, por lo que es difícil afirmar que el agua es un recurso escaso. Ello no significa que no se pueda y deba hablar de posibles crisis hídricas o problemas para cubrir las necesidades, pero hay que buscar razones de esta situación más allá de una posible escasez a nivel global que niegan los datos.

2 Las razones de la posible crisis hídrica futura

2.1 Las principales problemáticas del agua: irregularidad espacial y temporal

El agua cuenta con su propia dinámica natural denominada ciclo del agua que conecta casi todo el recurso del planeta (salvo los acuíferos confinados). Tras la evaporación desde ríos, lagos, masas vegetales y, especialmente, mares y océanos, la circulación gene-

ral atmosférica reparte el agua en forma de vapor o de pequeñas gotas líquidas o sólidas por todo el planeta. Cuando se dan ciertas condiciones atmosféricas (inestabilidad, presencia de núcleos de condensación, etc.) se produce la precipitación que hace caer agua en estado sólido o líquido sobre la superficie terrestre y, a partir de esta, la fluencia por vía superficial o subterránea (o combinación de ambas) hacia el océano. Se trata de un ciclo cerrado, movido por la energía del sol, que produce el calor necesario para la evaporación y evapotranspiración y las diferencias de presión y temperatura que originan la circulación general atmosférica.

Sin embargo, la precipitación que riega las tierras y alimenta lagos, ríos y aguas subterráneas (que, a su vez, contribuyen de forma sustancial a la regulación de los anteriores) no se produce de forma regular en el espacio ni en el tiempo. En el planeta, existen zonas muy lluviosas, especialmente, en las regiones ecuatoriales y tropicales cercanas al océano. Aquí, la inestabilidad propia de las zonas cálidas, junto con la llegada de masas de aire cargadas de humedad provocan, en general, abundantes precipitaciones. Existen lugares del SE de Asia afectados por los monzones en los que la precipitación media anual supera los 12 000 l/m², al igual que en algunas islas del Pacífico. También en las zonas templadas hay zonas con precipitaciones abundantes, pero menos que en las regiones anteriormente descritas. Áreas próximas al océano, afectadas por los vientos dominantes del oeste de procedencia marítima y también algunas de montaña son regadas en abundancia con cantidades que pueden superar los 2000 l/m² al año.

Por el contrario, las zonas tropicales, sobre todo las más continentales, afectadas por el cinturón de altas presiones que suele dominar la atmósfera aquí y algunas regiones del interior de continentes en latitudes templadas a las que llegan con mucha dificultad las masas de aire húmedas de procedencia oceánica, reciben precipitaciones muy escasas. Su cuantía en amplias áreas del planeta queda por debajo de los 300 l/m² al año y en algunas zonas extremas puede no alcanzar los cien.

Esta misma irregularidad espacial se encuentra en España, a pesar de su extensión relativamente pequeña. En algunas zonas de Galicia, cornisa cantábrica, Pirineo occidental y central y serranías próximas al estrecho de Gibraltar se alcanzan o superan los 2000 l/m², mientras en el interior de las grandes cuencas fluviales (Duero, Ebro, Tajo y Guadiana) apenas se alcanzan los trescientos de media anual. En el SE de España (sur de Alicante,

Murcia y Almería), las cifras son todavía menores, al igual que en las islas Canarias orientales y en el sur de las islas más montañosas, con valores en torno a 100 a 200 l/m² al año.

Lógicamente, esta irregularidad espacial tiene su reflejo en los caudales de los ríos. En el planeta hay corrientes fluviales de caudal abundantísimo, como los ríos Amazonas, Congo, Paraná o Mekong. Por el contrario, hay grandes regiones en las que la escorrentía superficial es tan escasa que ni siquiera tienen organizada una red fluvial que permita la salida de los caudales al mar. Se denominan regiones arreicas y, en ellas, abundan las áreas endorreicas en las que las escasas aguas superficiales se acumulan hasta la evaporación, de modo que se concentran sales en el suelo, lo que empeora su calidad dificultando o impidiendo el desarrollo de la agricultura y limita el desarrollo vegetal a las especies más adaptadas a la salinidad.

De igual manera, existen muchos climas en los que la irregularidad temporal de las precipitaciones es intensa. En los climas tropicales, la diferenciación entre estación lluviosa (el verano) y seca (el invierno) puede llegar a ser extrema, con lluvias abundantes en los meses estivales (en ocasiones, torrenciales, especialmente, en el tropical monzónico), mientras que en los meses invernales puede haber largos periodos sin precipitación alguna. También los climas continentalizados tienen, aunque en menor medida, una concentración de las principales lluvias en verano, aunque en ellos el invierno no suele ser tan seco y las bajas temperaturas limitan mucho la evapotranspiración.

El caso del clima mediterráneo, extendido por buena parte del territorio español, también es digno de destacar, pues las precipitaciones se hacen especialmente escasas en los meses de verano. En el verano mediterráneo, a la escasez de precipitaciones se suman las altas temperaturas que provocan elevada evapotranspiración, por lo que, en los periodos en los que más agua necesitan las plantas, menos reciben de la precipitación natural. A esta irregularidad estacional descrita, se suma la irregularidad interanual, es decir, la diferencia en el comportamiento de las precipitaciones entre unos años y otros. Son muchos los climas, entre ellos el mediterráneo, en los que las precipitaciones no están aseguradas ni siquiera en las estaciones estadísticamente más lluviosas. El historial de sequías profundas es larguísimo en muchos de los climas de los que se tienen noticias. Son relativamente recientes las sequías que afectaron a España a mediados de los años ochenta y noventa del pasado siglo y que obligaron a fuertes restricciones

en buena parte de la geografía española, pero no es exclusivo del clima mediterráneo, se puede señalar en otros ámbitos las intensas sequías sufridas por la cuenca del Mississipi y Rocosas entre 1909 y 1914, la que sufrió la normalmente lluviosa Europa occidental entre 1975 y 1976 o las del nordeste del Brasil y del Sahel durante los años setenta y ochenta del pasado siglo.

Esta circunstancia climática obliga a las especies a adaptarse mediante estrategias para captar el máximo de humedad posible del suelo (como grandes sistemas de raíces) o para disminuir la pérdida de agua en los tejidos.

El reparto del recurso hídrico presenta, por lo tanto, importantes irregularidades tanto en su distribución espacial como temporal en el planeta. El ciclo del agua tiene su propia dinámica que depende de factores naturales, aunque han sido y son muchos los intentos del ser humano por modificar las precipitaciones y adaptarlas a sus necesidades (actualmente, 53 países, entre ellos España, reconocen tener programas de modificación climática). Ignorando el resultado de los mencionados programas, hoy por hoy los factores naturales son los que determinan el reparto espacial y temporal de las precipitaciones, que no tienen por qué adaptarse a las necesidades del ser humano, por lo que son frecuentes los desajustes entre unas y otras. No obstante, es un tema al que hay que dedicar atención, pues la mejora de las técnicas de alteración climática y su creciente alcance e incidencia pueden modificar este panorama en el futuro, lo que abre grandes incertidumbres no exenta de preocupación.

2.2 Las crecientes demandas de agua en las sociedades avanzadas

A medida que el desarrollo socioeconómico crece, también lo hacen las demandas de agua. La relación entre desarrollo socioeconómico y agua es muy estrecha. Uno de los principales logros de la sociedad avanzada es tener agua asegurada, de calidad y disponible de forma universal para toda la población, algo que en los países desarrollados se considera lo normal, pero que en muchos otros es un verdadero lujo, pues, según Naciones Unidas (NN. UU.) más de dos mil millones de personas no tienen acceso a agua potable ni saneamiento básico.

La relación entre acceso al agua de abastecimiento de calidad y de saneamiento y el nivel de desarrollo humano es directa. Así, por ejemplo, en la República Democrática del Congo, un país que

tiene abundantísimos recursos hídricos pues ocupa buena parte de la cuenca del río Congo (el segundo más caudaloso del mundo en desembocadura), más o menos el 70 % de la población no tiene acceso a agua potable de calidad y de saneamiento. El país ocupa el puesto 180 en el Índice de Desarrollo humano (IDH) en 2022 según Naciones Unidas de 193 estados analizados.

Ecuador ocupa el puesto 83 en la misma lista y el porcentaje de población sin acceso a agua potable mejorada desciende a, aproximadamente, el 34 % y el de población sin acceso a saneamiento al 10 %. Se puede destacar algún país que ha mejorado de forma notable el acceso al agua de su población a pesar de sus escasos recursos hídricos, como Jordania, que ocupa el puesto 99 en el IDH y prácticamente toda su población cuenta con estos servicios.

Por supuesto, en los países más desarrollados el porcentaje de población con acceso a agua potable y de saneamiento alcanza el 100 % de la población, incluso en ejemplos con recursos escasos como Israel (puesto 25 en el IDH).

El suministro de agua y servicios sanitarios seguros, fiables y equitativos es la base de la relación de los ciudadanos con sus autoridades públicas locales. Tanto en el mundo desarrollado como en el mundo en desarrollo, la vida cotidiana se ve interrumpida por la necesidad constante del agua. El abastecimiento de agua crea una relación de total dependencia entre las personas y los proveedores del servicio, un fallo en este suministro puede debilitar rápido la autoridad moral de la administración responsable del servicio y originar descontento civil que en casos extremos puede llevar a revueltas e inestabilidad.

No obstante, el desarrollo de las sociedades significa un aumento de las demandas de agua no solo para abastecimiento y saneamiento, pues muchos sectores de la economía se convierten en demandantes de agua.

El ser humano solo necesita beber de 2,5 a 5 litros de agua a diario para vivir (en función de numerosos factores sociales, climáticos, etc.), pero, para producir suficiente alimento como para satisfacer las necesidades dietéticas diarias de una persona, se necesitan unos 3000 litros de agua que se transforma de líquida a vapor, de superficial a subterránea, de limpia a sucia, etc.; por lo que no desaparece, pues cambia de características o se incorpora a la rama ascendente del ciclo del agua, pero sí que deja de estar disponible en la descendente. Esto significa que se necesita

casi un litro por caloría consumida. El consumo de agua «azul» (así denominada a la procedente de ríos, lagos o humedales y acuíferos) para regadíos alcanza unos 2700 km³ anuales. La evapotranspiración total de la agricultura de regadío alcanza unos 2200 km³ de los cuales 1550 provienen del agua azul (derivada por lo tanto de su lugar natural) y el resto de la lluvia caída directamente en las zonas regadas (Evaluación exhaustiva del manejo del Agua en Agricultura, 2007).

Uno de los sectores que más han contribuido a que importantes sectores de la población del planeta salgan de la escasez de alimentos ha sido la agricultura de regadío. El aumento de la superficie regada en el mundo ha permitido aumentar de forma significativa la producción de alimentos y diversificarla.

Según el informe «El estado del agua y la agricultura en el mundo» publicado por la FAO en 2020, en 2018, la superficie total de regadío en el mundo era de, aproximadamente, trescientos treinta millones de hectáreas, lo que representa el 20 % de la superficie cultivada en todo el mundo.

El continente con mayor superficie de regadío es Asia, con casi el 46 % de la superficie mundial. En amplias zonas del continente, el arroz es la base de la alimentación, y tiene que estar inundado una parte de su ciclo vital, por lo que su cultivo está asociado con sistemas de riego posibles gracias a las abundantes lluvias del monzón de verano que recibe el sur y sureste del continente. También en el entorno del mar de Aral, crecieron de forma muy significativa las tierras de regadío destinadas, principalmente, al cultivo del algodón.

África cuenta con el 17 % de la superficie de regadío del planeta y en varios países, como Egipto, Marruecos, Sudáfrica o Madagascar, se han registrado importantes aumentos de la superficie regada en la última treintena. El regadío ha sido clave para disminuir la carencia de alimentos y la pobreza extrema en el continente, pero también ha contribuido a la disminución de la superficie de la principal masa de agua dulce de África occidental, el lago Chad. Dicho lago recibe las aguas de una amplia cuenca endorreica de más de dos millones de km² y se sitúa entre Nigeria, Camerún, Chad y Níger. En 1960, contaba con unos 26 000 km², pero se ha reducido a unos novecientos en la actualidad, aunque con importantes fluctuaciones según sea la estación seca o lluviosa. La extracción de agua directamente del lago y de sus principales tributarios (ríos Chari y Logone) junto con las sequías periódicas

que sufre la zona del Sahel explican esta drástica disminución, lo que ha tenido importantes consecuencias en la economía de la zona al verse reducida la pesca de forma muy notable.

América del Norte cuenta con un 15 % del regadío y en los tres países se han incrementado las superficies de regadío. En Estados Unidos, fundamentalmente en Texas, California y región de los Grandes Lagos. En Canadá, aunque la superficie de regadío no es significativa en relación con la superficie de país, también ha aumentado en las provincias de Alberta y Manitoba. En cuanto a México, ha crecido especialmente en las regiones áridas del norte.

Europa cuenta con casi el 11 % del regadío del mundo, concentrado, sobre todo, en los países del sur, donde el clima mediterráneo convierte al regadío en una forma muy eficiente de asegurar las cosechas, mejorar la producción e introducir cultivos que, sin él, serían inviables. España, Italia y Portugal destacan por las importantes ampliaciones de superficie regada en la última treintena, pero también en Francia e incluso en Hungría y Rumanía se han producido significativas ampliaciones para aumentar o mejorar la productividad del maíz.

Iberoamérica cuenta solo con un 7 % de la superficie de regadío del planeta, pero Brasil y Chile han incrementado de forma notable sus superficies de regadío, en el primer caso, en especial para la soja y el algodón y, en el segundo, para las frutas de exportación.

Oceanía solo cuenta con el 4 % de la superficie regada en el planeta, pero también se ha observado un aumento de la superficie significativo en Australia en la cuenca del Murray-Darling para algodón, arroz y vid, en Queensland para caña de azúcar y en la zona occidental, de clima mediterráneo, para vid y cultivos hortícolas. En Nueva Zelanda, el crecimiento más significativo se ha producido en la isla sur para viticultura y cultivos hortofrutícolas.

Aunque el regadío supone, aproximadamente, el 70 % de la demanda de agua en el planeta, se tienen que exponer también las crecientes demandas para otros usos.

El crecimiento de la industria, inherente a cualquier proceso de desarrollo socioeconómico, también significa un aumento de la demanda de agua. Se calcula que a escala planetaria la demanda industrial está en torno al 20 % del total.

La demanda de agua para usos industriales ha crecido de forma muy notable en algunos países emergentes, sobre todo, de Asia

(China e India, fundamentalmente). En China, la demanda de agua industrial aumenta casi un 5 % anual (Hidalgo García, 2022), mientras que en los países occidentales más avanzados se mantiene estable o en algunos casos ha disminuido ligeramente al aumentar la eficiencia en el uso.

En muchos países emergentes, los sistemas de depuración de aguas tanto industriales como urbanas no son adecuados, por lo que los vertidos provocan problemas graves de contaminación. En 2021, los vertidos de China alcanzaron los 55 700 millones de m³, de los que, aproximadamente 15 600 procedían de la industria y el resto de usos domésticos. Como consecuencia de esta situación, más de la mitad de la población bebe agua contaminada con residuos orgánicos y un 75 % bebe agua de escasa calidad. El 30 % ni siquiera es utilizable por la industria o la agricultura a pesar de sus menores requerimientos de calidad (Hidalgo García, 2022).

En India, el panorama no es muy diferente. El país más poblado del mundo en la actualidad afronta un rápido crecimiento de la demanda de agua para uso industrial. Se calcula que para 2025 alcanzará los cincuenta mil millones de m³ (Amarasinghe *et al.*, 2009). La capacidad de depuración ronda el 40 %, pero se calcula que solo se trata algo menos del 30 % de las aguas residuales de origen urbano, por lo que los problemas de contaminación son graves con un 70 % de las aguas superficiales en mal estado (Iagua, 2024). También hay una presión importante sobre los recursos subterráneos, lo que en muchas regiones se traduce en disminuciones significativas de los niveles freáticos. China e India cuentan con el 18 % de la población mundial, lo que suma un abultado 36 % del total. China cuenta con 6-7 % de los recursos hídricos mundiales, mientras que en India el porcentaje se reduce al 4 %.

Aunque es difícil discriminar la demanda para usos domésticos de la industrial, también la mejora en las condiciones de vida, la progresiva urbanización y algunos usos habituales en las sociedades avanzadas como actividades lúdicas, turismo, etc. significan un aumento de las demandas para estos usos. Se estima que la demanda para uso doméstico se sitúa en torno al 10 % de la total.

El panorama, a grandes rasgos, es de crecimiento progresivo de las demandas de agua con escasos sistemas de depuración, por el momento, lo que incapacita a importantes caudales para muchos

usos, en especial los más exigentes en calidad, presión sobre las aguas subterráneas y unos recursos relativamente escasos en relación con la población. Se puede deducir, por lo tanto, que los problemas se van a ir agravando si siguen creciendo las demandas y no se mejoran los sistemas de depuración y el control del nivel y calidad de los acuíferos de manera sustancial.

Se han puesto los ejemplos de China e India por el importantísimo peso demográfico que tienen en el contexto mundial, pero un panorama similar, aunque con matices y particularidades, se encuentra en la mayoría de los países emergentes y en vías de desarrollo, pues a medida que las sociedades avanzan en el desarrollo socioeconómico, las demandas de agua se van haciendo mayores y las prioridades suelen ser satisfacerlas para evitar que su escasez pueda convertirse en factor limitante. En el caso de los países desarrollados, las demandas crecen de forma moderada o están estancadas y, en muchos casos, se aplican políticas de aumento de la eficiencia en regadío, abastecimiento a la población o depuración de aguas residuales, pero también necesitan asegurar con altas garantías los diferentes abastecimientos para evitar crisis de escasez.

El agua y la energía son dos sectores fuertemente interconectados: la energía es necesaria a lo largo de muchos procesos de uso del agua, desde el suministro del recurso a los diversos usuarios (distribución y potabilización), incluida la población urbana, hasta la recogida y el tratamiento de las aguas residuales, que es imprescindible para mantener altos niveles de calidad y permitir la reutilización del recurso, lo que impide la acumulación de elementos contaminantes.

Por otro lado, el agua es esencial para producir energía, desde la producción en sí de hidroelectricidad, la fabricación de los componentes necesarios para otras energías renovables o la refrigeración en las centrales térmicas y nucleares. La generación de energía hidroeléctrica no supone disminución del recurso hídrico, pero sí que significa cambios en el régimen fluvial aguas abajo de las centrales, que turbinan liberando agua cuando la demanda lo requiere, lo que puede limitar o dañar algunos usos del agua situados más abajo. Si se trata de ríos internacionales, estas alteraciones pueden provocar tensiones entre los países que controlan las cabeceras y los situados en los tramos medios y bajos, pues pueden tener intereses contrapuestos en cuanto a los periodos de retención o suelta de caudales (casos de Kirguistán y Tajikistan, respecto a Urbekistán y Turkmenistán con los caudales

del Amu Daria y Syr Daria o de Etiopía respecto a Egipto en relación con la regulación del Nilo Azul).

La utilización de caudales para refrigerar centrales térmicas o nucleares requiere de altas garantías de seguridad para cubrir estas demandas, lo que, con frecuencia, obliga a la construcción de infraestructuras de regulación y distribución, y supone la transformación de buena parte del recurso de agua superficial a vapor de agua, con la consiguiente disminución de la disponibilidad para otros usos en el entorno. Este hecho puede provocar tensiones con otros usuarios que pueden ver perjudicados sus intereses ante dicha disminución.

La generalización del uso de almacenamientos en la nube y de la inteligencia artificial ha supuesto la intensificación de una nueva demanda: agua para la refrigeración de los centros de datos, que tienen que operar dentro de unos límites térmicos. Este nuevo sector de la industria tecnológica, como todos, tiene sus necesidades de agua, lo que explica que su localización priorice lugares en los que, entre otros factores, hay agua disponible. La irrupción relativamente rápida de estas nuevas demandas, aunque en cuantía total no supongan grandes dotaciones, puede generar rechazo y conflicto con usos previamente consolidados, y suele utilizarse como argumento contrario a su instalación por algunos sectores sociales.

3 El esfuerzo de los Estados para cubrir las demandas

Cada Estado es soberano sobre sus propios recursos hídricos, aunque con limitaciones en el caso de las cuencas hidrográficas compartidas, como se verá más adelante. Por ello, es responsable de la correcta gestión de estos con los objetivos de satisfacer las demandas de la sociedad (en general, crecientes como ya se ha señalado) y de mantener biodiversidad y buen estado de los ecosistemas hídricos. No es fácil conseguir ambos objetivos de forma simultánea, el equilibrio es difícil de conseguir y uno de ellos (con frecuencia el primero) suele ser considerado prioritario, sobre todo, en las economías emergentes.

Entre las estrategias de los Estados para conseguir estos objetivos hay una gran variedad y, normalmente, se combinan en función de sus características geográficas y climáticas, el entorno geopolítico, la tecnología disponible y las decisiones políticas tomadas.

Entre las políticas internas desarrolladas con esos objetivos se pueden destacar:

- Realización de obras hidráulicas, fundamentalmente embalses, redes de canales, acequias y tuberías y transvases que conecten cuencas hidrográficas diferentes. El objetivo de estas obras es crear grandes reservorios de agua que permitan almacenarla en los momentos de abundancia y tenerla disponible en los de escasez, pudiéndola distribuir por el territorio. Ha sido uno de los sistemas más antiguos y de implementación más generalizada. Estas obras suelen tener impactos ambientales graves al inundar superficies que en ocasiones cuentan con alto valor natural, además de provocar una desestructuración territorial. Por ello, en los países democráticos, con frecuencia se encuentran con oposición social de las poblaciones próximas, pero su utilidad para asegurar los abastecimientos es indiscutible. España tradicionalmente ha sido un país que ha utilizado, y sigue haciéndolo, las obras hidráulicas, al igual que Portugal, Italia, Estados Unidos, Egipto o China, donde se ha construido la mayor presa del mundo que ha supuesto el traslado de más de un millón de personas.

Dentro de este tipo de obras, los transvases merecen un tratamiento especial. Permiten conectar cuencas hidrográficas diferentes, por lo que rompen la unidad natural de gestión del agua superficial. Algunos países los utilizan para distribuir en su territorio los recursos hídricos que, como se ha expuesto anteriormente, suelen tener una distribución territorial y espacial irregular (caso de Estados Unidos o España, entre otros). Suelen ser polémicos y generar movimientos en favor en la cuenca receptora y en contra en la cedente por el miedo a que provoquen degradación ambiental en los ecosistemas fluviales por pérdida de caudales circulantes y posible escasez de agua o inseguridad en los abastecimientos. Por ello, en países como Chile o España ha habido importantes polémicas cuando se ha planteado la posibilidad de hacer transvases.

China también está creando un sistema de conexión de cuencas fluviales a través de grandes transvases para conducir agua desde el sur (la zona más rica en recursos hídricos) hacia el norte, regiones de menores recursos y con una industrialización más intensa.

- Gestión integrada de recursos superficiales y subterráneos. Con frecuencia, se han gestionado de forma separada las aguas

subterráneas y superficiales, pero el ciclo del agua las integra y relaciona. En las zonas permeables, las aguas superficiales se infiltran y recargan los acuíferos que, a su vez, alimentan las aguas superficiales en las fuentes, manantiales o surgencias. El uso de las aguas subterráneas va más allá de una reserva para los periodos de sequía o escasez, cada vez más Estados implementan técnicas de gestión integrada en las que se realizan recargas de acuíferos para utilizarlos como reservorios de forma permanente, extracciones controladas con seguimiento de los niveles del freático, establecimiento de perímetros de protección para evitar o disminuir la llegada de contaminantes a las aguas subterráneas e impedir su degradación, etc.

Muchos Estados cuentan con abundantes recursos subterráneos, que se convierten en pieza clave en las zonas áridas. Son reservas que la naturaleza pone a disposición del ser humano y cuya gestión de forma sostenible tiene una importancia creciente para contribuir a cubrir las crecientes demandas de agua. Ya cubren porcentajes importantes en muchos países de regiones áridas como por ejemplo Argelia, donde el 65 % de la demanda es cubierta por aguas subterráneas, Israel y Jordania, con porcentajes en torno al 50 %, o Libia, donde se eleva al 95 %, que es uno de los países del mundo más dependientes de este recurso.

- La desalación. Si se considera el agua del mar dentro de los recursos hídricos del planeta, estos se convierten en prácticamente inagotables. Muchos usos del agua de procedencia oceánica necesitan la desalación previa, y este proceso consume energía y genera unos residuos de fuerte concentración de sal acompañada de productos químicos (denominados salmueras) cuya devolución al mar puede provocar degradación de los ecosistemas próximos. No obstante, la desalación es un sistema que en países costeros con escasos recursos hídricos dulces se convierte en un modo muy utilizado para completar las demandas. Un buen ejemplo es Israel, que cuenta con escasos recursos hídricos per cápita, en torno a 250 m³ por persona y año (Unesco, 2006), aunque esta cifra ha podido disminuir debido al aumento de la población, consigue cerca del 75 % del agua de abastecimiento a la población con este sistema a partir de cinco grandes desaladoras ubicadas en la costa mediterránea. En la región del Golfo casi todos los países (Arabia Saudí, Emiratos Árabes Unidos, Kuwait, Qatar o Bahrein) obtienen casi toda el agua de abastecimiento por este

sistema y también Australia está construyendo importantes plantas desalinizadoras. El caso de España también merece atención, pues casi el 10 % del agua de abastecimiento tiene esta procedencia. Aunque el porcentaje en conjunto no es muy elevado, en regiones como el sudeste y, especialmente, Canarias y Baleares se alcanzan porcentajes del 80 %, de modo que es el cuarto país del mundo en producción de agua desalinizada, con más de setecientas plantas desalinizadoras para agua de mar o de acuíferos salinizados.

3.1 El caso de las cuencas compartidas

Una cuenca hidrográfica está compuesta por todo el territorio cuyas aguas superficiales drenan a un río principal, con salida de las aguas de drenaje por un único punto, hacia un mar o lago. Este río principal cuenta con su red de afluentes, cada uno con su subcuenca. No existen cuencas sin ríos (salvo las regiones arreas), ni ríos sin cuenca. En todo territorio hay una red de drenaje, aunque a veces termine perdiéndose en zonas áridas del interior (cuencas endorreicas) que pueden formar lagos como algunos mencionados en el texto (lago Chad o mar de Aral).

Toda cuenca hidrográfica es una unidad natural dinámica del agua, donde se produce la precipitación, la infiltración y alimentación de acuíferos, la escorrentía superficial y la organización de redes de drenaje hasta su salida al mar o lago. Sus límites son naturales, en ningún caso establecido por el ser humano, por lo que pueden o no coincidir con los límites administrativos. Rara vez coinciden cuencas y límites administrativos, lo que suele generar dificultades de gestión.

El concepto de cuenca compartida se adopta por primera vez en la Declaración de Nueva York, en 1958. En la Conferencia de Helsinki se incluye en las Reglas sobre el Uso de las Aguas de los Ríos Internacionales. En la Convención sobre el Derecho de los Usos de los Cursos de Agua Internacionales para Fines distintos a la Navegación de 1997, se incorpora el concepto de curso de agua internacional (Naciones Unidas, 1997).

No obstante, es necesario diferenciar dos conceptos:

- Cuenca hidrográfica internacional es un área geográfica que incluye todo el territorio cuyas aguas afluyen a un mismo río principal, con un único punto de salida al mar o lago, que puede pertenecer a dos o más Estados.

- Un curso fluvial es un sistema de aguas superficiales y subterráneas, un conjunto unitario que fluye hacia una desembocadura común. Más bien, se trata de un sistema o red fluvial. El curso puede pertenecer a dos o más Estados, y es, entonces, de carácter internacional.

Ejemplos de cuencas compartidas en el planeta hay muchos (Danubio, Nilo, Amazonas, Duero, Tajo, etc.). En todos los ejemplos anteriores, el curso fluvial también es de carácter internacional, pero hay casos en los que el curso es nacional pero la cuenca es internacional, como el Ebro, cuyo recorrido se desarrolla íntegramente en España, pero en su cuenca hay territorio de Francia y Andorra además de nuestro país.

El derecho internacional se basa en que un Estado pertenece a la comunidad internacional, que renuncia al ejercicio ilimitado de su soberanía territorial y a la invocación de la integridad absoluta de su territorio (Aguilar e Iza, 2006). Por tanto, la soberanía territorial del Estado sufre una restricción, al deber abstenerse de actuar cuando perjudique a un país vecino. Los principios que rigen en esta materia han dado lugar a la definición de deberes y facultades de los Estados a la hora de gestionar una cuenca compartida, que son los siguientes:

- Cooperación: el deber de cooperar se deriva de la unidad de la cuenca hidrográfica y de la consiguiente comunidad de intereses entre los Estados que tienen territorio en ella.
- Gestión integrada: los Estados deberán alcanzar una gestión unificada de las aguas superficiales o subterráneas entre otras.
- Sostenibilidad: en el contexto actual, de creciente presión sobre el recurso hídrico que ya se ha expuesto en el presente texto, es esencial para lograr el equilibrio entre desarrollo y conservación de los valores naturales.
- Prevención del daño: cada Estado parte de una cuenca compartida y puede aprovechar la parte de la cuenca que se encuentra bajo su jurisdicción, siempre que no afecte significativamente al derecho del resto. De ahí la obligación de prevenir y minimizar el daño ambiental, en relación con el principio de sostenibilidad.
- Participación, con dos aspectos:
 - Participación equitativa. Indica que ningún acuerdo podrá condicionar los derechos de un Estado parte de la cuenca sin su consentimiento.

- Participación pública. Indica que se debe facilitar que los usuarios afectados puedan participar en la gestión de las aguas.

Se trata de principios muy generales, lo que deja espacio a las ambigüedades y a las diferentes interpretaciones, que pueden ser fuente de conflictividad.

Los deberes de los Estados (Naciones Unidas, 1997) son:

- Deber de no causar daño. No existe en derecho internacional una prohibición absoluta de no contaminar. Los Estados, al utilizar un curso de agua internacional en sus territorios, adoptarán las medidas apropiadas para evitar daños sensibles a otros Estados del curso de agua. Los Estados parte deben evitar, dentro de sus jurisdicciones, modificaciones que perjudiquen el aprovechamiento de la cuenca por otro Estado parte.
- Deberes procesales. Los Estados tienen el deber de intercambiar información sobre la situación de la cuenca, principalmente sobre aspectos de carácter hidrológico, meteorológico, ecológico y de calidad de las aguas.
- Protección de ecosistemas. Los Estados preservarán de forma individual o en forma conjunta los ecosistemas de los cursos de agua internacionales. Existe una disposición sobre la obligación de adoptar medidas para controlar la introducción de especies exóticas que causen efectos nocivos para el ecosistema del curso de agua internacional. No obstante, no queda muy claro el concepto de ecosistema en la Convención; si se refiere a los ribereños de cada país o al ecosistema fluvial en conjunto. Una parte importante en la protección de los ecosistemas es preservar los *caudales ambientales o ecológicos*, comúnmente aceptados como un componente esencial de la gestión integrada del agua, en particular para resolver los temas relativos a la salud de los ecosistemas de agua dulce, su desarrollo sostenible y distribución equitativa de los beneficios que reporta.

El concepto de caudal ambiental o ecológico ha evolucionado mucho, y se ha visto sujeto a múltiples interpretaciones. En general, se refiere a la necesidad de respetar un caudal mínimo en los cuerpos de agua naturales para mantener sus valores y los bienes y servicios que aportan (agua potable, recarga de acuíferos, usos recreativos, pesquerías, etc.). Aunque hay acuerdo en su significado y sus objetivos, no lo hay en los métodos de

cálculo, que son numerosos y priman, en algunos casos, los objetivos de conservación y, en otros, los de mantenimiento de bienes y servicios que aporta el agua a la sociedad.

Además del derecho a navegación,

«Los Estados del curso de agua utilizarán en sus territorios respectivos un curso de agua internacional de manera equitativa y razonable. Concretamente, utilizarán y aprovecharán un curso de agua internacional buscando la utilización óptima y sostenible y el disfrute máximo compatibles con la protección adecuada del curso, considerando también los intereses particulares» (Naciones Unidas, 1997).

Aproximadamente, el 40 % de la población mundial vive en cuencas hidrográficas compartidas, lo que significa un enorme potencial de conflicto y también de cooperación. En la actualidad, la tendencia internacional camina hacia un enfoque integral de cuenca y del curso de agua que establece algún límite fronterizo entre Estados (Valle y Escribano, 2014). La experiencia muestra que en las cuencas compartidas prevalece la cooperación, aunque según los datos de NN. UU., hacia 2030 la presión creciente sobre el recurso podría derivar en un aumento de la conflictividad (Unesco, 2003, *Agua para todos*).

3.2 El caso de los acuíferos compartidos

Cuando un acuífero o sistema acuífero se denomina «transfronterizo», significa que partes de este están situadas en diferentes Estados. Los acuíferos transfronterizos incluyen una vía natural subterránea de flujo de agua subterránea, que cruza una frontera internacional, de manera que el agua puede fluir de un lado de la frontera al otro (Unesco, 2001).

La relación entre las corrientes superficiales y las subterráneas es muy estrecha, y debe gestionarse como recurso único (Winter *et al.*, 1998). Los acuíferos son fuentes de agua que puede ser muy abundante, por lo que su almacenamiento, distribución y tratamiento son complementarios a los de las aguas superficiales y en algunos casos, como países con escasos recursos superficiales, son prioritarios.

El primer paso para esta gestión integrada es la identificación y delimitación de los acuíferos compartidos. Según la base de datos de la Unesco (Transboundary Aquifers of the World) sobre acuíferos transfronterizos, hay 468 acuíferos compartidos en el

mundo. Estos acuíferos se distribuyen de la siguiente manera: África 72, Américas 73, Asia 90 y Europa 226.

Aunque se va avanzando en la gestión integrada de acuíferos y aguas superficiales y la tecnología cada vez lo facilita más, todavía hay carencias importantes que, en el caso de las cuencas y acuíferos compartidos, se acrecientan, pues las cuencas y los acuíferos compartidos entre varios Estados no suelen coincidir en su delimitación. La gestión integrada de acuíferos compartidos se enfrenta con numerosos problemas, por ejemplo:

Suele haber diferentes niveles de implementación de la gestión integrada entre aguas superficiales y subterráneas en los diferentes Estados, distintas tecnologías, el intercambio de información entre ellos no siempre es el adecuado, puede haber tensiones entre los países, reparto desigual de los recursos en función de la superficie que el acuífero tiene en cada Estado, disminución de la cantidad y calidad de las aguas subterráneas según las extracciones que cada país realice, lo que a su vez puede alterar el flujo del agua, escaso conocimiento de su funcionamiento hidrogeológico y, en muchas ocasiones, incapacidad o falta de voluntad para crear instituciones formales de gestión conjunta. La necesidad de crear zonas de protección para evitar la contaminación de un acuífero compartido con restricciones o prohibiciones de determinados usos también puede ser motivo de tensión.

Todavía hay pocos casos en el mundo de acuerdos interestatales sobre acuíferos transfronterizos en vigor, pero se puede señalar el del acuífero ginebrino (Francia y Suiza), el Sistema Acuífero del Sáhara Noroccidental (Argelia, Libia y Túnez), el Acuífero Guaraní (Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay) o el Acuífero Saq-Disi (Jordania y Arabia Saudita). Sin duda, avanzar en la gestión integrada de los acuíferos compartidos es un reto de gran complejidad técnica, institucional y política en el que los países afectados tienen que ir avanzando para una mejor gobernanza del agua y la disminución de tensiones.

4 Las incertidumbres que plantea el cambio climático

El clima, como todos los factores naturales, es cambiante y a su variabilidad natural se suma el efecto del ser humano en la compleja ecuación climática. No es objetivo del presente texto decantarse sobre una mayor o menor influencia del ser humano sobre la variabilidad climática, pero está claro que todas las sociedades a lo largo de la historia han sido vulnerables a las variaciones

climáticas, que han sido intensas en los últimos dos mil años y fuertemente influyentes en muchas civilizaciones. Nuestro modo de vida, altamente dependiente de la disponibilidad de agua entre otros factores, no queda al margen de esta influencia. El escenario futuro es una posible continuidad del calentamiento que se ha observado en el último siglo, tal y como vaticina el IPCC, o un posible enfriamiento debido a la prevista disminución de la actividad solar tras el máximo de 2024 (www.eltiempo.es).

En cualquier caso, las incertidumbres sobre la disponibilidad de agua son numerosas. Una continuación del calentamiento observado en el último siglo puede significar una mayor presencia de vapor de agua en la atmósfera y cambios en la distribución de las precipitaciones, con regiones que serían más lluviosas y otras más áridas, con la consiguiente ocurrencia de periodos de lluvias intensas y otros de sequías prolongadas. Este comportamiento climático puede intensificar el estrés hídrico de algunas regiones, mientras que en otras los recursos disponibles pueden aumentar. Una posible tendencia al enfriamiento significaría menor presencia de vapor de agua en la atmósfera y, una mayor retención en forma de nieve y hielo en las zonas frías y de alta montaña. El conocimiento del clima histórico demuestra que los periodos fríos son más favorables a la ocurrencia de sequías largas e intensas, por lo que un escenario de estas características podría acentuar las tensiones sobre el recurso hídrico, especialmente en las zonas más afectadas en un contexto, ya expuesto, de crecientes demandas sobre el mismo y de diferentes respuestas por parte de los Estados para cubrir esas demandas.

5 Partiendo de la realidad actual, ¿cómo se prevé el futuro escenario hídrico?

El agua es un potente elemento causante de tensiones y conflictos debido a su carácter de recurso insustituible y, en algunas circunstancias y regiones del mundo escaso (aunque no a nivel global), pero también es un factor de paz y seguridad.

En el siglo xx, era relativamente frecuente escuchar la afirmación de que la siguiente guerra mundial sería por el agua o de que para el siguiente siglo se produciría una conflictividad generalizada en torno a este recurso debido, principalmente, a su escasez. La realidad actual, por fortuna, no responde a esa situación, sino más bien a una enorme complejidad en la que se observan

algunos puntos de conflicto, pero también otros de cooperación tanto entre usuarios como entre Estados.

A priori, parece lógico pensar que una escasez del recurso motivada en buena parte por el aumento de las demandas sobre el mismo para diferentes usos conduciría a una mayor conflictividad. Sin embargo, las investigaciones sistemáticas sobre los indicadores de conflictos por aguas transfronterizas de Kramer *et al.* (2013) no encontraron parámetros físicos estadísticamente significativos. Según la mencionada obra, los climas áridos no son más proclives al conflicto que los húmedos y durante los períodos de sequía la cooperación internacional aumentó. Según dicho estudio, no se demostró un nexo causal con casi ninguna variable en sí: las democracias eran tan propensas al conflicto como las autocracias, los países ricos, como los pobres, los países con alta densidad demográfica como los pocos poblados y los grandes como los pequeños. Según estos autores, la clave del éxito de las prácticas de gestión en zonas áridas es la capacidad de las instituciones. Afirman que los países naturalmente áridos cooperan para conseguir agua: para vivir en un medio en el que el agua escasea, las poblaciones se adaptan a él elaborando estrategias institucionales como acuerdos oficiales, grupos de trabajo oficiosos o relaciones generalmente cordiales. Se deduce, por lo tanto, que el fortalecimiento institucional, concepto opuesto al de fragilidad de los Estados, es clave para evitar la conflictividad y avanzar en una buena gestión del recurso hídrico, por lo que así se define una importante línea de cooperación internacional.

Los citados investigadores también llegaron a la constatación de que la probabilidad de conflicto aumentaba significativamente cuando entraban en juego dos factores:

- Si el entorno físico o político de la cuenca experimenta un cambio de gran magnitud o rápido, como la construcción de una presa, un gran programa de riego o una reestructuración territorial. Un ejemplo de esta circunstancia es el proyecto de Anatolia Sudoriental (GAP) desarrollado por Turquía en esta región, tradicionalmente, una de las más pobres del país. Supone la construcción de veintidós presas y diecinueve plantas hidroeléctricas en los ríos Tigris y Éufrates (ambos nacen en este país) y la transformación de 1,7 millones de hectáreas en cultivos de regadío, además de mejorar las infraestructuras de agua potable y saneamiento. El uso del agua de los citados ríos va destinado a la generación de energía, aumento de la producción agrícola y desarrollo socioeconómico de la zona,

pero supone un importante aumento de las tensiones con los países situados aguas abajo (Siria e Iraq), altamente dependientes de las aguas de los mismos ríos. También la construcción de la presa Renacimiento por Etiopía en el Nilo Azul no muy lejos de su frontera con Sudán se puede incluir en este caso. Está proyectada con una capacidad de 6,450 megavatios y pretende cubrir la demanda interna de electricidad de toda Etiopía, lo que mejora la calidad de vida de sus habitantes e impulsa la industrialización en un país que ocupa uno de los últimos puestos en el Índice de Desarrollo Humano de NN. UU. También pretende exportar energía sobrante a los países vecinos, lo que reportaría importantes beneficios económicos al Estado etíope. Este gran proyecto provoca dudas en Sudán, que puede recibir beneficios, pero también alguna consecuencia negativa, y, en especial, con Egipto, que depende en un 90 % de su abastecimiento del Nilo y su principal aporte procede del Nilo Azul. Egipto basa sus argumentos en tratados históricos (principalmente, el tratado de 1929 y el de 1959), que le otorgaron derechos prioritarios sobre las aguas del Nilo, pero Etiopía no reconoce estos tratados porque no los firmó. La tensión, por lo tanto, es fuerte entre ambos países, incluso Egipto llegó a amenazar con bombardear la presa si Etiopía continuaba con su construcción, aunque más adelante rebajó el nivel de sus amenazas.

- Si las instituciones existentes son incapaces de asimilar y hacer frente de manera eficaz a ese cambio. Se trata de un problema que se puede considerar bastante frecuente en muchas zonas del mundo, pues los niveles bajos de desarrollo suelen ir asociados a incapacidad institucional tanto en la expresión interna de los Estados como en su expresión exterior plasmada en la capacidad de negociar con otros Estados y alcanzar acuerdos aplicables.

También Carius *et al.* (2004) afirman que el conflicto no es el resultado inevitable de la escasez, aunque, a nuestro juicio, la escasez o la sensación de escasez (algo muy subjetivo) es un factor que puede intensificar las tensiones.

La pobreza y la escasez son factores que provocan o intensifican la conflictividad. En épocas de tensión política o étnica, y en conflictos civiles, regionales o de reconstrucción de posguerra, tener una estrategia hídrica sólida y bien ejecutada que tenga en cuenta tanto el recurso natural como su gestión y distribución, es decisivo para evitar la violencia y facilitar una situación de paz y estabili-

dad. Para crear condiciones de paz a largo plazo, el mejor medio es luchar contra la pobreza, el hambre y las enfermedades, y el agua es clave para conseguirlo. Algunos estudios han revelado que dos de los indicadores más claros de los conflictos de alta intensidad son las sequías prolongadas y la mortalidad infantil elevada, lo que constituye un cóctel especialmente mortífero si se combina con la proliferación de armas de bajo calibre (Gorbachov, 2008).

Aunque al tratar el tema de la gestión de los recursos en cuencas compartidas se ha señalado que predominan las relaciones de cooperación, sería irreal negar la conflictividad por el agua en algunas zonas del mundo, bien de manera abierta o integrada en conflictos complejos en el que este recurso es una variable más del mismo. Se van a mencionar algunos casos de carácter regional que se consideran oportunos.

Sin duda, una de las regiones en las que la conflictividad por el agua alcanza niveles más altos, pero entrelazada con otros muchos factores es Oriente Medio, y aquí se han de diferenciar varios territorios distintos.

La situación en torno al río Jordán: tras la ocupación de los Altos del Golán por Israel en 1967, este Estado se convierte en hegemónico en el control de los recursos hídricos de la región, pues aquí están las principales fuentes de este río. El interés israelí por esta zona montañosa rica en agua es evidente y se plasma en la anexión unilateral de 1981, no reconocida por la Comunidad Internacional.

Jordania depende para su abastecimiento casi en exclusiva del Jordán (su territorio se sitúa en la margen izquierda) y de las aguas subterráneas. Como no tiene petróleo tiene dificultades para desarrollar grandes plantas de desalinización a partir de su escasa costa en el mar Rojo en el entorno de Áqaba.

La conflictividad entre Turquía y Siria es muy compleja, pues se entremezclan factores como el apoyo sirio a los kurdos de Turquía, el control por parte de Daesh de parte del N de Siria, etc. También tiene fuertes relaciones con el control de los recursos hídricos, tal y como ya se ha señalado. La situación está agravada porque no existe ningún tratado para el aprovechamiento conjunto de los dos grandes ríos, que discurren por una zona de alta conflictividad.

En Asia Meridional, también se encuentran conflictos complejos en los que el agua es uno de los elementos de discordia.

Dentro del enorme y poblado continente la región del Tibet se ha convertido en la clave del control de los recursos hídricos. Su ocupación por China en 1950 y progresiva consolidación de su dominio está muy relacionada con el hecho de que es el lugar de nacimiento de muchos de los principales ríos de Asia, algunos íntegramente chinos como el Huang —Ho y el Yantzé y la mayoría compartidos, como el Indo, Bramaputra, Salween, Irawady y Mekong—. China está construyendo grandes proyectos hidroeléctricos en los tramos altos de estos ríos con la intención de aprovechar su enorme potencial de generación de energía, además de otros en Nepal. Los países situados aguas abajo han manifestado su preocupación por las consecuencias y acusan a China de ejercer una hidrohegemonía e incluso un hidrodominio, de modo que han aprovechado su posición de privilegio. Este país, que no ha firmado la Convención sobre el Derecho de los usos de los cursos de agua internacionales para fines distintos de la navegación, afirma que los embalses no disminuyen el caudal, pero se le ha acusado de utilizar los caudales de los ríos cuyo tramo alto controla en su único beneficio e incluso en perjuicio consciente de los situados aguas abajo.

Las tensiones entre India y Pakistán por Cachemira son territoriales, pero tienen una relación con el control del río Indo, que nace en China para penetrar enseguida en India, pero sus tramos medio y bajo se sitúan en Pakistán, lo que es de vital importancia para este, pues es su principal corriente fluvial. Entre ambos países se firmó en 1970 un tratado sobre el uso de las aguas de dicho río, pero ha quedado muy mediatizado por la alternancia de periodos de enfrentamiento y deshielo entre ambos países.

También la cuenca del Mekong se está convirtiendo en zona de crecientes tensiones por el agua. Se trata de un gran río de casi 5000 km, en una región del globo que tras la Guerra Fría se ha estabilizado notablemente y disfruta de un rápido crecimiento económico. Se trata de una zona compleja, pues en su cuenca hay territorio de seis países todos participantes en la Comisión del Río Mekong. Su nacimiento y curso alto se desarrolla en China, país cuyo acelerado crecimiento con escasas garantías ambientales provoca vertidos y aumento de la contaminación, que afecta a los países situados aguas abajo, con una población dependiente de sus aguas de unos setenta millones de personas. En la cuenca hay proyectados numerosas nuevas instalaciones hidroeléctricas, que se suman a las ya existentes. En una evaluación ambiental

estratégica realizada en 2010 encargada por la Comisión del río Mekong, se llegó a la conclusión de que las presas causarían unos daños intensos al funcionamiento ecológico del río. También disminuirán los sedimentos arrastrados por él, lo que afectaría negativamente al Delta, que vería limitada su alimentación, y se quedaría estancado o, incluso, entrando en fase de recesión, de modo que aumentaría la salinidad del agua subterránea y suelos como consecuencia del avance del agua marina, con el consiguiente perjuicio económico para Vietnam.

En 2011, la Comisión del Mekong anunció que no había consenso entre los países de la cuenca sobre el proyecto de Laos de construir una presa para cubrir sus necesidades de electricidad y exportar. El proyecto original, de gran impacto ambiental, fue modificado para disminuir este y, en 2012, este país anunció que el proyecto seguía adelante.

África tampoco queda al margen de esta situación, y quizá aquí se encuentran algunos de los conflictos más focalizados en el uso de los recursos hídricos, pero sin olvidar el contexto de importantes tensiones de origen étnico, extremista religioso o por el control de recursos minerales.

La creciente conflictividad por el control del Nilo es cada vez más patente. Su origen es la negativa a aceptar los acuerdos de 1959 sobre su reparto por parte de Etiopía, pues los considera injustos. En ellos se establece que no podrán realizarse presas u obras hidráulicas en su curso sin el consentimiento de Egipto, que es el gran beneficiario, pues tiene asegurados unos cincuenta mil millones de m³/año, mientras su aportación al río es prácticamente nula. En su cuenca, hay territorio de once países, y el que más recurso hídrico aporta es Etiopía a través del Nilo Azul, que, aunque hidrológicamente es considerado afluente del Nilo Blanco, aporta el 85 % del caudal del Nilo, pues el Nilo Blanco queda exhausto de caudal al atravesar el desierto sudanés. Siete países no árabes de la cuenca firmaron en 2010 el acuerdo de Entebe, que modifica a su favor el reparto de caudales, lo que puso en alerta a Egipto. Ni Egipto ni Sudán firmaron el mencionado acuerdo, lo que aumentó la tensión cuando un año después Etiopía anunció una importante ampliación en su proyecto hidráulico «Renacimiento» ya comentado.

Actualmente no existe una conflictividad generalizada sobre el uso de recursos hídricos, sino regiones y cuencas en las que se observan tensiones, muchas de ellas enmarcadas en conflictos

complejos. Algunas tendencias observadas a medida que se avanza en el siglo **xxi** son las siguientes:

- Aumento de la presión sobre los recursos hídricos, en especial, para su uso en regadío para producir alimentos directamente para la población (una exitosa manera de luchar contra el hambre) o para forrajeras para el ganado, lo que permite mejorar el aporte de proteínas de origen animal.
- Aumento del uso del agua para mejorar el abastecimiento y el saneamiento a la población en países poco desarrollados, lo que es un importante avance en la lucha contra la pobreza extrema y ciertas enfermedades relacionadas con la higiene inadecuada.
- Aumento de las demandas para actividades de ocio (turismo, jardinería, actividades acuáticas diversas), especialmente en los países desarrollados. Puede ser compensado por una mayor eficiencia en el uso.
- Incremento de los vertidos con depuración inadecuada, sobre todo, en las zonas de rápido crecimiento industrial y legislación permisiva. Las consecuencias serían daños ambientales al ecosistema fluvial y posibles limitaciones para usos posteriores de esas aguas contaminadas (especialmente, los más exigentes en calidad) lo que puede provocar o agravar problemas de escasez.
- Importantes transformaciones en humedales, bien por disminución de los caudales que los alimentan o transformación de su entorno por urbanización, instalación de regadíos, etc.
- Aumento de la presión sobre los recursos hídricos subterráneos, especialmente, en zonas áridas y semiáridas en las que se produce un rápido incremento de la población.
- Procesos de privatización del recurso hídrico a gran escala en los países cuya legislación lo permita.
- Aumento de la conflictividad interna en los Estados, bien entre los usuarios que tengan intereses divergentes en la gestión o entre territorios con disponibilidad del recurso muy contrastada.
- Esfuerzo de los Estados por garantizar las demandas crecientes en los diferentes sectores y evitar una posible ralentización del desarrollo por falta de agua. Significará una mayor construcción de infraestructuras (presas, canales, pozos o trans-

vases). La incertidumbre sobre la evolución del clima puede incrementar estas políticas orientadas a garantizar el recurso.

La seguridad medioambiental se ha convertido en un tema crucial en el ámbito de las relaciones internacionales, de forma que las conexiones entre medio ambiente, conflictos y cooperación internacional son cada vez más importantes. Dentro de ellos, los aspectos relacionados con el agua tienen una importancia especial, hasta el punto de que algunos autores (Carrillo, 2008) hablan de la «Geohídrica» como un nuevo paradigma en las relaciones internacionales, basándose en los siguientes elementos:

- El agua como fuente de poder. Su escasez en algunas zonas del globo (real o supuesta) la convierte en una cuestión estratégica.
- El agua como recurso estratégico.
- Revalorización geopolítica del agua con mayor interés sobre las principales reservas (Amazonía, Acuífero Guaraní, cuenca del Congo, Grandes lagos africanos e incluso la Antártida).

6 Algunas propuestas de gestión

La conflictividad en torno al agua puede relacionarse de manera parcial con la escasez, pero también con la debilidad institucional de algunos Estados para garantizar las necesidades en su propio territorio y para llegar a acuerdos de gestión conjunta con Estados vecinos en los casos de cuencas y acuíferos compartidos. Estos acuerdos han de ser implementados en el territorio de cada Estado y necesitan, además de un esfuerzo diplomático, estudios previos, personal y material cualificado además de capacidad suficiente de gestión del territorio, lo que no siempre es posible en Estados débiles. Por ello, se considera necesario reforzar los órganos de gestión de recursos hídricos, de manera que se adapte a las características y necesidades propias de cada país y se refuerce lo más necesario en cada caso (gestión de acuíferos, de aguas superficiales, humedales, participación activa en cuencas compartidas, etc.).

La situación en las cuencas hidrográficas compartidas es muy variada. En algunas, existen acuerdos u organismos de gestión internacional con participación de los Estados, encaminados a mantener una situación aceptada por todos ellos. En otros casos, no existen estas estructuras. Es previsible un aumento del interés por los Estados por realizar una gestión participada y lo más consensuada posible como instrumento para evitar posibles ten-

siones. Se prevé, por lo tanto, un aumento de la actividad diplomática y técnica para llegar a acuerdos entre Estados o crear organismos internacionales de gestión siguiendo los modelos de los ya existentes o con nuevas fórmulas adaptadas a las necesidades de cada zona.

Se considera adecuada la tendencia actual hacia un enfoque integral de cuenca hidrográfica en el que se consideran tanto los recursos superficiales como los subterráneos. En ellas vive, aproximadamente, el 40 % de la población mundial y esta tendencia abre unas enormes posibilidades de cooperación internacional, ya plasmada en acuerdos y experiencias reales. La cooperación internacional para la gestión integrada del recurso en las cuencas internacionales puede convertirse en una herramienta muy eficaz para disminuir o evitar futuras tensiones sobre el uso de los recursos hídricos.

El aumento de la demanda sobre los recursos para diferentes usos en muchas zonas de globo se acompaña de insuficientes sistemas de depuración, lo que se traduce en problemas de calidad del agua con repercusiones ambientales, económicas y también en las relaciones internacionales en el caso de masas de agua compartidas. Se destaca, por lo tanto, la necesidad de desarrollar adecuados sistemas de depuración de aguas de abastecimiento urbano e industrial para minimizar estas repercusiones.

Es previsible que siga aumentando el uso del agua para ampliar la superficie de regadío, o aumentar sus garantías y mejorar las condiciones alimentarias de la población, lo que es un factor importante de presión sobre el recurso. Esto significa la disminución de los caudales circulantes, pues solo una pequeña parte de lo utilizado para regadío vuelve a la red fluvial en forma de escorrentía superficial o subterránea y, normalmente, con bajos niveles de calidad. Por ello, es necesario planificar los nuevos regadíos y optimizar al máximo el uso de agua y limitar el de productos químicos para minimizar el impacto sobre la cantidad y calidad del agua circulante.

El avance en el nivel de desarrollo de los pueblos va acompañado de mayores demandas de agua para cubrir múltiples aspectos relacionados con el cambio en las formas de vida. Por ello, es necesario acompañarlo de técnicas y tecnologías de optimización del uso del recurso, así como de campañas de educación ambiental y sensibilización para la población sobre la necesidad de un uso racional del recurso que preserve en todo lo posible también

su calidad y los valores ambientales de ecosistemas fluviales y humedales.

Es previsible un aumento de la conflictividad interna en los Estados entre diferentes usuarios del agua con intereses contrapuestos, que se puede traducir en conflictos territoriales o entre sectores socioeconómicos. Para evitar su aparición o disminuir su intensidad, es conveniente que los Estados desarrollen mecanismos de participación entre usuarios del agua en los que se expongan necesidades e intereses, y que permitan llegar a acuerdos de gestión aceptados por la mayoría.

Ante el crecimiento de la demanda de agua, muchos Estados optarán por obras de transvases, regulación de ríos o una combinación de ambas para distribuir el recurso por su territorio y garantizarlo en periodos de escasez. Estas obras tienen impactos ambientales importantes, por lo que sería conveniente dejar algunos ríos completos o tramos de ríos sin transformaciones importantes para mantener sistemas fluviales con una dinámica natural. También pueden tener consecuencias sociales importantes, lo que se traduciría en tensiones territoriales entre las zonas afectadas de manera negativa por estas obras (las cuencas cedentes de caudales o las zonas anegadas por embalses) y las beneficiadas (aquellas que reciben los caudales transvasados o se benefician de la garantía y regulación que proporcionan los embalses). Para disminuir estos conflictos es necesario realizar estudios rigurosos sobre las obras de menor impacto ambiental y social y hacerlas prioritarias sobre otros proyectos. De igual modo, es necesario establecer medidas de compensación ajustadas al daño para las poblaciones y territorios afectados negativamente.

Bibliografía

- Aguilar, G. e Iza, A. (2006). *Gobernanza de aguas compartidas: aspectos jurídicos e institucionales*. UICN, Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo, p. 11.
- Amarasinghe, U. A., McCornick, P. G. y Shah, T. (2009). Indian's water demand scenarios to 2025 and 2050: a fresh look. En: Amarasinghe, U. A., Shah, T. y Malik, R. P. S. (eds.). *Strategic Analyses of the National river Linking Project (NRLP) of India. Series 1: Indian's wáter future: escenarios and issues*. Colombo, Sri Lanka, International Water Management Institute (IWMI).

- Blanco y de la Torre, F. (2017). Los recursos hídricos en el mundo: cuantificación y distribución. *Cuadernos de Estrategia*. Ministerio de Defensa, Instituto Español de Estudios Estratégicos. 186, pp. 21-70.
- Carius, A., Dabelko, G. D. y Wolf, A. T. (2004). Water, Conflict, and Cooperation. *ECSP Report*. 10, pp. 60-66.
- Carrillo, L. (2008). *La Geohídrica. Nuevo paradigma de las relaciones internacionales para alcanzar el desarrollo sostenible*. Lima, Ministerio de relaciones exteriores de Perú.
- Fernández Jáuregui, C. (2017). Introducción. *Cuadernos de Estrategia*. Ministerio de Defensa, Instituto Español de Estudios Estratégicos. 186, pp. 11-19.
- Gorbachov, M. (2008). *Agua para la paz – Paz para el agua*. Zaragoza, Expoagua Zaragoza 2008.
- Hidalgo García, M.^a del Mar. (2022). *El agua del Tíbet: un recurso vital para China (reedición)*. Documento de Análisis IEEE 12/2022 [en línea]. Ministerio de Defensa, Instituto Español de Estudios Estratégicos. [Consulta: 27 mayo 2024]. Disponible en: https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_analisis/2022/DIEEEA12_2022_MARHID_Agua.pdf
- Iagua. (s. f.). ¿Cuál es la superficie de regadío en el mundo? [en línea]. *Iagua*. [Consulta: 20 junio 2024]. Disponible en: <https://www.iagua.es/respuestas/cual-es-superficie-regadio-mundo>
- Iagua. (2021). India afronta grandes retos para suplir la creciente demanda de agua y su escasez [en línea]. *Iagua*. [Consulta: 4 junio 2024]. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/icex-espana-exportacion-e-inversiones/india-afronta-grandes-retos-suplir-creciente-demanda>
- Igrac. (s. f.). Transboundary Aquifers of the World Map 2021 [en línea]. [Consulta: 19 junio 2024]. Disponible en: <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-world-map-2021>
- Kramer, A., Wolf, A., Carius, A. y Dabelko, G. (2013). Cooperación y conflictos en torno al agua. Claves para manejarlos. *Un mundo de ciencia*. Unesco. 11(1), pp. 3-12.
- Molden, D. (ed.). (2007). *Agua para la Alimentación, Agua para la Vida*. Londres, Earthscan y Colombo, Instituto Internacional del Manejo del Agua.
- Naciones Unidas. (1997). *Convención sobre el Derecho de los usos de los cursos de agua internacionales para fines distintos de la navegación*. Artículo 5, parte II. Principios Generales de

- la Resolución aprobada por la Asamblea General de NNUU, 51/229.
- Naciones Unidas. (s. f.). *Más de 2000 millones de personas no tienen acceso a agua potable ni saneamiento básico* [en línea]. [Consulta: 23 mayo 2024]. Disponible en: <https://unric.org/es/mas-de-2000-millones-de-personas-no-tienen-acceso-a-agua-potable-ni-saneamiento-basico/>
- Riveiro, A. (2024). El Sol alcanza su máximo en 2024: ¿serán las tormentas solares más fuertes [en línea]. *Eltiempo.es*. [Consulta: 20 junio 2024]. Disponible en: <https://www.eltiempo.es/noticias/el-sol-alcanza-su-maximo-en-2024-seran-las-tormentas-solares-mas-fuertes>
- Smart Energy Consulting. (2024). El mapa de la desalinización en España: una hilera por toda la costa mediterránea [en línea]. *Smart Energy Consulting*. [Consulta: 8 junio 2024]. Disponible en: <https://smartenergyconsulting.blogspot.com/2024/02/el-mapa-de-la-desalinizacion-en-espana.html>
- Unesco. (s. f.). Water for Prosperity and Peace [en línea]. *UN world Water Development Report*. Unesco. [Consulta: 29 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.unesco.org/reports/wwdr/en/2024/s>
- Unesco. (2003). *Agua para todos, agua para la vida (resumen): informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*.
- Unesco. (2006). *El agua, una responsabilidad compartida, 2.º informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, resumen ejecutivo*. Zaragoza.
- Unesco. (2021). Gestión de Recursos de Acuíferos Transnacionales: su importancia y su gestión sostenible. *Documento Marco*. UNESCO-PHI-VI, Serie sobre aguas subterráneas n.º 1. Paris.
- Valle J. del y Escribano, F. (2014). La creciente importancia del agua como recurso estratégico: el caso de las cuencas hidrográficas compartidas. *Actas del I Congreso Internacional de Historia Militar*. Granada, España, p. 6.
- Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L. y Alley, W. M. (1998). Ground Water and Surface Water: A single resource. *Circular 1139*. U.S. Geological Survey, p. 9.
- Wikipedia. (s. f.). *Países por índice de desarrollo humano* [en línea]. [Consulta: 28 mayo 2024]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Pa%C3%ADses_por_%C3%ADndice_de_desarrollo_humano

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 salvede 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 sinfín 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 poblaciones 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 enviase 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-aportar-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%3%A1n%20recibir%3%A1n%20los%20fondos%20Los,tormentas%20y%20sequ%3%ADas%20causadas%20por%20el%20cambio%20clim%3%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%20al,en%20las%20personas%2C%20sin%20dejar%20a%20nadie%20atr%3%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%3%A9%20que%20los%20riesgos%20de%20sequ%3%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 Consumption by ChatGPT [en línea]. *Partners Universal International Innovation Journal (PUIJ)*. 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 warning system. United Nations Office for 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]. *IndustriaAmbiente*. [Consulta: 15 abril 2024]. Disponible en: https://www.industriambiente.com/media/uploads/noticias/documentos/A_FONDO-WATER-POSITIVE_eng_cast.pdf

Capítulo tercero

Gestión del agua en campamentos de refugiados

Esperanza Montero González

Resumen

Datos de UNHCR ACNUR indican que alrededor de ciento veinte millones de personas en el mundo se vieron obligadas a desplazamientos forzados. En 2024, unos 35 millones se convirtieron en refugiados. Un 22 % de la población refugiada, 6,6 millones de personas, vive en campos de refugiados, que se diseñan como soluciones temporales para proporcionar asistencia y protección inmediatas durante emergencias concretas, si bien en ocasiones pueden prolongarse durante años o incluso décadas. Dentro de los servicios esenciales que se prestan en la organización de los campos de refugiados, uno de los aspectos fundamentales es la gestión del ciclo del agua que garantice el abastecimiento de agua potable, el saneamiento y la higiene y evite la proliferación de enfermedades. El suministro de agua durante las emergencias debe llevarse a cabo a partir de un proyecto con unos objetivos claramente definidos, encaminados a la mejora de una situación que afecta a un grupo de personas, un lugar y un tiempo concretos y unos recursos limitados. La búsqueda de fuentes de agua, superficiales y subterráneas, cercanas y disponibles, teniendo en cuenta tanto su cantidad como su calidad, se convierte en tarea primordial desde los primeros momentos de la gestión del emplazamiento.

Palabras clave

Emergencia, Campo de refugiados, Abastecimiento de agua, Saneamiento.

Water management in refugee camps

Abstract

According to UNHCR, some 120 million people in the world were forcibly displaced. In 2024, some 35 million became refugees. Some 22 % of the refugee population, 6.6 million people, live in refugee camps, which are designed as temporary solutions to provide immediate assistance and protection during specific emergencies, although they can sometimes last for years or even decades. Within the essential services provided in the refugee camp organisation, one of the key aspects is the management of the water cycle, ensuring safe water supply, sanitation and hygiene and preventing the spread of disease. Water supply during emergencies must be carried out on the basis of a project with clearly defined objectives, aimed at improving a situation affecting a group of people, a specific place and time, and limited resources. The research for available and nearby surface and ground water sources, taking into account both their quantity and quality, becomes an essential task from the first moments of site management.

Key words

Emergency, Refugee camp, Water supply, Sanitation.

Introducción

Según datos del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los refugiados (UNHCR ACNUR, 2022), 108,4 millones de personas en el mundo se vieron obligadas a desplazamientos forzados por razones como la persecución, los conflictos, la violencia o las violaciones de derechos humanos. De ellos, 35,5 millones eran refugiados, 62,5 millones estaban desplazadas internamente, había 5,4 millones solicitantes de asilo y 5,2 millones de personas con necesidades de protección internacional. En base a sus datos operativos, ACNUR estima que el número de desplazados aumentó a 117,3 millones de personas en 2023 e incluso puede haber llegado a los ciento veinte millones en 2024.

A estos números hay que añadir los desplazamientos originados por los desastres naturales, que la pasada década supusieron veinticuatro millones de desplazados de media al año, un 92 % causado por condiciones climáticas, especialmente inundaciones (en 2023, causaron 9,8 millones de desplazados), y el resto debido a riesgos geológicos como los terremotos.

En la actualidad, hay más refugiados e internamente desplazados que en ningún momento después de la Segunda Guerra Mundial.

El 22 % de la población refugiada, unos 6,6 millones de personas, vive en campos de refugiados. Entre ellas, 4,5 millones residen en campos organizados y gestionados, mientras que dos millones lo hacen en campamentos de autoasentamiento.

Los campos de refugiados son instalaciones temporales construidas para proporcionar asistencia y protección inmediatas a las personas que se han visto obligadas a huir de sus hogares y buscan un refugio seguro (UNHCR ACNUR, 2022).

Se diseñan, inicialmente, como una solución a corto plazo para mantener a salvo a la población durante emergencias concretas, pero las situaciones pueden prolongarse y hacer que las personas vivan en ellos durante años o incluso décadas.

Los servicios iniciales que se prestan durante una emergencia incluyen el acceso al agua y a los alimentos, refugio, servicios de saneamiento, artículos de ayuda de emergencia (mantas, colchonetas, mosquiteras, ropa y kits de higiene personal), atención sanitaria, servicios de registro y asistencia jurídica.

En situaciones de desplazamiento prolongado, estos servicios se amplían para incluir educación, medios de subsistencia y mate-

riales para construir viviendas más permanentes que ayuden a las personas a reconstruir sus vidas y lograr la autosuficiencia.

Los servicios que se prestan en los campos de refugiados suelen ofrecerse también a las comunidades de acogida. Un campamento bien organizado debe ofrecer a la gente la posibilidad de crear vínculos con sus comunidades de acogida y tener acceso a la economía, las infraestructuras y los servicios locales.

La Agencia de la ONU para los Refugiados prefiere otras alternativas a los campos de refugiados, que puedan ofrecer a estos más oportunidades de vivir de forma autónoma y encontrar empleo. Sin embargo, los refugiados que viven en zonas urbanas también se enfrentan a grandes retos. A menudo, se ven obligados a vivir en viviendas precarias, como edificios públicos, centros colectivos y otros tipos de asentamientos informales.

Datos de UNHCR ACNUR de 2022 indican que existen en el mundo cuatrocientos veinte asentamientos y campos de refugiados, que se encuentran repartidos entre ciento veintiséis países, el 76 % de los cuales son de rentas medias y bajas.

El asentamiento de refugiados de Kutupalong, en la región de Cox's Bazar en Bangladesh, es actualmente el mayor del mundo. El asentamiento consta de veintiséis campamentos que acogen a más de 800 000 refugiados rohingya que huyeron de la violencia en el Estado de Rakhine, en Myanmar, de los cuales más de la mitad son niños.

Otros campos que acogen a un gran número de refugiados son los de Kakuma, Dadaab y Hagadera en Kenia (con refugiados de Somalia, Sudán del Sur y de otros países del entorno), Zaatari y Azraq en Jordania (con refugiados sirios), Bidi Bidi en Uganda (con refugiados de Sudán del Sur) y Um Rakuba en Sudán, que responde a la creciente crisis en la región etíope de Tigray. Por su prolongación en el tiempo, se deben citar también los campamentos de refugiados saharauis en Tindouf (Argelia), que alojan, desde 1975, a unas 174 000 personas en unas condiciones muy adversas. En los últimos tiempos, conflictos como los de Palestina o Ucrania han hecho incrementar de forma notable el número de campamentos de refugiados.

Dentro de los servicios esenciales que se deben prestar en las emergencias y, concretamente en la organización de los campos de refugiados, uno de los aspectos fundamentales es la gestión del ciclo del agua, que garantice el abastecimiento de agua pota-

ble, tanto en cantidad como en calidad, así como el saneamiento e higiene, y que evite la proliferación de enfermedades. En ello se centra este capítulo.

Quiero agradecer las valiosas contribuciones de Miguel Martín Loeches, Antonio Bolinches y Fabio Fussi para el Seminario *El agua, recurso estratégico en situaciones de emergencia: ¿motivo de conflicto o catalizador de cooperación?* de la Cátedra de Estudios de la Defensa Almirante Juan de Borbón, que han servido para enriquecer este capítulo.

1 El agua en situaciones de emergencia

En las crisis humanitarias, el agua, además de una necesidad, es un derecho (el 28 de julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó una resolución que reconoce «el derecho al agua potable y al saneamiento como un derecho humano esencial») y un desafío técnico.

El derecho de los seres humanos a disponer de agua suficiente, saludable, aceptable, físicamente accesible y asequible, para su uso personal y doméstico, requiere accesibilidad a la fuente de agua, a una fuente de energía, al tratamiento del agua y a personal técnico que lo facilite (UN Committee on Economic, social and Cultural Rights, 2002; United Nations, 2010).

El suministro de agua en emergencias debe llevarse a cabo siempre a partir de un proyecto o unidad de acción, es decir, una intervención dirigida a la mejora de una situación identificada como problemática, que afecta a un grupo de personas determinado, persigue objetivos concretos, en un lugar determinado, a través de acciones orientadas a su consecución, en un tiempo determinado y con unos recursos limitados.

El agua, esencial para la vida y la salud, frecuentemente no está disponible en cantidad ni en calidad suficiente en situaciones de emergencia. El abastecimiento de este bien exige una atención inmediata desde el principio de una emergencia, ya que se puede sobrevivir más tiempo sin comida que sin agua.

El objetivo, en estos casos, es obtener la cantidad suficiente de agua en las mejores condiciones de calidad para los refugiados y satisfacer las necesidades comunales de la forma más rentable.

En ocasiones, alcanzar cantidad y calidad a corto plazo es una tarea compleja, por lo que hay definidos una serie de principios

de respuesta (UNHCR ACNUR, 2022): anteponer la cantidad, pero respetando la calidad; al seleccionar y planificar el emplazamiento es imprescindible tener en cuenta que el abastecimiento de agua se debe coordinar con las medidas de organización del espacio, la salud pública y el saneamiento; siempre que sea posible, se debe evitar el tratamiento del agua y priorizar fuentes de abastecimiento que no lo necesiten; se deben buscar mecanismos de reserva para afrontar imprevistos o un aumento en la llegada de refugiados; hay que considerar que los cambios de estación pueden hacer variar la cantidad y la calidad del agua y afectar a la salubridad del campamento en caso de que se produzcan inundaciones.

En la gestión del agua en los campamentos de refugiados, hay algunas medidas que han de ser tenidas en consideración desde el inicio: calcular las necesidades de agua para bebida, higiene y saneamiento y efectuar una evaluación de las posibles fuentes de abastecimiento cercanas o disponibles; inventariar todas las fuentes de agua, superficiales y subterráneas, y evaluar, en términos de calidad y productividad, cada una de ellas; proteger las fuentes de agua de la contaminación y conseguir suficiente cantidad de agua de buena calidad; las fuentes de agua deben estar perfectamente separadas de las instalaciones de saneamiento y de otros posibles focos de contaminación; mejorar el acceso a los abastecimientos y construir puntos de suministro y un sistema de almacenamiento y distribución para repartir la cantidad suficiente de agua en buen estado, que incluya un suministro de reserva; llevar a cabo análisis periódicos de la calidad del agua, etc.

Si las fuentes de abastecimiento de agua disponibles no son las adecuadas, se deben tomar medidas para encontrar otras y, en caso necesario, transportar el agua hasta el emplazamiento.

Dado que es difícil predecir el tiempo de vida de un campamento de refugiados, lo mejor es realizar una planificación que sea rentable a largo plazo.

Las autoridades locales deberán participar e implicarse en la evaluación, ya que es indispensable conocer el terreno y las condiciones del lugar y tener en cuenta que puede surgir rivalidad entre los refugiados y la población local por los recursos de abastecimiento de agua.

La tecnología y los equipos utilizados deben ser sencillos, fiables, apropiados y conocidos en el país. Deberá hacerse participar a los refugiados, emplear sus capacidades y formarlos para que se responsabilicen del funcionamiento y mantenimiento del sistema.

En la evaluación de los recursos hídricos, se debe incluir el análisis de la topografía del terreno y tener en cuenta que puede tener ventajas (se puede aprovechar la distribución por gravedad si la fuente está topográficamente elevada) e inconvenientes (necesidad de la utilización de bombas si la fuente de agua está situada a menor altura que el campamento). También es un aspecto importante en los posibles problemas de inundación del emplazamiento. Aunque las decisiones se deben tomar con rapidez ante la presión de hacer frente a una emergencia humanitaria, se acostumbra a escoger para el asentamiento zonas con leves inclinaciones (pendientes de un mínimo del 2 %) para evitar la acumulación de agua y propiciar, de este modo, un drenaje natural y proteger el área ante inundaciones.

Entre los aspectos más importantes que deben ser tenidos en consideración es la familia de seis a ocho personas como unidad de distribución, para la que se deben prever cerramientos internos. Las necesidades de superficie deben de ser de unos 30 a 45 m²/persona, de los cuales deben estar cubiertos 3,5 a 4,5 m²/persona.

Se debe disponer de planes contra incendios, como cortafuegos de treinta metros por cada trescientos metros construidos y un mínimo de dos metros (preferentemente, el doble de la altura de la estructura) entre alojamientos. También ha de haber planes contra inundaciones.

Otros criterios para la selección del emplazamiento son un buen acceso (carreteras, puertos, aeropuertos) y adecuadas condiciones de seguridad.

1.1 Cómo iniciar una intervención: el uso de cuestionarios

Antes de comenzar el proyecto de construcción de un campamento de refugiados es necesario investigar las condiciones de partida de una forma rápida y organizada. La primera actividad debe ser definir las necesidades de agua, higiene y saneamiento por personal experimentado y bien formado. Se ha de intentar conseguir la información disponible sobre la situación, lo que incluye determinar los riesgos para la salud pública, las posibilidades de abastecimiento de agua, las necesidades y carencias de instalaciones de saneamiento básico, así como las circunstancias y costumbres higiénicas de la población afectada. Esta información formará parte de un primer plan de acción que será usado por los responsables que han de buscar financiación.

Para obtener dicha información básica se realizan cuestionarios que recogen datos muy variados (Sphere Association, 2018 y Médicos sin fronteras, 2010):

- Información geográfica (mapas topográficos, geográficos, hidrológicos, demográficos, fotografías de satélite o aéreas).
- Condiciones climáticas (temperaturas, precipitaciones, vientos, etc.).
- Organización política y social.
- Desarrollo y actividad de la región (existencia de industria, agricultura, recursos naturales, etc.).
- Planes de emergencias existentes (del Gobierno, de las ONG, de agencias y de otros actores).
- Otros actores humanitarios que estén trabajando en el terreno (valorar sus capacidades, los materiales disponibles y su experiencia previa).
- Datos y observaciones regionales (vegetación, fuentes de agua, asentamientos, caminos, vulnerabilidad ante catástrofes naturales, seguridad, etc.).
- Información sobre asentamientos existentes (densidad de población, perfil y drenaje del área, infraestructuras de saneamiento, etc.).
- Necesidades de agua (personas, ganado, centros de salud, infraestructuras).
- Necesidades de contenedores de agua (posibilidades de transportar y almacenar agua).
- Necesidades de infraestructuras de saneamiento básico.
- Logística y recursos locales disponibles (materiales, recursos humanos, acceso para carga y transporte, técnicas de construcción local, métodos de tratamiento local, etc.).
- Datos físicos de fuentes de agua (nombre de la fuente, tipo, localización, nivel freático, diseño y dimensiones, estimación del caudal, calidad del agua (turbidez, temperatura, pH, etc.), riesgo de contaminación).
- Aspectos legales, de seguridad y socioculturales (propietario de la fuente, títulos de propiedad del terreno, acuerdos previos para su uso, tarifas, acceso, seguridad, permisos para tratamiento, etc.).

Por legislación internacional, se requiere una declaración de emergencia o una solicitud de ayuda del Gobierno local para poner en marcha las intervenciones.

La información puede obtenerse directa o indirectamente (López y Schiffer, 2012).

Entre las fuentes directas, están las propias observaciones tomando apuntes y fotografías; la inspección desde el aire mediante vuelos tripulados, utilización de drones u observación desde posiciones elevadas; las observaciones realizadas durante caminatas, que cruzan al azar sectores de zonas o barrios (*cross sectional walks*); las discusiones y entrevistas (estructuradas, con cuestionarios, o improvisadas) con grupos de especial interés, que manejan información clave como mujeres, ancianos, autoridades locales, niños, maestros, personal sanitario, etc., y mediciones, análisis, pruebas o conteos (análisis de agua, excavaciones para detectar el nivel freático y composición del suelo, áreas de defecación abierta, etc.).

Las fuentes indirectas se basan en documentos, informes y mapas existentes antes del desastre, como estudios de vulnerabilidad, informes de proyectos, valoraciones de contrapartes, etc.; los planes de contingencia, EPP (*Emergency Preparedness Plan*); la información en Internet (como las páginas de respuesta a desastres), prensa, televisión; informes de situación o de evaluación rápida de otras organizaciones o agencias ya realizados; informes y datos transmitidos en reuniones del WASH Cluster (*Water Sanitation Hygiene*, liderado por UNICEF), ministerios, agencias, etc.

Los cuestionarios para valoración rápida requieren de una lista lo más amplia posible de personas de contacto y de un croquis del lugar/campo de desplazados que incluya la ubicación aproximada y la distancia de las fuentes de agua, letrinas o campos de defecación, puestos de salud, centros nutricionales y otras estructuras relevantes.

Los ítems que deben analizarse en este estudio previo han de tener en cuenta aspectos generales y otros relacionados con el abastecimiento de agua, el saneamiento (evacuación de excretas, enfermedades transmitidas por vectores, eliminación de desechos sólidos, avenamiento y drenajes) o promoción de la higiene.

Entre los aspectos generales, interesa el número y ubicación de las personas afectadas, los posibles desplazamientos, los factores relativos a la seguridad, tanto de los propios afectados como

de los participantes en la ayuda, cuáles son las enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento que pueden constituir una amenaza, las personas con las que conviene consultar, las personas vulnerables o a qué riesgos relacionados con la seguridad están expuestas las mujeres y adolescentes.

Respecto a los aspectos relacionados con el abastecimiento de agua, es necesario conocer la fuente actual de agua y la cantidad por persona y día de la que se dispone, con qué frecuencia (diaria o semanal) se distribuye el agua, si es suficiente para satisfacer las necesidades a corto y a largo plazo, a qué distancia se encuentran los lugares de recolección de agua y si estos son seguros o si los usuarios disponen de recipientes del tamaño y tipo adecuados para la recolección del agua. También interesa saber si la fuente de agua está contaminada o corre peligro de contaminación, y si es necesario el tratamiento o la desinfección del agua y, si es el caso, qué tipo sería necesario. Asimismo, se debe averiguar si hay otras fuentes de agua en las cercanías y si existe algún tipo de obstáculo para la utilización de las fuentes disponibles. Si las fuentes de agua son insuficientes, se debe investigar sobre la posibilidad de trasladar la población a otro lugar o de almacenar el agua en tanques. También hay que conocer cuál es la institución responsable del sistema de agua y de su reparación en caso de que este no funcione, la causa de que esto ocurra, si hay o no previsión de que pueda ponerse de nuevo en funcionamiento y cuándo y por quién, así como el posible coste de su reparación y el tiempo estimado para ello.

Los aspectos relacionados con el saneamiento (evacuación de excretas, enfermedades transmitidas por vectores, eliminación de desechos sólidos, avenamiento y drenajes) son extremadamente importantes en el diseño de un campo de refugiados.

En lo que se refiere a la evacuación de excretas, en los cuestionarios debe preguntarse sobre la práctica corriente de defecación, si se hace a campo abierto, si hay un área designada y, en su caso, si es segura. Si existen instalaciones, si se utilizan, si son suficientes o si funcionan bien y si es posible ampliarlas o adaptarlas. Es también importante saber si la defecación puede ser una amenaza para las fuentes de agua, las zonas de habitación o para la salud de las personas. Por otra parte, se debe conocer si la población está familiarizada con la construcción y utilización de letrinas o si están preparadas las personas para utilizar letrinas, lugares reservados a campo abierto, zanjas, etc. y si hay espacio suficiente para zonas de defecación a campo abierto, letrinas de

pozo, etc. También hay que considerar las creencias y las prácticas corrientes, incluidas las prácticas propias de cada género.

A otro nivel, debe conocerse la pendiente del terreno, a qué profundidad se halla el nivel freático o si son apropiadas las características del suelo para la evacuación de excretas *in situ*. En el diseño de las letrinas, hay que considerar los materiales de los que se dispone localmente.

En cuanto a la higiene, debe considerarse si los procedimientos vigentes para la evacuación de excretas favorecen la presencia de vectores, si las personas tienen acceso a agua y jabón para lavarse las manos después de defecar o si se dispone de materiales o agua para la higiene anal o cómo resuelven las mujeres los problemas relacionados con la menstruación.

En lo que se refiere a las enfermedades transmitidas por vectores, debe indagarse sobre los riesgos y la gravedad de dichas enfermedades; si los riesgos son altos, si hay posibilidades de protección individual, en especial, a las personas expuestas a un riesgo mayor; si es posible modificar el medio local (mediante obras de avenamiento, desbroce, evacuación de excretas, evacuación de desperdicios, etc.) para evitar la reproducción de vectores; si es necesario luchar contra los vectores por medios químicos y si hay programas, reglamentaciones y recursos para la lucha antivectorial.

Respecto a la eliminación de desechos sólidos, hay que preguntarse si constituyen un problema, cómo se eliminan, qué tipo y cantidad se producen o si es posible eliminarlos *in situ*, o se debe proceder a su recolección y su eliminación fuera del lugar. También es importante saber si hay instalaciones y actividades médicas que producen desechos, cómo se eliminan y quién es responsable.

Por otra parte, se debe determinar si las inundaciones son un problema en la zona; cómo es la situación, el funcionamiento y el mantenimiento de los drenajes existentes; si hay problemas de drenaje, como la inundación de los refugios y letrinas, criaderos de vectores, agua contaminada que contamina las zonas de habitación o las fuentes de agua; saber si las personas disponen de medios para proteger sus refugios y las letrinas contra las inundaciones locales.

En cuanto a los datos sobre promoción de la higiene, se deben tener en cuenta las prácticas en materia de agua y saneamiento a las que estaba acostumbrada la población antes del desastre,

qué prácticas son nocivas para la salud, quién las realiza y por qué, quién sigue teniendo hábitos de higiene positivos, qué les permite conservarlos y qué lo motiva; cuáles son las ventajas y los inconvenientes de una propuesta de cambio en los hábitos, cuáles son los canales formales e informales de comunicación y de divulgación (agentes de salud comunitarios, parteras y curanderos tradicionales, clubes, cooperativas, iglesias, mezquitas, etc.); si existe un acceso a los medios de comunicación en la zona (radio, televisión, video, periódicos), qué medios de comunicación u organizaciones no gubernamentales (ONG) hay en la zona, a qué sectores de la población hay que dirigirse (mujeres, madres, niños, dirigentes comunitarios, personal encargado de cocinas comunitarias, etc.), qué tipo de sistema de divulgación funcionaría en este contexto (voluntarios, clubes de salud, comités) para asegurar una movilización inmediata y a medio plazo; qué necesita aprender el personal laboral y voluntario que se ocupa de la promoción de la higiene, de qué artículos no alimentarios se dispone y cuáles son los que responden a las preferencias y a las necesidades más urgentes; por último, cuál es la eficacia de las prácticas de higiene en los establecimientos de salud (particularmente importante en caso de epidemias).

2 Abastecimiento de agua potable: cantidad

La evaluación de los recursos hídricos para el consumo humano tiene como objetivo poder determinar la disponibilidad de agua, tanto en cantidad como en calidad, respecto a la demanda.

La evaluación del abastecimiento debe identificar las posibles fuentes de agua, y es importante hacer una evaluación inmediata, *in situ*, de los recursos hídricos locales en base a las necesidades.

¿Cuál es la cantidad de agua necesaria, la demanda?

Las dotaciones de agua en la construcción de un campo de refugiados varían en función de las situaciones a las que se tiene que hacer frente.

La asignación mínima de supervivencia en una fase inicial de la emergencia se considera en 5-7 litros por persona y día, si bien debe incrementarse lo antes posible a 15-20 litros por persona y día cuando la situación sea menos crítica (tabla 1). Se deben añadir a estas cifras las necesidades comunales y la capacidad de reserva en previsión de nuevas llegadas. Por otra parte, las necesidades mínimas de agua aumentan con la temperatura

ambiente, el ejercicio físico o las normas sociales y culturales (tabla 2). Debe tenerse en cuenta que la cantidad de agua mínima recomendada por la OMS es de 100 litros/persona/día.

Necesidades de la población (litros por persona y día)				
AGENCIA	Esfera	ACNUR	OMS/MSF	Oxfam
Fase aguda	15	7	5	9
Recomendable	15	15	15	15-20

Tabla 1

Necesidades básicas de agua para la supervivencia de las personas (Sphere Association, 2018)		
Necesidades para asegurar la supervivencia: consumo de agua (para beber y utilizar con los alimentos)	2,5-3 litros al día	Depende de: clima y fisiología individual
Prácticas básicas de higiene	2-6 litros al día	Depende de: normas sociales y culturales
Necesidades básicas para cocinar	3-6 litros al día	Depende de: tipo de alimentos, normas sociales y culturales
Necesidades básicas: cantidad total de agua	7,5-15 litros al día	

Tabla 2

En el abastecimiento a centros sanitarios, las necesidades aumentan a 40-60 litros por paciente y día, si bien para usos hospitalarios las dotaciones deberían garantizar unos 200 litros/habitante/día (tabla 3).

Necesidades de servicios (litros por persona y día)	
Puestos de salud	5
Centros de salud	40-60
Hospitales (lavandería)	220-300
Centros nutricionales	20-30
Escuela con servicios	10-15
Ganado grande	20-30
Ganado pequeño	5

Tabla 3

Si en el campamento existen animales, en el caso del ganado vacuno se requieren treinta litros por día por cabeza (tabla 3).

Además, existen normalmente otros servicios colectivos como el riego de huertas y cultivos plantados por los refugiados o la construcción de infraestructuras del campamento que requieren agua. Cuanto mejores son las condiciones del campamento se incrementan las necesidades y el consumo de agua.

La disponibilidad de agua es también un condicionante en la elección de los sistemas de saneamiento. Los sistemas de letrinas con pozo no requieren agua; pero las instalaciones para duchas, lavado de ropa o colada e inodoros con cisterna sí.

Entre las recomendaciones del programa de la ONU, Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio (UNW-DPAC) (United Nations, 2024), se indica que la distancia máxima de cualquier hogar al punto de abastecimiento de agua más cercano debe situarse a no más de mil metros, y que el tiempo necesario para el acopio de agua en un punto de abastecimiento no ha de exceder de treinta minutos. Además, debe existir al menos un punto de agua por cada doscientas cincuenta personas (tabla 4).

Acceso/distancia y cantidad de agua	
Distancia máxima a punto de agua	500 m
Un punto de agua por cada	250 personas
Caudal mínimo del punto de agua	0,125 litros/segundo

Tabla 4

2.1 Fuentes de abastecimiento de agua

Las principales fuentes naturales de agua dulce son el agua de superficie, el agua subterránea y el agua de lluvia. Estas dos últimas suelen ser de mejor calidad que el agua procedente de ríos, lagos o embalses, y debe utilizarse siempre que sea posible.

Para escoger entre varias fuentes posibles de abastecimiento en una situación de emergencia, hay que tener en cuenta aspectos como la rapidez con que se pueda poner en servicio el abastecimiento; el volumen de agua que proporciona; la seguridad en el aprovisionamiento; la pureza del agua, los riesgos de contaminación y la facilidad de tratamiento; los derechos y el bienestar de la población local; la sencillez de la tecnología y la facilidad de su mantenimiento, y el coste (Sphere Association, 2018).

Las fuentes de agua superficial requieren menos energía, puede ser variable la cantidad disponible a lo largo del año debido a la estacionalidad y están expuestas a contaminación. Las fuentes de agua subterránea requieren mayor energía cuanto mayor es la profundidad a la que deben captarse, son más estables desde un punto de vista de la cantidad puesto que están menos sujetas a variaciones estacionales y necesitan menor esfuerzo en el tratamiento.

El agua de superficie, procedente de arroyos, ríos, estanques, lagos, embalses y pozos poco profundos rara vez es potable, contiene habitualmente alta turbidez y probable contaminación microbiológica, por lo que, para su utilización directa, suelen ser necesarias medidas de tratamiento que pueden resultar difíciles de planificar y de ejecutar durante la mayoría de las emergencias relacionadas con refugiados. A pesar de ello, en muchas ocasiones, el suministro proviene de fuentes superficiales porque en las intervenciones en emergencias es necesario abastecer grandes cantidades de agua en un tiempo lo más corto posible, y la obtención de aguas subterráneas requiere de tiempos prolongados.

El agua de lluvia puede recogerse mediante sistemas sencillos, bajo tejados y canalones. Solo puede utilizarse como fuente de abastecimiento principal en zonas con precipitaciones regulares e instalaciones para el almacenamiento familiar, por lo que no suele ser una buena solución en la mayoría de las emergencias, aunque puede resultar un complemento útil para el consumo individual en momentos en los que las aguas de otro tipo son abundantes pero insalubres.

La utilización del agua subterránea es casi siempre la mejor solución, ya que suele ser la forma más rentable de obtener rápido la cantidad necesaria y la mejor calidad. Sin embargo, la decisión de utilizarla para necesidades a largo plazo debe tomarse después de una evaluación detallada de los acuíferos y de los factores relacionados con la recarga, el flujo y la descarga del agua.

Frente a las aguas superficiales, que con frecuencia están contaminadas, el agua subterránea es filtrada por el suelo y por las rocas que constituyen los acuíferos en las que se almacena y desde los que se explota.

Los manantiales son la mejor fuente de abastecimiento de agua subterránea y es esencial su protección contra la contaminación. Si no es posible satisfacer la demanda con manantiales, lo mejor será extraer el agua subterránea por medio de galerías o pozos,

excavando o perforando el terreno. El método elegido dependerá, sobre todo, de la profundidad de la superficie freática, del tipo de rocas y de la posibilidad de conseguir el equipo necesario. Gracias a la maquinaria de perforación especializada, en la actualidad es posible extraer agua subterránea muy profunda, protegida de la contaminación superficial.

Sin un estudio adecuado de los recursos subterráneos, no puede asegurarse que los pozos nuevos o perforaciones produzcan la cantidad necesaria ni la calidad deseada de agua. Por otra parte, esto puede resultar caro. Debe hacerse un estudio hidrogeológico antes de emprender un plan de perforación (figura 1). Dicha exploración hidrogeológica debe permitir la localización de acuíferos de los que se puede obtener agua en cantidad y con la calidad adecuada para el fin que se pretende.



Figura 1. Abastecimiento desde un pozo en los campamentos de refugiados saharauis de Tindouf (Argelia). Imagen propia

Se suele comenzar la exploración hidrogeológica de una región por los depósitos no consolidados como gravas o arenas, fáciles de excavar y perforar, lo cual es fundamental en emergencias. Dado que estos materiales rellenan normalmente zonas deprimidas, la superficie freática suele estar a escasa profundidad, lo

que requerirá una mínima elevación por bombeo, y ahorra, asimismo, costes energéticos. Estos materiales suelen recargarse fácilmente a partir de ríos y lagos, presentan buena capacidad de almacenamiento y elevada permeabilidad, aunque también son más vulnerables a la contaminación.

La capacidad de almacenar y transmitir el agua de los acuíferos depende del tipo de litología o roca que los conforman, desde arenas o gravas a rocas fracturadas. También son variables los tamaños de los acuíferos, desde algunas hectáreas a miles de kilómetros cuadrados. Otro aspecto es la profundidad a la que se encuentra el acuífero, desde muy superficiales hasta cientos de metros o si está cubierto o no por materiales rocosos impermeables.

El agua de los pozos menos profundos (unos cinco metros) debe ser considerada como superficial y puede estar contaminada, por lo que es necesario su tratamiento. La mayoría de los pozos tradicionales, excavados, extraen el agua de acuíferos superficiales.

Los pozos con una profundidad mayor de diez metros normalmente necesitan una bomba (manual o con motor) para elevar el agua.

En todos los casos, un pozo debe construirse con un sello sanitario y con una tapa, para evitar la entrada de contaminación desde la superficie.

La cantidad y calidad del agua de un pozo a largo plazo debe asegurarse mediante un proyecto integral que incluya una construcción correcta y su mantenimiento (Médicos sin Fronteras, 2010).

Antes de realizar un pozo para abastecer agua en una emergencia, se debe calcular la capacidad de recarga natural del acuífero para un uso sostenible del recurso. En muchas ocasiones, la construcción de un pozo puede atraer a otros usuarios, lo que aumenta la población que accede al agua. Otras veces, hacer accesible agua para ganado mediante un pozo puede sobreexplotar los pastos de alrededor, y los pozos para irrigación de cultivos pueden disminuir el agua para la vegetación natural.

Además, la construcción de un nuevo pozo puede modificar el uso del tiempo en una comunidad y crear cambios o conflictos de poder, e influye en los roles y las tareas de las mujeres o niñas y niños.

Los pozos no deben estar situados en una zona de posible contaminación por letrinas o aguas residuales. La materia fecal, que contiene parásitos, bacterias o virus, puede infiltrarse a través del suelo, alcanzar el nivel freático y transportarse en el agua subterránea hasta el pozo. Aunque depende mucho del tipo de suelo y de acuífero, se recomienda un mínimo de treinta metros de distancia entre las letrinas y los pozos de abastecimiento (Sphere Association, 2018).

En el caso de la contaminación química, que puede desplazarse a mayor distancia, también depende del tipo de suelo y roca, pero se recomiendan más de setenta metros de distancia desde el foco de contaminación hasta el pozo, hacer seguimiento de las posibles fuentes de contaminación y realizar controles fisicoquímicos del agua.

En zonas urbanas, suburbanas o en campamentos puede ser muy difícil mantener las distancias mínimas aconsejadas por la normativa, por lo que, en ocasiones, es más fácil traer el agua de otros lugares.

Se deben tener en cuenta, asimismo, las posibles contaminaciones de carácter natural/mineral (sales, sulfato, flúor, arsénico, etc.).

3 Abastecimiento de agua potable: calidad

¿Cómo debe ser la calidad del agua en un campo de refugiados? Para preservar la salud pública es mejor disponer de abundante agua razonablemente pura que de poca agua muy pura.

El agua debe reunir condiciones de salubridad, puesto que los refugiados beberán cualquier agua que sepa y tenga un aspecto aceptable, exponiéndose sin saberlo a los peligros de los residuos químicos y los microorganismos.

El agua debe tener un sabor agradable y ser de suficiente calidad para poder ser bebida y utilizada en la preparación de alimentos o para la higiene personal sin que presente un riesgo para la salud. La calidad se estima en base a la composición química y microbiológica (WHO, 2022).

Respecto a la composición química, el agua puede estar contaminada por residuos químicos o metales pesados procedentes de efluentes de aguas residuales, complejos industriales, activi-

dad minera o pesticidas procedentes de la agricultura intensiva. Muchos componentes químicos del agua son dañinos para la salud después de su consumo durante un largo periodo de tiempo, sin embargo, en emergencias, es preferible disponer de agua, aunque esta esté significativamente por encima de los parámetros fijados, que restringir su acceso.

En cuanto al contenido microbiológico, durante las emergencias son frecuentes las enfermedades relacionadas con el agua, el saneamiento y la higiene (López y Schiffer, 2012): diarreas, fiebres tifoideas, cólera, polio, giardiasis, amebiasis, hepatitis A y E, shigella, disenterías bacterianas, meningitis, salmonelosis; enfermedades de la piel como sarna, micosis, infecciones oculares (tracoma, conjuntivitis), piojos; o transmitidas por parásitos (esquistosomiasis (Bilharziosis), gusano de Guinea, parasitosis intestinal) o por picaduras de insectos como pulgas, mosquitos (paludismo, fiebre amarilla, dengue, filariosis) o moscas (enfermedad del sueño o tripanosomiasis, filariosis linfática).

La amenaza más grave es la contaminación causada por la orina y las heces (humanas o animales) presentes en las aguas residuales. El mayor riesgo asociado al consumo de agua contaminada es la propagación de diarreas, disentería y hepatitis infecciosa. La Organización Mundial de la Salud estima que se producen dos millones de muertes por año debidas a enfermedades transmitidas por el agua, la mayoría en niños menores de cinco años (WHO, 2022) (tabla 5).

Hay que tener en cuenta que, una vez contaminada el agua, resulta difícil purificarla rápidamente en condiciones de emergencia y que muchos de estos agentes son muy persistentes en el agua. Los rangos de eliminación en el agua al 99,9 % varían entre 7-8 días de las bacterias coliformes, a los 10-50 de *E.coli* y hasta los 275 días de *S. typhimurium*.

Las nuevas fuentes de abastecimiento de agua deben ser analizadas bacteriológicamente antes de hacer uso de ellas y controlar de forma regular las existentes, de modo que hay que volver a analizarlas inmediatamente después de cualquier brote de enfermedad que pudiera estar causado por agua en mal estado. Por la posible contaminación microbiológica, se debe determinar que no haya presentes coliformes fecales (de los cuales más de un 99 % son *E. Coli*).

MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN EL AGUA	
Enfermedad	Agente
Origen bacteriano	
Fiebres tifoideas y paratifoideas	Salmonella typhi Salmonella Paratyphi A y B
Disentería bacilar	Shigella
Cólera	Vibrio cholerae
Gastroenteritis agudas y diarreas	Escherichia coli ET Campylobacter Yersinia enterocolítica Salmonella sp Shigella sp
Origen viral	
Hepatitis A y E	Virus de la hepatitis A y E
Poliomielitis	Virus de la polio
Gastroenteritis agudas y diarreas	Virus Nortwalk Rotavirus Astrovirus Calcivirus Enterovirus Adenovirus Reovirus
Origen parasitario	
Disentería amebiana	Entamoeba histolytica Giardia lamblia Cristosporidium

Tabla 5

Los refugiados utilizarán normalmente el agua más próxima, superficial o subterránea, con independencia de su calidad. Cualquiera que sea la fuente de abastecimiento, deben tomarse medidas inmediatas para impedir su contaminación por heces. Asimismo, es necesario observar si existen actividades cercanas que indiquen una posible contaminación del agua, poner en marcha acciones para prevenir la contaminación del agua en su recorrido después del punto de distribución, en el transporte o en el almacenamiento en casa y promover que los refugiados tomen agua procedente de fuentes de abastecimiento seguro y no utilicen otras que pudieran estar contaminadas.

Si se trata de agua superficial, la toma debe hacerse corriente arriba del asentamiento o campamento, y se reserva una zona

especial para esa función. Más abajo se asignará una zona para lavar y, finalmente, aguas abajo del emplazamiento, se permitirá beber al ganado. Habrá que cercar parte de la orilla del río y debe prestarse atención a los posibles peligros que pueda haber.

En el caso de pozos o manantiales, tendrán que ser cercados, cubiertos y controlados. Debe evitarse que se extraiga agua con recipientes individuales que puedan contaminar la fuente de abastecimiento.

La desinfección del agua es necesaria para evitar infecciones de origen microbiológico y eliminar patógenos como bacterias (*E.coli*, *Salmonella typhi*, *Shigella*, *Vibrio cholerae*), virus (Poliovirus, Rotavirus), protozoos (*Giardia*) y parásitos.

El riesgo de que el agua esté contaminada se mide habitualmente en unidades de turbidez (Nephelometric Turbidity Unit, NTU), que debe ser inferior a 5 NTU. La turbidez, generada por la existencia de partículas en el agua, es indicativa de una mayor probabilidad de contaminación microbiológica. Por ello, las aguas turbias deben ser tratadas para disminuir su turbidez mediante filtros o por floculación y decantación. También se recomienda que el pH no exceda un valor de 8.

La desinfección del agua puede hacerse por varios métodos: por oxidación, utilizando cloro; por hipoclorito sódico; o por cloro gas.

La desinfección por oxidación, utilizando cloro, requiere una dosis de 1 a 5 g/m³ de agua. Se debe elegir la cantidad de cloro que deje un residual de 0.2 a 0.5 g/m³ (o hasta 1 g/m³, si hay presencia de cólera) y este residual debe ser analizado varias veces al día en el punto de distribución. Estas cifras permiten asumir 0 *E-coli* en 100 ml.

La desinfección por hipoclorito sódico (líquido) equivale de 10 a 15 % de cloro equivalente; la instalación es más barata (utiliza bombas dosificadoras), el volumen de líquido a tratar es mucho mayor y más rápida la pérdida de efectividad durante el almacenamiento.

La desinfección por cloro gas equivale a un 100 % de cloro equivalente; el coste de operación es más barato, pero necesita más infraestructura y tecnología y es más peligroso.

En los casos en los que no es posible disponer de abastecimientos centralizados, el tratamiento debe hacerse en los hogares.

En todos los casos, siempre deben analizarse los residuos de los productos químicos que se utilizan en el proceso de tratamiento como los coagulantes/floculantes), de modo que garantiza que se respetan los límites máximos según la OMS.

4 Saneamiento e higiene

Uno de los principales problemas que presentan los campos de refugiados es la gestión del saneamiento y la higiene.

Ya se ha comentado el peligro que suponen las excretas de personas y animales en la salubridad de los campamentos, que provocan la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas. La construcción de letrinas y buenos sistemas de drenaje que impidan esta contaminación permite controlar los vectores de transmisión. Otros aspectos para tener en cuenta son el manejo de cadáveres y el control de otros focos de contaminación, como los vertederos de basura, entre otros (Médicos sin Fronteras, 2010 y Sphere Association, 2018).

En lo que respecta al saneamiento para la eliminación de las aguas residuales, se aconseja la construcción de letrinas en zonas alejadas de las fuentes de agua para consumo, aunque también se deben construir lo más cercanas posibles a las zonas donde se encuentran los refugiados, para favorecer su utilización.

La eliminación de las excretas suele efectuarse en los campos de refugiados a través de pozos de infiltración o letrinas y fosas sépticas, y es recomendable la utilización de al menos un retrete por cada veinte personas.

La búsqueda de soluciones y diseños con conocimientos técnicos, llevados a cabo por profesionales, son claves en el saneamiento en emergencias. Es muy importante en esta labor no perder de vista soluciones que garanticen a los usuarios intimidad y dignidad.

En la disposición de excretas en emergencias, se deben considerar siempre aspectos como la facilidad para lavarse las manos; un diseño adecuado y funcional para niños y niñas, hombres y mujeres y personas ancianas y con discapacidad; el mantenimiento de las letrinas, su limpieza y la educación para la higiene vinculada a ellas; siempre que sea posible, el uso de materiales locales y tecnologías apropiadas; que los usuarios se sientan dueños y responsables de sus letrinas; y una participación de los futuros usuarios en todos los pasos del proceso, desde el diseño hasta la construcción.

Muchos tipos de subsuelo funcionan como filtros, lo que, unido a la actividad bacteriana y microbiológica del propio suelo y al paso del tiempo, elimina la mayor parte de los patógenos antes de que puedan viajar a mucha distancia a través del flujo subterráneo.

Para que las infiltraciones de una letrina no presenten un peligro para la salud pública, se debe respetar una distancia mínima de treinta metros entre una letrina y una fuente de agua subterránea y una distancia mínima de 1,5 metros en dirección vertical entre el fondo del hoyo de la letrina y el nivel freático, para garantizar una buena filtración a través de la zona no saturada y la actuación de los microorganismos del suelo sobre la masa fecal infiltrada; una vez que las infiltraciones han pasado por este filtro se unen al flujo del agua subterránea, toman la misma dirección y viajan (según el tipo de suelo y de roca) unos siete a veinte metros antes de que la contaminación biológica se haya diluido y desaparecido completamente del subsuelo.

Estas distancias suelen ser suficientes, excepto en rocas muy transmisivas en las que el agua circula muy rápido. En estas situaciones, se debe aumentar considerablemente la distancia hasta la fuente de agua.

Siempre se debe ubicar la letrina a una cota más baja y en contra de la dirección del flujo de una fuente subterránea (pozo o manantial).

En función de la profundidad del nivel freático de las aguas subterráneas, las letrinas pueden quedar por encima o por debajo del mismo.

Si quedan por encima, en la zona no saturada, en ausencia de flujo subterráneo apreciable, con gradiente hidráulico muy bajo, la propagación de la contaminación es escasa y se limita a una profundidad de dos a tres metros y con una propagación lateral casi inexistente. En el caso de lluvias abundantes en terrenos muy permeables, la propagación de la contaminación puede ser más importante. La zona no saturada suele favorecer la atenuación de los microorganismos por filtración, adsorción o dilución. El riesgo de que estos alcancen el nivel freático y, por tanto, las aguas subterráneas, con concentraciones no aceptables, depende, en gran parte, de las características del material rocoso, lo que presenta un riesgo bajo en aquellas áreas constituidas por arenas finas y arcillas, riesgo medio en las zonas con arenas medias o basamentos alterados, y riesgo alto cuando aparecen arenas gruesas, gravas, areniscas, calizas y rocas fracturadas.

Si la profundidad de la letrina alcanza el nivel freático o se encuentra por debajo del mismo, es decir, si se encuentra en la zona saturada y el flujo del agua subterránea es continuo, para velocidades de flujo subterráneo moderadas (1 a 3 m/día), la OMS propone una distancia máxima de propagación de la contaminación de once metros en la dirección del flujo. Se aconseja que la red de saneamiento tenga una pendiente del orden de 1 %.

En cuanto a la higiene, se recomienda una ducha por cada veinticinco personas y el reparto de material de aseo como jabón, cepillos y pasta de dientes, toallas, etc.

Son también imprescindibles las sesiones informativas en escuelas y a las mujeres y cabezas de familia para la concienciación de la importancia de llevar a cabo prácticas higiénicas que impidan la propagación de enfermedades. Una utilización correcta de todo el sistema es fundamental para evitar la contaminación, desde la recogida de agua, al transporte, el almacenamiento y la desinfección (cloración, ebullición, filtración), hasta el consumo.

4.1 Control de vectores

El control de los vectores causantes de la transmisión de enfermedades pasa por reducir su población, para lo cual es imprescindible entender su ciclo de vida, la dinámica de su población y la epidemiología de la enfermedad transmitida.

Los vectores como moscas y mosquitos, responsables en parte de la transmisión de infecciones, paludismo o enfermedades diarreicas, se reproducen con frecuencia en áreas donde hay presencia de excretas o de aguas residuales estancadas. En un kilogramo de excreta, se pueden reproducir hasta diez mil moscas, y en aguas residuales o estancadas, millones de mosquitos (Sphere Association, 2018).

El control de vectores requiere evitar su reproducción, para lo cual se utilizan trampas y otros medios como el uso de tapas en las letrinas, letrinas secas de pozo ventilado (VIP), cubrir las heces y basuras con tierra, limpieza y condiciones higiénicas, drenaje de aguas estancadas, repelentes, etc.

La medida más habitual en la acción humanitaria para la protección contra vectores como moscas o mosquitos, sobre todo, a personas especialmente vulnerables, es la distribución de mosquiteras impregnadas en insecticidas de larga duración, regulados por la OMS.

También se realiza lucha activa mediante fumigación o pulverización de insecticidas o pesticidas químicos. Esta tarea requiere personal formado, especializado y correctamente equipado que sepa manejar material tóxico, que conozca la frecuencia de su uso e identifique si se desarrollan resistencias del vector contra el producto químico. En situaciones de emergencias, es habitual trabajar con expertos del ministerio de salud local.

En esta tarea, es importante el uso de productos y protocolos que sigan las recomendaciones de la OMS, con un registro internacional de los envases originales, que indiquen en la etiqueta el principio activo, la concentración e instrucciones de mezcla y aplicación, y las medidas a tomar en caso de accidentes (Sphere Association, 2018).

El almacenaje y transporte de productos de fumigación (productos químicos y herramientas) también están regulados en las normativas de la OMS y deben permanecer en su envase original, en lugares seguros con acceso restringido, frescos, oscuros y bien ventilados. Nunca deben estar junto a combustibles o alimentos.

4.2 Drenaje

Como ya se ha comentado previamente, uno de los problemas más graves que se pueden producir en los campamentos de refugiados son las inundaciones o encharcamientos, que pueden causar la pérdida de propiedades y forzar a las personas a tener que abandonar sus hogares. Las inundaciones pueden afectar a las infraestructuras de agua, higiene y saneamiento, y destruir letrinas, lo que facilita la infiltración de aguas residuales y excretas y contamina los sistemas de agua potable.

Para evitar las inundaciones o mitigar sus efectos una vez producidas, es imprescindible prever buenos drenajes que permitan eliminar el exceso de agua abriendo camino a los líquidos estancados y que puedan ser evacuados por gravedad.

Todas las zonas alrededor de las viviendas, puntos de suministro de agua, lavaderos, duchas e instalaciones de saneamiento deben estar bien drenadas y exentas de aguas estancadas.

Hay varios tipos de agua, con diferentes grados de contaminación, que deben ser drenadas en los campos de refugiados y, especialmente, tras una inundación: agua usada de lavado de ropa, de higiene personal, la salpicada en puntos de distribución, etc.; aguas acumuladas en superficie después o durante las pre-

precipitaciones (aguas pluviales o torrenciales); agua acumulada en la superficie o capas poco profundas del terreno; agua encharcada como consecuencia de la existencia de suelos poco permeables, terrenos muy llanos y sin pendiente natural o en lugares con drenajes bloqueados.

El tipo de drenaje se decide según la permeabilidad del suelo, la pendiente y topografía, la vegetación, la densidad de la población y la intensidad de las precipitaciones.

Las aguas pluviales pueden ser evacuadas por encima o por debajo de la vegetación o de la superficie del terreno hasta zanjas y, de ahí, ser conducidas a colectores. Para evacuar aguas grises, se utilizan pozos de infiltración hasta zonas profundas del terreno. En este caso, se debe cuidar que no se contaminen las aguas subterráneas (Sphere Association, 2018).

Es recomendable que la conducción de aguas de drenaje se realice mediante tuberías subterráneas, que requieren mantenimiento, aunque en la primera fase de situaciones de emergencia es difícil poder contar con ellas.

El drenaje de aguas superficiales en zonas rurales se realiza habitualmente en canales abiertos, de tierra, sembrados con hierba, o contruidos en hormigón, que sigan la pendiente y los caminos naturales del agua. Las zanjas pequeñas desembocan en colectores más grandes hacia cotas más bajas. Los drenajes abiertos nunca deben utilizarse para aguas negras y no se deben mezclar los drenajes de las aguas usadas y las acumuladas en superficie por precipitaciones.

4.3 Manejo de cadáveres

Otro de los aspectos que tener en cuenta después de desastres naturales es el riesgo de epidemias por la presencia de cadáveres (Sphere Association, 2018).

Cuando esto ocurre, se debe dar prioridad a los vivos antes que a los muertos identificar y registrar los cuerpos, facilitar servicios apropiados de tanatorio, evitar entierros de cuerpos no identificados en fosas comunes y respetar los deseos y costumbres religiosos/culturales de las familias.

En caso de personas que hayan muerto por enfermedades infecciosas como cólera, fiebre hemorrágica (ébola, marburg), tífis o peste, en situaciones de epidemias vinculadas con el manejo de

muchos cadáveres, hay que hacer todo lo posible para evitar la distribución de la enfermedad y tomar medidas serias y estrictas para evitar futuras contaminaciones.

4.4 Otros focos de contaminación

En la elección de la ubicación de campamentos, deben tenerse en consideración las actividades preexistentes que puedan constituir focos de contaminación, como actividades agrícolas y ganaderas, industriales, mineras o vertederos y aguas residuales de poblaciones y asentamientos.

5 Elaboración de un proyecto de construcción de un campamento

Como ya se ha señalado anteriormente, la gestión del agua en emergencias debe llevarse a cabo a partir de un proyecto con unos objetivos concretos de mejora de una situación que afecta a personas concretas, en un lugar específico, en un tiempo determinado y con unos recursos limitados.

Cada organización marca unos estándares de actuación con unos indicadores propios de cada proyecto.

También se cuenta con los estándares del Proyecto Esfera, Carta Humanitaria que plasma las normas mínimas para la repuesta humanitaria. Trata de los principios de protección, de las normas esenciales del abastecimiento de agua, el saneamiento y la promoción de la higiene, de la seguridad alimentaria y la nutrición, del alojamiento, de los asentamientos humanos y artículos no alimentarios, de las acciones sobre la salud y de los códigos de conducta.

Asimismo, deben seguirse las directrices de calidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (WHO, 2022).

5.1 Fases de un proyecto

El proyecto de construcción de un campamento de refugiados se realiza en varias fases.

En primer lugar, deben definirse las necesidades y objetivos que se hayan identificado previamente mediante indicadores. Se elabora un prediseño y se lleva a cabo un concurso de licitación.

La siguiente fase es la preparación del contrato, para lo que se debe contar con todas las partes, definir el marco de trabajo y el objeto del contrato. Se deben enumerar los materiales de trabajo y establecer el presupuesto (*Bill of Quantities*, BOQ). Esto permite cuantificar los costes y definir pagos intermedios. Para ello, se enumeran los ítems, el precio unitario, el precio total por ítem y el precio total del presupuesto. Asimismo, es necesario establecer un marco temporal de las acciones. También es importante definir cómo van a realizarse los pagos, si mediante transferencia o en efectivo y si va a haber pagos intermedios. Se deben establecer también penalizaciones, si fuera necesario, y un arbitraje en caso de que se produzcan incumplimientos por alguna parte. A lo largo del tiempo del proyecto pueden hacerse modificaciones de contrato.

Es importante realizar inspecciones intermedias y una al finalizar el contrato. Incluso una vez finalizado el proyecto, transcurrido cierto tiempo, deben realizarse también inspecciones posproyecto. En el informe final debe quedar reflejado el retorno de la experiencia.

5.2 Características de los proyectos

Los actores que participarán en la ejecución de cualquier proyecto de esta envergadura son muy variados y deben estar firmemente respaldados de forma jurídica: desde la propia organización (que debe disponer de estatutos), los donantes (mediante acuerdos de financiación), las autoridades locales (mediante memorandos de acuerdo, que definen el marco de las negociaciones entre los socios de un consorcio), las contrapartes locales (acuerdos), los contratistas y proveedores (contratos) y los beneficiarios. Las organizaciones internacionales deben trabajar con ONG y autoridades locales siempre en un marco de gobernanza.

Por lo que se refiere a la logística, lo ideal es que tanto contratistas como proveedores recurran al mercado local por proporcionar una mayor garantía en el mantenimiento a largo plazo y con objeto de promocionar la economía local (en los proyectos, se pueden incluir cláusulas para aumentar la distribución de la riqueza). Al mercado internacional debe recurrirse solo en casos especiales y atendiendo siempre a los acuerdos aduaneros. Para la adquisición de productos especializados (como tanques Oxfam, pastillas de cloración, motobombas portátiles, etc.) o necesidad de respuesta rápida (*stocks* de emergencia), también se puede contar con los almacenes de la delegación o incluso de la sede central de la organización.

En las primeras fases de la emergencia o cuando la calidad del agua no es conveniente para bebida, lo más útil y rápido es la distribución de botellas, algo que está sujeto a la disponibilidad del mercado.

Otra manera de distribución de agua, solo válida en las primeras fases de la emergencia, es el *water trucking* o distribución del agua mediante camiones cisterna, para lo que se recomienda un volumen máximo de 15 m³.

Cuando el campamento ya está establecido, es necesaria una red de distribución en la que exista una fuente de agua, una unidad de bombeo –que requiere una fuente de energía–, un sistema de almacenamiento, conducciones, grifos y contenedores individuales.

5.2.1 La fuente de agua

Ya se ha comentado en el apartado 3 la importancia de seleccionar correctamente la fuente de agua o de perforar pozos en caso necesario.

En el caso de las aguas subterráneas, una vez construido el nuevo pozo (figura 2), hay una serie de aspectos importantes a tener en cuenta para proteger y mantener la calidad del agua.



Figura 2. Abastecimiento desde un pozo en los campamentos de refugiados saharauis de Tindouf (Argelia). Imagen propia

En primer lugar, para proteger la calidad del agua del pozo e impedir la infiltración de agua superficial contaminada, debe construirse una plataforma sanitaria de hormigón (con una altura de un metro en pozos sin bomba manual y menor altura en los que dispongan de bomba) e instalar un sello sanitario en el pozo. Es aconsejable construir un buen drenaje para evacuar el agua salpicada alrededor del pozo, mediante un canal, con una inclinación mínima de 5 % dirigida hacia una fosa de infiltración. De la calidad de los materiales utilizados para el hormigón depende la durabilidad de la infraestructura. Es esencial el uso de mezclas correctas, cemento de calidad, agua, grava y arena limpia, sin sales y con el tamaño de grano adecuado (Davis y Lambert, 2002).

Dependiendo del contexto, el pozo debe ser cercado para evitar la cercanía de animales en la zona limpia.

Cuando se dispone de pozos excavados previos que puedan ser utilizados, la primera acción que tener en cuenta para su uso es su rehabilitación y desinfección. Se vacía el pozo, se retira el material del fondo y se limpian las paredes de suciedad, raíces, algas e incrustaciones. Después de la limpieza y de su recarga natural, el agua debe tener menos de 5 NTU. En caso contrario, hay que repetir el proceso varias veces y limpiar también las paredes con solución de cloro hasta que el pH se sitúe entre 6 y 7,8 para una desinfección efectiva con cloro. El cloro residual en el agua una vez rellenado el pozo no debe exceder los 0,6 mg/litro.

Durante el proceso, que puede tardar varios días, no se debe extraer agua del pozo. Hay que tener en cuenta que la cloración regular es independiente de la desinfección del pozo.

Es importante tener en cuenta que la limpieza por sí misma no erradica la fuente de contaminación, por lo que esta debe eliminarse o, en caso contrario, limitar el uso del pozo.

En el caso de cuerpos de aguas superficiales, tras seleccionar la fuente de agua hay que instalar un sistema de bombeo, buscar un lugar para el tratamiento y adecuar la distribución. Para ello, hay que medir y analizar la topografía del lugar, los diferentes niveles y las distancias para comprobar si hay suficiente espacio disponible para la instalación de los materiales, calcular el tipo de bomba que se requiere y la cantidad y tipo de tubos de conducción necesarios para montar el sistema (Davis y Lambert, 2002).

La primera medida es proteger la fuente de agua de la contaminación para que pueda ser utilizada a lo largo de todo el periodo de emergencia. Para ello, es bueno que los usuarios tengan información sobre la importancia de proteger la fuente de agua y de vallarla si es necesario. Se debe evitar que los usuarios entren en la fuente y la contaminen con sus pies, ropa o contenedores el agua (Sphere Association, 2018).

Es necesario tener en cuenta que la toma de agua superficial debe hacerse lo más alejada posible de la orilla para distanciarse de posibles puntos de contaminación. En ríos y aguas corrientes, el punto de toma debe ubicarse aguas arriba del emplazamiento, antes de puntos de contaminación como entradas de desagües, bebederos de animales, lugares para lavar la ropa o de aseo habitual.

Se debe asegurar que no se produzcan daños ni cambios en la orilla donde se instala la toma, por lo que debe analizarse si el punto presenta un historial de inundaciones o erosiones previas. En el caso de ríos caudalosos, es importante encontrar lugares en donde pueda instalarse un muelle donde la corriente sea suave y evitar la succión de sedimentos o partículas flotantes o el riesgo de que la corriente pueda arrastrar la línea de aspiración.

5.2.2 La unidad de bombeo

Para la extracción de agua subterránea, se necesitan bombas de agua que transforman la energía mecánica en energía hidráulica (Davis y Lambert, 2002).

Sus parámetros principales de diseño son el caudal (volumen obtenido en un tiempo (m^3/s)) y la presión de bombeo, medida en metros de columna de agua (m).

Existen bombas manuales de bajo coste inicial, bajo mantenimiento, bajo caudal y baja presión (como las INDIA MARK II); y bombas automáticas, accionadas por motor eléctrico (monofásico para bajas potencias o trifásico) o por motor de combustible. En todos los casos, es muy importante su dimensionamiento.

Se necesitan también generadores de energía (con filtros de aire, aceite, combustible y batería).

En las aguas superficiales, tan importante como la instalación correcta de la estación de bombeo (y la selección del lugar para su instalación), es la adecuación de la toma de agua. Para evi-

tar, desde un principio, que la materia orgánica (hojas, plantas, insectos, vida animal acuática, algas de gran tamaño) y parte de la materia en suspensión que flota en cuerpos de aguas superficiales (arcillas, sedimentos, algas, zooplancton) sean succionados por la toma de agua de un sistema, y también para evitar la succión de lodos y sedimentos del fondo, se prevé la toma de agua cruda en una zona limpia, a unos 40 cm por debajo de la superficie (Sphere Association, 2018).

La bomba se instala y sujeta en un lugar seguro frente a posibles inundaciones, pero lo más cerca posible al cuerpo de agua, de modo que se respeta la máxima altura de succión de siete metros de nivel entre la bomba y la superficie del agua. La tubería de aspiración debe estar equipada en su pie con una válvula de no retorno, que permita la entrada de agua pero evite que esta pueda salir de nuevo por el lado de succión de la línea. Antes de esta válvula, se coloca una rejilla que evite la entrada de objetos grandes como hojas, plantas o piedras.

Se deben tomar medidas para no contaminar la fuente con lubricantes o combustibles de la motobomba y mantener limpio el lugar de la instalación.

Las motobombas se diseñan para diámetros específicos de tubería. En la línea de succión, no se debe montar un diámetro inferior al de la bomba, si bien en la salida se pueden acoplar tuberías de mayor diámetro. En instalaciones semipermanentes, la bomba y las tuberías deben estar fijadas a una plataforma para evitar vibraciones y daños y la bomba debe estar protegida contra la lluvia y el sol con una caseta bien ventilada que garantice su refrigeración.

En zonas donde existen abundantes sólidos en suspensión en las aguas superficiales se puede realizar un prefiltrado mediante la excavación de un pozo somero que recoge el agua que se infiltra desde la masa de agua superficial. Dependiendo de la permeabilidad del suelo, se puede realizar una galería rellena de grava y arena entre la masa de agua y el pozo para facilitar el filtrado.

Los sistemas de bombeo en aguas superficiales se realizan, generalmente, con bombas de motor de combustión (gasolina o diésel).

Las bombas más habituales son las de caudal de descarga de entre 25 a 35 m³/hora, con altura máxima de descarga de unos 28 a 38 metros y altura máxima de succión de siete metros.

Por su peso, facilidad de transporte, eficacia (caudal y altura de descarga), y por su sencillez y resistencia, se utilizan bombas rotodinámicas o centrífugas acopladas a un motor de combustible. En ocasiones, también se utilizan bombas rotodinámicas con motor eléctrico de una o varias etapas, que requieren disponer de un generador para su alimentación eléctrica.

5.2.3 El sistema de almacenamiento

Una vez obtenida el agua, se requieren estructuras para su almacenamiento. Pueden ser de diferentes tipos (figuras 3 y 4): depósitos metálicos y de polietileno (de 1,2 o 5 m³), que se adquieren en los almacenes de las organizaciones humanitarias y en mercados locales; de tipo *bladders* y *onion* (de 15 a 25 m³) (figura 5); depósitos Oxfam (de hasta 100 m³), que normalmente se encuentran en *stock* en almacenes de organizaciones humanitarias, permiten una puesta rápida en funcionamiento y suelen tener el volumen del consumo de un día; y depósitos de hormigón armado y metálicos, que permi-



Figura 3. Depósitos de agua en los campamentos de refugiados saharauis de Tindouf (Argelia). Imagen propia



Figura 4. Depósito de agua en los campamentos de refugiados saharauis de Tindouf (Argelia). Imagen propia

ten el almacenamiento de grandes volúmenes, suelen situarse elevados, a ras de suelo o enterrados, se instalan atendiendo al tiempo de fraguado del hormigón y deben mantenerse limpios interiormente.



Figura 5. Contenedores individuales de agua en los campamentos de refugiados saharauis de Tindouf (Argelia). Imagen propia

5.2.4 Distribución del agua: conducciones y grifos

El siguiente aspecto para tener en cuenta es el transporte de agua que, en función de la ubicación de la fuente, será por gravedad o por bombeo. También es el momento para seleccionar el lugar para la instalación de la zona de tratamiento (Sphere Association, 2018).

En cuanto a las conducciones de distribución, hay que considerar aspectos como el tipo de material (acero inoxidable, polietileno, etc.), el diámetro (mm o pulgadas) o la presión interior admisible (bar). Se debe dimensionar para una velocidad media entre 0,5 y 1,5 m³/s, con el fin de evitar la acumulación de sólidos y pérdidas excesivas de carga.

Para que todas las personas puedan tener un acceso equitativo al agua potable abastecida, se deben crear y mantener puntos de distribución no más alejados de quinientos metros de sus hogares.

Debe existir al menos un grifo con un caudal de 7,5 l/min por cada doscientos cincuenta personas.

Se utilizan habitualmente rampas de distribución prefabricadas, con seis grifos cada una y se instalan en una plataforma de material firme y bien drenada.

5.2.5 Tratamiento de agua comunitario

En situaciones de emergencia, es frecuente disponer de aguas de diferentes calidades y niveles de contaminación o con turbidez, por lo que los sistemas de tratamiento de agua deben estar preparados para tratarlas de forma efectiva y segura, deben ser simples en cuanto al montaje y manejo, ser económicamente aceptables, robustos y resistentes, transportables y con una producción adecuada para la población que debe ser abastecida (House y Reed, 1997).

La selección del tratamiento depende también de factores como el tipo de emergencia (inundación, destrucción por terremoto, desplazamiento, etc.), la población afectada (número de personas afectadas, religión, costumbres, datos demográficos, etc.), la disponibilidad de agua en el lugar y la región (fuentes afectadas por el desastre, acceso a las fuentes, situación de sequía, etc.), o los materiales y herramientas localmente accesibles (estándares nacionales, instalaciones de tratamiento en emergencia disponibles).

También es muy importante conocer la demanda de agua y los recursos humanos (locales y expatriados) disponibles para montar y operar el tratamiento y su experiencia previa.

Se deben cubrir las necesidades planificadas y que se compruebe la mejora significativa de la calidad del agua bajo la normativa de la OMS/Esfera, así como que el sistema sea potencialmente viable y su complejidad adecuada para la situación. También debe garantizarse el mantenimiento que requiera el sistema elegido (y asegurar los consumibles del equipo durante el tiempo de operación) y que los costes de compra y operación del equipo (euros/litro) sean accesibles para la organización. Del mismo modo, es esencial la rapidez y el tiempo necesario para disponer del equipo funcionando.

Para aguas superficiales, el sistema de tratamiento más sencillo, menos costoso y apto para muchas circunstancias, debería incorporar ya en la toma de agua un pretratamiento (galería de infiltración), y ser capaz de inyectar y mezclar el floculante/coagulante al agua en la dosis correcta, que pueda manejar aguas

crudas con elevada turbidez y sea capaz de disminuirla a menos de 5 NTU, que separe el agua clarificada de los lodos sedimentados y que realice, en otro tanque, la desinfección con cloro.

Este proceso puede llevarse a cabo con materiales relativamente simples y accesibles como tanques desplegados, motobombas, tuberías y baldes (sistema BATCH).

En condiciones más complejas en las que el uso de sistemas BATCH no es posible (material, espacio accesible o tiempo disponible), se requiere agua más depurada o existen sospechas de contaminación no biológica, se debe considerar el uso de plantas de potabilización móviles, compactas.

Una vez que el agua cruda es clarificada por debajo de 5 NTU, desinfectada con cloro, toda la instalación está en marcha y el agua sale de los grifos, se debe realizar en la rampa un análisis final de la calidad de agua, antes de abrirla al público. Este proceso se debe repetir después de cada cambio en el tratamiento (cada Batch o lote de agua) y al menos una vez al día.

Si la prueba con el tubo de turbidez indica menos de 5 NTU y el Cloro Libre Residual (CLR) alcanza un mínimo de 0,5 mg/l, se puede asumir que todos los patógenos han sido oxidados y el agua es segura de forma bacteriológica.

En una fase más avanzada de la intervención, y lo antes posible, deben implementarse análisis bacteriológicos. Son válidos diferentes kits de campo con resultados cuantitativos (cuantos *E-coli* hay en 100 ml) y no cuantitativos (tubos de Colialert que indican la presencia o no de *E-coli*, sin especificar su número). Dado que la normativa de la OMS indica que debe haber cero coliformes fecales (el indicador internacional es la bacteria *E-coli*) en 100 ml de agua, los test no cuantitativos son más sencillos y viables. También se pueden analizar las muestras en un laboratorio cercano para obtener un análisis completo.

En cuanto a los parámetros físicos, en una intervención de emergencia pueden controlarse de una forma fácil mediante kits de campo la temperatura, la turbidez, la conductividad y el pH. La temperatura del agua puede indicar un almacenamiento o una conducción inadecuada y causar mal sabor por la combinación con el cloro. La conductividad puede indicar presencia de sales y minerales y, en casos extremos, influir también en el sabor. Estos parámetros deben medirse antes del tratamiento y repetirlos en el punto de distribución, aunque no es necesaria la misma regularidad que con los análisis bacteriológicos.

Los productos que se utilizan en el tratamiento (coagulantes, floculantes, etc.) también deben analizarse mediante distintas pruebas y realizar pruebas de zinc, si se recoge agua de lluvia sobre techos de dicho metal y análisis de nitratos y nitritos en aguas con posible contaminación por fertilizantes o purines.

5.2.6 Tratamiento domiciliario

El tratamiento o la potabilización de agua a nivel domiciliario fue incorporado al protocolo de emergencias al observar que se produce contaminación entre la fuente y su consumo en casa. El tratamiento y el almacenamiento seguro del agua en casa permite a los consumidores controlar la calidad de su agua potable y participar en su potabilización (Sphere Association, 2018).

Hay que tener en cuenta que, aunque el agua para consumo sea clara, sin turbidez (< 5 NTU) y sin contaminación biológica (0 coliformes/100ml), puede contaminarse antes del consumo en el contenedor de transporte, por las manos, en el lugar de almacenamiento en casa, en la cocina o en el vaso usado para beber.

El tratamiento domiciliario debe ser capaz de eliminar los patógenos (bacterias, virus, huevos, quistes) del agua potable; ser simple, sencillo de entender, manejable y fácil de limpiar; tener un precio y recambios accesibles; mantener el agua segura (que debe estar cubierta y poder ser extraída sin contaminación); ser aceptable para los usuarios con relación a su cultura, religión, gustos y costumbres; los materiales deben proporcionar información adecuada para su uso y su mantenimiento.

En el contexto de emergencias, se recomiendan el uso de un contenedor seguro, el tratamiento con productos combinados de floculación y cloración, el uso de filtros cerámicos (candela o maceta) y la cloración con pastillas. Otros sistemas más complejos no se recomiendan en emergencias.

5.2.7 Contenedores de agua para el transporte y el almacenamiento seguro en casa

En muchas ocasiones, la contaminación microbiológica procede de las petacas utilizadas para el almacenamiento y el transporte y la extracción desde el recipiente (con manos o vasos sucios) es la causa de la contaminación. Por ello, los contenedores deben estar equipados con una válvula, ser fáciles de limpiar y hacerlo

regularmente, ser de un material resistente y claro (para la visibilidad de la suciedad), ser de larga vida, tener tapa, con un precio accesible, con capacidad adecuada (10-20 litros), y ser económicos para el transporte y la distribución.

El «Balde Oxfam» reúne estas cualidades. En cada hogar, debe haber, por lo menos, dos de estos contenedores (uno para el transporte y otro para el almacenamiento).

Para aguas turbias se recomienda el uso de productos combinados de floculación y cloración, puesto que la turbidez influye en la eficacia de la cloración. Existen diversos productos combinados en sobre para diez y veinte litros, que son utilizados por diferentes agencias y ONG, y realizan el proceso de la coagulación-floculación y precipitación combinada con la desinfección química con agentes germicidas.

Cuando hay agua clara disponible (< 5 NTU) puede clorarse a nivel doméstico con sobres o pastillas, polvos o granulados de desinfectantes sin floculantes para el tratamiento de uno a quinientos litros.

Para mejorar la transparencia del agua, eliminando bacterias, algunos virus, huevos de parásitos, quistes y partículas sólidas existen filtros cerámicos eficaces. Los hay con elementos de filtración cilíndricos (tipo *candela*), que suponen un método sencillo que trabaja por gravedad. Estos filtros son costosos y las candelas cerámicas pueden romperse en el transporte. Los elementos de filtración son accesibles en muy pocos lugares y en la mayoría de los hogares no hay capacidad económica para adquirir los recambios.

También hay filtros domiciliarios del tipo *maceta*, que se componen de un filtro cerámico en forma de maceta, un balde receptor y una tapa. El receptor puede ser de plástico, cerámica o acero inoxidable. El filtro está realizado con cerámica porosa, arcilla mezclada con cáscara de arroz o serrín. Estos filtros tienen bajo mantenimiento, pueden ser producidos en manufacturas locales o nacionales y, en muchos casos, es una opción más económica que la cloración u otro tipo de filtración.

Bibliografía

Davis, J. y Lambert, R. (2002). *Engineering in Emergencies. A practical guide for relief workers*. ITDG Publishing.

- House, S. y Reed, B. (1997). *Emergency water sources. Guidelines for selection and treatment*. Water, Engineering and Development Centre (WEDEC), Loughborough University.
- López Dorado, L. y Schiffer, A. (2012). *Manual de requerimientos mínimos para intervenciones en agua, saneamiento e higiene en emergencias*. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, AECID.
- Médicos sin Fronteras (2010). *Public health engineering in precarious situation*.
- Sphere Association (2018). *The Sphere Handbook: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response*. 4.ª ed. Ginebra, Suiza.
- UN. Committee on Economic, Social and Cultural Rights. (2002). *General Comment no. 15. The right to water*. UN Committee on Economic, Social and Cultural Rights. Naciones Unidas.
- UNHCR ACNUR (2022). Mapa mundial de la población refugiada en 2020 [en línea]. UNHCR ACNUR. [Consulta: 30 mayo 2024]. Disponible en: <https://eacnur.org/es/actualidad/noticias/desplazados/mapa-mundial-desplazamientos-refugiados>
- United Nations. (2010). Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010. United Nations General Assembly.
- United Nations. (2024). UN Water data portal [en línea]. [Consulta: diciembre 2024].
- WHO (2022). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda*. Geneva, World Health Organization ISBN 978-92-4-004506-4.

Capítulo cuarto

Gestión integral del agua en campamentos militares

Jaime Lancho Cenamor

Resumen

La gestión integral del agua (GIA) en los campamentos militares es un factor con gran influencia en la elección de su emplazamiento y contribuye al éxito en la elección de su diseño, ejecución y posterior ocupación por la Fuerza.

El abastecimiento comprende la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua destinada al consumo, mientras que el saneamiento abarca las acciones necesarias para la evacuación de las aguas residuales, bien sea la conducción y tratamiento de las aguas blancas, grises y negras, o su almacenamiento temporal en fosas sépticas y posterior retirada por parte de empresas especializadas.

Palabras clave

Gestión integral del agua, GIA, Campamento militar, Saneamiento.

Integrated water management in military camps

Abstract

Integrated water management (IWM) in military camps is a factor that greatly influences the choice of location and contributes to the success of their design, implementation, and subsequent occupation by the Force.

Supply includes the collection, conveyance, treatment, storage, and distribution of water intended for consumption, while sanitation encompasses the actions necessary for the disposal of wastewater, whether the conveyance and treatment of white, gray, and black water or its temporary storage in septic tanks and subsequent removal by specialized companies.

Key words

Integrated water management, IWM, Military camp, Sanitation.

Introducción

La gestión integral del agua (GIA) en los campamentos militares es un factor con gran influencia en la elección de su emplazamiento y contribuye al éxito en la elección de su diseño, ejecución y posterior ocupación por la Fuerza.

En todos los conflictos a lo largo de la historia, el agua ha sido uno de los aspectos cruciales en cuanto a la ubicación y construcción de campamentos, fortificaciones y castillos, de los cuales se tienen innumerables ejemplos, como el asedio de Masada en Judea por parte de Roma, los aljibes construidos en cientos de castillos en España, las indicaciones de Sancho de Londoño en su «Discurso sobre la forma de reducir la Disciplina Militar a su mejor y antiguo estado» y las referencias a la importancia y empleo del agua que aparecen en el «Tratado de Castrametación o Arte de Campar» del Teniente Coronel Ferraz en el año 1800.



Figura 1. Aljibe árabe de Cáceres. Fuente: <http://museodecaceres.juntaex.es/web/view/portal/index/standardPage.php?id=62>

Por esta razón, es importante tener en cuenta este factor a la hora de la realización del reconocimiento de la zona previo al despliegue. El oficial de ingenieros que forme parte de dicho reconocimiento tiene que estar capacitado para asesorar convenientemente al Mando en cuanto a la conveniencia de las ubicaciones propuestas desde la perspectiva del agua. «Es importante recordar la máxima "sin agua no hay vida"».

Una vez tomada la decisión sobre la ubicación del campamento, el oficial de ingenieros que tenga encomendada la misión del diseño del sistema completo de la GIA debe acometerlo desde una visión global. El punto de partida más conveniente es la realización del inventario de recursos hídricos de la zona, que cuenta

con los superficiales, subterráneos y atmosféricos, aunque estos últimos solo se podrán emplear en condiciones especiales, en la proximidad de la costa y con alta humedad relativa.

Este inventario debe contemplar tanto la cantidad como la calidad; y es fundamental para ambos aspectos recabar toda la información posible referente a las actividades humanas en la zona. Es imprescindible determinar los recursos hídricos que emplea la población local y cuantificar la cantidad diaria de agua necesaria, así como las actividades desarrolladas que puedan ser fuente de contaminación del agua (agrícolas, ganaderas, industriales o humanas), siguiendo por las posibilidades de captación y acabando por la evacuación de las aguas residuales en cuanto a cantidad y calidad del efluente.

1 Concepto de la GIA

La GIA comprende las siguientes fases:

- Captación
- Conducción
- Tratamiento
- Almacenamiento
- Distribución
- Saneamiento

Estas fases se pueden agrupar en dos grandes procesos: el abastecimiento y el saneamiento.

El abastecimiento comprende la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua destinada al consumo, mientras que el saneamiento abarca las acciones necesarias para la evacuación de las aguas residuales; bien sea la conducción y tratamiento de las aguas blancas, grises y negras o su almacenamiento temporal en fosas sépticas y posterior retirada por parte de empresas especializadas que disponen de cubas dotadas de bombas de succión, así como de los fangos resultantes del tratamiento de las aguas residuales.

Para realizar un diseño acertado y optimizar la GIA, se deberá tener en cuenta una serie de factores, comenzando por la ubicación correcta del campamento que se trata en el punto 3. Una vez decidido un emplazamiento que disponga de agua suficiente para

nuestras necesidades, hay que enfrentarse al diseño de todo el sistema de aguas y debe hacerse desde un punto de vista amplio y con visión de conjunto, y descender posteriormente al detalle de cada uno de los elementos que lo componen.

Esto supone evitar el sobredimensionamiento de algunos elementos que luego podrían provocar embudos en unos casos y cuellos de botella en otros, que no podrían dar abasto con el caudal recibido, lo que haría vulnerable e ineficiente al conjunto.

Si se capta y se distribuye más agua de la que se puede evacuar y tratar de forma adecuada en la Estación de Tratamiento de Aguas Residuales (EDAR), es evidente que se tendrán que tomar medidas correctivas que normalmente serán difíciles de poner en práctica una vez ocupado y operativo el campamento, además de ser caras e incómodas para el personal que lo ocupa.

Como primera aproximación, se debe contar con la dotación de agua que el mando decida para el personal que va a ocupar el campamento. Esta dotación, *a priori*, estará alrededor de los ciento cincuenta litros por persona y día, según el ATP-104 Water Production, Storage and Distribution, pero puede variar enormemente en función de multitud de factores como la climatología, la moral de las tropas y una larga lista de posibilidades.

Propuesta del ATP 104 para tiempo frío:

Types of Use	Phase		Qualitative Water Characterization
	Arrival in Theater	Full Ops in Theater	
Drinking and summary ablutions	15	15	Potable
Kitchen	10	10	Potable
Showers	20	40	Potable
Laundry	10	10	Potable
WC	10	10	Technical
Cleaning Premises	10	10	Technical
Cleaning Equipment	-	50	Technical
TOTAL	75	145	

Figura 2. Requerimientos de agua/persona par tiempo frío

Una vez definido este dato, se pueden dimensionar las bombas hidroneumáticas para poder impulsar la cantidad de agua diaria necesaria, así como el sistema de conducción preciso para llevarla a los depósitos y de estos a los puntos de distribución y consumo.

Estos depósitos se dimensionan también a partir de la cantidad de agua necesaria para un día de dotación «C», que puede ser

ampliado en función del agua de reserva que se decida almacenar, normalmente entre C y $C/3$, y del agua contra incendios si se obtiene del mismo punto de aguada. En el caso de los campamentos más habituales –menos de 5000 PAX–, se calculan 3500 litros.

Con estos datos de consumo, junto con la calidad del agua a la entrada de los depósitos, se dimensiona la planta de potabilización necesaria para poder tratar a diario la cantidad de agua determinada. El caso más habitual es emplear las potabilizadoras en dotación del ET, actualmente SETA, y conocer sus posibilidades en función del tipo de agua bruta a tratar, pero no se debe descartar la posibilidad de emplear potabilizadoras civiles de adquisición en zona de operaciones (ZO), si fuera necesario. Es muy importante conocer los potenciales contaminantes que se pueden encontrar en el agua para diseñar adecuadamente las fases de potabilización necesarias, lo que evita que otras reduzcan el rendimiento o implique añadir reactivos innecesarios al agua que luego se consumirán.

El siguiente punto sería el diseño de la red de distribución, capaz de llevar el agua a los puntos de consumo necesarios del campamento e intenta hacerlo de la forma más eficiente posible, de modo que agrupa los grandes consumidores, optimiza la ubicación de los contenedores de ablución en función de las necesidades y de la comodidad del personal, y garantiza que, en caso de avería o rotura, se pueda aislar la misma y enviar el suministro de agua por otro ramal de la red empleando redes malladas.

Llegados a este punto, hay que decidir el empleo del agua pluvial y qué hacer con las aguas grises. Si el agua de lluvia se va a recoger, es necesario diseñar una red específica y, en función del destino que se le vaya a dar, almacenarla y tratarla del modo adecuado.

La solución óptima para el aprovechamiento de las aguas pluviales pasa por su recogida en *balsas de recarga* —balsas en terreno permeable que recogen el agua pluvial y facilitan su infiltración en el terreno)—. Las ventajas de esta solución son: capacidad ilimitada de almacenamiento en el acuífero, filtración y tratamiento del agua por el propio terreno que elimina los riesgos sanitarios de las aguas estancadas. Esta solución solo es factible si el terreno presenta condiciones adecuadas: idealmente, depósitos de naturaleza aluvial con un nivel freático no próximo en exceso a la superficie (> 3 m).

En función de su empleo, se diseña la red de aguas pluviales de aprovechamiento que influyen en el sistema de drenaje del campamento. El agua recogida para consumo se debe almacenar y tratar como el agua de captación del acuífero de abastecimiento, mientras que la recogida para empleo como agua técnica debe almacenarse y tratarse aparte siempre con la debida señalización.

Si se recogen las aguas pluviales, pero no se emplean para potabilizarlas y consumirlas, sino para agua técnica, se debe tratar de modo específico y almacenar en depósitos claramente diferenciados de los de agua potable y debidamente señalizados. Esta red debe estar separada por completo de la de potables y siempre discurrir por debajo de esta en los tramos comunes.

Se entiende por agua técnica la que recibe un tratamiento de filtración mecánico y una cloración de choque, pero que no la hace potable; se puede emplear para diversos usos, pero no para consumo humano, confección de alimentos, lavandería ni aseo personal.

En el peor de los casos, si no se recogen las aguas pluviales, se debe tener previsto su drenaje y, si va a ir a parar a una red unitaria de evacuación junto con las negras y grises, hay que tenerlas en cuenta para dimensionar la EDAR.

Las aguas grises se pueden unir a las aguas negras en redes unitarias, en cuyo caso hay que tener en cuenta ambas para el dimensionamiento de la EDAR o bien se pueden unir a las aguas pluviales cuando estas se vayan a utilizar como agua técnica. Con el actual diseño de los contenedores de ablución con los que cuenta el ET, las aguas grises y negras de estos contenedores discurren por redes unitarias y reciben el mismo tratamiento, pero no así las aguas grises de cocinas y lavanderías, que pueden ser tratadas como agua técnica junto con las pluviales.

En función de la escasez de agua en la zona y del presupuesto, entre otros factores, se debe optar por un sistema que optimice el empleo del agua y no encarezca la construcción de un modo prohibitivo. Ante la duda, cuanto más agua pluvial se aproveche y más agua gris se reutilice, más eficiente y ecológica será la instalación, y se obtendrá menos impacto negativo en el medio ambiente y, por ende, en la población local, lo que minimizará, así, la huella hídrica.

Las aguas negras deben ser todas tratadas en la EDAR, que se dimensionará contando con las aguas grises y blancas que proceda. Como primera aproximación, se debe contar con que el 85 % del agua de abastecimiento va a la red de evacuación.

2 Criterios para la elección del emplazamiento del campamento

En el reconocimiento previo para la elección del emplazamiento, se deben tener en cuenta multitud de factores para asesorar de manera adecuada al jefe sobre la mejor ubicación desde el punto de vista de la GIA, que, necesariamente, habrá que coordinar con las necesidades tácticas, de seguridad y de cualquier índole que puedan influir en la conveniencia del establecimiento del campamento en un punto concreto.

Independientemente de la zona de despliegue, se han de realizar una serie de acciones previas al desplazamiento para recabar la mayor cantidad posible de información, a fin de tener una visión de conjunto sobre lo que se espera del asesoramiento en el aspecto de la GIA.

Hay que conocer en lo posible la idea del jefe en cuanto a la misión general de la Fuerza, la capacidad del campamento, la permanencia del despliegue, la ubicación geográfica de este, la situación de seguridad en la zona, etc.

Para ello, se tratará de recabar esta información por todos los medios posibles incluidas fuentes abiertas que serán debidamente contrastadas.

En cualquier caso, se hace imprescindible conocer:

- Zona geográfica del despliegue y su topografía.
- Climatología, con especial atención a las temperaturas, pluviosidad y tormentas.
- Tiempo estimado de permanencia del campamento.
- Número de ocupantes previstos del campamento.
- Hidrología de la zona.
- Calidad del agua de la zona.
- Infraestructura hidráulica existente y su estado.
- Empresas del sector del agua en el Área de Responsabilidad (AOR), tanto locales como las contratadas que puedan operar en la zona.
- Situación de la seguridad y ambiente de la población respecto a la Fuerza.
- Impacto probable en poblaciones cercanas que pudiera tener la explotación de los acuíferos de la zona por nuestra parte.

- Actividad industrial, agrícola o ganadera desarrollada en el entorno de la base y su potencial contaminador.
- Resto de informaciones que pudieran influir en la propuesta de ubicación.

Con estas premisas respecto al agua, se estará en condiciones de optimizar el tiempo del que se disponga para el reconocimiento en la zona, que siempre será escaso.

Se pasa a analizar cada necesidad de información propuesta para concretar los datos a recabar en cada una de ellas.



Figura 3. Base Gran Capitán. Fuente: <https://www.bolsamania.com/noticias/politica/el-jemad-visita-las-tropas-espanolas-desplegadas-en-turquia-afganistan-e-irak--2753266.html>

2.1 Zona geográfica del despliegue y su topografía

Mediante petición al Centro Geográfico del Ejército (CEGET), se recabará la cartografía de la zona con diferentes escalas para su estudio.

Se debe ampliar con fotografía aérea tanto obtenida por conducto oficial como por la obtenida de fuentes abiertas.

Si existe la posibilidad de obtener información de puntos concretos mediante UAV's, drones, etc., se deben explotar, con el fin de obtener un detallado conocimiento de la zona.

El objetivo es tener una idea clara del aspecto de la zona, tanto de su relieve como de los cursos y masas de agua, núcleos de población cercanos, etc.

Es necesario prestar especial atención a la toponimia, ya que dará información adicional sobre la posible existencia de fuentes, manantiales, etc. Para ello, se hará necesario el apoyo de traductores debidamente acreditados en las ocasiones en las que las leyendas e indicaciones de los mapas estén escritas en idiomas que no domine el técnico que acometa esta tarea.

Si es posible, se localizarán mapas geológicos que serán de gran ayuda para detectar masas de agua subterránea para posibles captaciones, a la vez que facilita información para pronosticar la profundidad de la capa freática, a determinar ya en el reconocimiento y que debería estar al menos a 3,5 metros por debajo de la superficie del terreno.

Es frecuente que en países en vías de desarrollado la población local viva sobre importantes acuíferos profundos que no explotan, por carecer de infraestructura o de fuentes de energía para captar el agua. Por tanto, se conforman con explotar acuíferos superficiales de peor calidad. El estudio y evaluación de los recursos subterráneos es una tarea compleja que requiere de expertos en hidrología subterránea.

Entre los condicionantes a tener en cuenta está la pendiente del terreno. Se debe evitar el llano por la dificultad que plantea a la necesaria red de drenaje de aguas pluviales del campamento. La elección de un emplazamiento con una ligera pendiente media de alrededor del 3 %, y por debajo del 5 %, facilita esta evacuación, además de simplificar el diseño de las redes de distribución y evacuación. Especial atención hay que prestar a los llanos inundables, para evitarlos por todos los medios por los evidentes inconvenientes que presentan.

También es necesario estudiar la facilidad para la evacuación de pluviales y residuales tratadas a cursos de agua, barrancos y puntos apropiados que no ocasionen conflictos con la nación anfitriona, en adelante HNS.

2.2 Climatología, con especial atención las temperaturas, pluviosidad y tormentas

Las temperaturas máximas influirán en la necesidad de suministro de agua al personal desplegado. A mayor temperatura, mayor

necesidad de agua por persona y día. Es importante tratar de no bajar la ratio si no es imprescindible por el impacto de esta acción en la moral de las tropas.

El ATP-104 indica la dotación a tener en cuenta en función del clima, ya sea cálido o frío. No hay que olvidar que la temperatura del agua de boca es un factor muy importante de su calidad y que, por encima de 20 °C, aumenta el riesgo de proliferación de microorganismos no deseados y es menos apetecible para el personal, al cual se le debe ofrecer, siempre que sea posible, agua de boca a una temperatura lo más constante posible entre 5 y 15 °C.

Las temperaturas máximas y mínimas influirán en la protección que se debe a los depósitos de regulación y a la red de distribución. Las temperaturas elevadas provocan la evaporación de las reservas de agua en los depósitos, por lo que se aconsejará también su protección al menos con tinglados o sombrajos.

El riesgo de heladas puede producir roturas en las conducciones, por ello, puede ser factible el tener que enterrar las conducciones a más de 60 cm de profundidad, y también tener que aislar térmicamente los depósitos.

Estas circunstancias podrían, incluso, aconsejar el empleo de depósitos enterrados o semienterrados en vez de los depósitos superficiales de dotación del ET.

En cuanto a la pluviosidad, se hace necesario estudiarla para saber si es constante o estacional, ya que, si se pretende explotar los recursos pluviales para el abastecimiento, es fundamental conocer la distribución de las lluvias.

Con superficies lisas (cubiertas o pavimentos), hay que despreciar todas las precipitaciones por debajo de 3 mm y para superficies de tierra o con cubierta vegetal por debajo de 10 mm. Se debe estudiar también el mapa de isoyetas de la zona, con el fin de calcular el dimensionamiento de los drenajes por los viales del campamento, la necesaria pista de circunvalación perimetral para la seguridad, los bombeos de los viales y helipuerto, así como de las explanadas existentes.

Esta circunstancia puede aconsejar, en caso de emplear contenedores en el campamento, el diseño y ejecución de un sistema de canalones y bajantes con imbornales para la recogida de las aguas pluviales y su almacenamiento en depósitos de agua para posteriores empleos como reservas contraincendios, lavaderos de vehículos, riegos y baldeo de viales y explanadas si es conve-

niente, incluso riego de jardines y zonas verdes en campamentos permanentes y semipermanentes.

En estos cálculos se tendrá en cuenta el Código Técnico de la Edificación (CTE).

El estudio de las tormentas y trombas de agua ocasionales puede aconsejar la búsqueda de cuevas subterráneas próximas o la construcción de un depósito de tormentas para evacuar y almacenar ese exceso de agua de forma conveniente. Se tendrá en cuenta el posible tratamiento del agua y su liberación al sistema hidráulico de la zona, para evitar la proliferación de insectos por las posibles molestias y enfermedades que pudieran afectar al personal que ocupa el campamento, y se emplearán las balsas de recarga anteriormente descritas en el apartado 1.

Todos los depósitos deben estar preservados de la intemperie por protección vertical y horizontal para minimizar el impacto de la radiación solar, el gradiente de temperaturas y la posibilidad de que el agua se contamine con partículas en suspensión. Esta protección puede ser realizada en un inicio con tiendas colectivas tipo modular para ser posteriormente perfeccionada.

2.3 Tiempo estimado de permanencia del campamento

En función del tiempo de ocupación, la infraestructura del campamento se irá perfeccionando y haciéndose más compleja, y se pasará de una entrada inicial en tiendas y empleo de WC químicos con servicios mínimos de agua como alimentación y duchas, considerados como esenciales en campamentos temporales, hasta diseños permanentes y semipermanentes que contemplen unas completas redes de abastecimiento y saneamiento con servicios de lavandería, cooperativa, jardines, etc. El ATP-104 indica la dotación adecuada a la entrada en ZO y, posteriormente, durante el transcurso de las operaciones.

En los casos de campamentos que evolucionan por aumento del tiempo de ocupación y, por consiguiente, van cambiando su diseño, es necesario tener previstos los cambios en la cantidad de agua que se debe tener almacenada en los depósitos de regulación, el paso de WC químicos a contenedores de ablución conectados a fosas sépticas o a redes de saneamiento, así como las capacidades de distribución de agua potable y de depuración en la EDAR al objeto de evitar los «cuellos de botella» por donde la red de la GIA puede verse colapsada.

Se deberá tener en cuenta en estos campamentos con una evolución dinámica la posibilidad de aprovechamiento de las aguas pluviales y grises, con la consiguiente construcción de redes y depósitos propios con un tratamiento específico para su empleo como agua técnica, tanto en la instalación de depósitos contra incendios como de riego, lavado de vehículos, etc. Para lograrlo, es muy importante, desde las primeras fases de la construcción de la base, diferenciar la red de evacuación de aguas negras (incluyendo los vertidos de grasas u otros contaminantes) de las que solo llevan trazas de detergentes (aseo personal).

2.4 Número de personas que ocuparán el campamento

El número de personas que ocupen el campamento es determinante para realizar el diseño de todo el sistema.

Es necesario contemplar en el dimensionamiento no solo la Fuerza prevista, sino los posibles refuerzos que se alojen de forma temporal (Bon electoral de Afganistán) y los transeúntes.

Como datos de inicio de los cálculos se partirá de los mínimos estipulados por el ATP-104, aunque en épocas de restricción puede llegar a un mínimo de veinticinco litros de agua potable por persona y día, más un mínimo variable de agua técnica, una producción de en torno a cincuenta litros de aguas negras por persona y día. y una ratio de un WC y una ducha cada diez personas.

La situación irá variando, por lo que estos datos lo harán también en uno u otro sentido, de modo y manera que puede darse la situación de la Base Cervantes en el Líbano (sin restricciones), o bien extremando las medidas de control de consumo de agua (COP, s en determinadas situaciones).

Las ULOG desplegadas en ZO tendrán, además, la cantidad de agua embotellada en sus almacenes y contenedores isoterms que definan los Procedimientos Logísticos, (PROL, s), en función del número de personas que se alojen en el campamento y de la reserva marcada en días de suministro, (DOS). Habitualmente, se estima en siete DOS de reserva, aunque puede variar en función de la situación.

El número de personas del campamento también define el número de refugios, estos pueden tener dotación de agua embotellada para el número previsto de ocupantes en un tiempo concreto a

determinar en el PROL. Esta cantidad de agua almacenada debe ser periódicamente revisada y renovada cuando se acerque su fecha de consumo preferente.

2.5 Hidrología de la zona

La hidrología de la zona es otro elemento determinante a la hora de elegir una ubicación.

La mejor opción será que el punto de captación de agua para consumo se encuentre en el interior del campamento, debido a la servidumbre logística que implica el transporte del agua y a la vulnerabilidad que supone para la seguridad del personal durante los trayectos, fácilmente identificables por eventuales elementos hostiles, así como la posibilidad de sufrir sabotajes en el propio punto de captación.

Otra buena opción es enganchar a la red de distribución local de agua potable y canalizar las aguas negras al sistema de saneamiento público, pero este no será el caso más habitual.

En cualquier caso, siempre debe garantizarse una capacidad de almacenamiento mínima en el interior de la base definida en el PROL.

2.6 Calidad del agua de la zona

La calidad del agua de consumo debe cumplir las condiciones del STANAG 2136. El servicio sanitario (farmacia) es el encargado de comprobar estos estándares de calidad y el único autorizado para realizar los análisis de potabilidad del agua.

No obstante, en el estudio previo a realizar, se deben evitar en lo posible masas de agua y ríos con evidentes síntomas de contaminación, aguas abajo de industrias contaminantes que evacuen aguas residuales al curso o masa de agua, explotaciones agrícolas y ganaderas en las mismas condiciones citadas y demás posibles casos sospechosos de contaminar el agua.

No obstante, la contaminación *per se* no es un impedimento para el aprovechamiento de los recursos hídricos. Lo fundamental es conocer qué actividades se han desarrollado en el entorno y, a partir de estos datos, solicitar que se incluya en los análisis de agua el muestreo de los parámetros que indiquen la presencia de estos contaminantes.

Una vez identificados los contaminantes presentes, se debe evaluar el riesgo y la rentabilidad de los procesos para eliminar dichos contaminantes del agua y ponderar la solución junto con otras alternativas de abastecimiento.

Uno de los primeros análisis a realizar es el de las cualidades organolépticas del agua y su turbidez, así como de la presencia de venenos y metales pesados, que puede aportarnos datos importantes sobre las posibilidades de consumo del agua a estudiar.

Una guía valiosa para el estudio es el STANAG 2885 sobre suministro de emergencia de agua.

2.7 Infraestructura existente y su estado

Las redes locales de suministro y evacuación deben ser la prioridad para el abastecimiento y evacuación del agua en los campamentos militares junto con la captación en el interior del propio campamento.

Según el STANAG 2885:

«Las necesidades de agua de las Fuerzas armadas son normalmente cubiertas por los sistemas públicos de suministro de agua». En caso de interrupción del abastecimiento normal de agua y del abastecimiento de agua preparado para la situación de defensa que es independiente de los sistemas públicos, las Fuerzas Armadas deben ser capaces, si quieren conservar su capacidad operativa, de satisfacer sus necesidades de agua potable y técnica gracias a un abastecimiento de emergencia asegurado por sus propios medios.

Por esta razón, se evaluará la infraestructura local de abastecimiento y evacuación de agua para los campamentos militares, sin perder de vista la calidad del agua suministrada y evacuada.

Siempre que sea posible, se usarán estas redes por la economía de medios y tiempo de puesta en servicio, sin embargo se mantendrán las siguientes precauciones:

- Empleo de depósitos de regulación con capacidad de reserva de emergencia a evaluar según la situación, y es en una COP la capacidad aconsejable de siete (7) días.
- Controles periódicos de la calidad del agua de abastecimiento siendo más frecuentes y aleatorios cuanto más elevada sea la amenaza.

- Chequeo periódico de la calidad del agua residual a la salida del campamento en su camino a la EDAR y del efluente de esta al medio ambiente.

Normalmente, un contaminante no es detectado si no se somete la muestra de agua al análisis específico para ese contaminante. Por esto, es necesario prestar atención a parámetros del agua que indican la presencia de anomalías:

- Balance iónico: si existe una diferencia entre el sumatorio de aniones y el de cationes (equivalentes), el agua presenta algún contaminante que no ha sido muestreado.
- pH: valores inferiores a 6,5 o superiores a 7,5 deben despertar sospechas.
- Conductividad eléctrica o residuo seco: incrementos o variación repentina de su valor.

La conducción del agua de suministro a los campamentos desde la red local se realizará, normalmente, mediante tubo de polietileno de alta densidad de uso alimentario normalizado, del calibre adecuado al caudal necesario en función de la demanda de agua calculada y, preferentemente, a lámina libre. Si el trazado del terreno no lo permite, se recurrirá al bombeo.

2.8 Empresas del sector del agua en la AOR

La existencia de empresas o la posibilidad de contratarlas tanto nacionales como de la organización de la que se dependa (OTAN, ONU, etc.) y de la HNS es otro de los puntos a estudiar.

Es relativamente habitual externalizar determinados servicios en función de la situación. Entre estos servicios se encuentran el abastecimiento de plantas potabilizadoras y su mantenimiento, de modo que pueden ser explotadas por personal militar o de la propia empresa contratada.

También es posible la contratación de plantas depuradoras de aguas residuales en las mismas condiciones de mantenimiento y explotación que las plantas potabilizadoras.

En otros casos se puede contratar los servicios de empresas con equipos de succión y vaciado de fosas sépticas, si este es el sistema empleado de eliminación de aguas residuales. En este caso, se hace necesario verificar, siempre que se pueda, que la empresa trata adecuadamente las aguas residuales conforme a

la legislación existente en la HNS. A falta de esa legislación, se adoptará la propia nacional o la que la organización internacional haya publicado.

Este sistema presenta vulnerabilidades de la seguridad del campamento, por lo que debe emplearse con precaución, y extremar las medidas de control de acceso al mismo.

Las ULOG y las UABA serán las encargadas del control de estos servicios, cada una en su ámbito de competencia, tras su puesta en funcionamiento por parte de la UAD (Unidad de Apoyo al Despliegue) que establezca el campamento.

Es conveniente reseñar que, en la actualidad, las UTE (Unión Temporal de Empresas), que habitualmente se contratan en ZO para realizar el servicio de alimentación, suministran como recurso de Clase 1.C el agua embotellada que se sirve en los comedores y también el agua almacenada, embotellada y paletizada en los locales preparados al efecto en las ULOG desplegadas en ZO y en las dotaciones de los refugios.

2.9 Situación de la seguridad y ambiente de la población respecto a la Fuerza

La situación va a determinar el grado de amenaza y, por consiguiente, va a afectar al diseño de nuestras instalaciones, lo que incluye el sistema GIA. Dependiendo de la amenaza, se puede hacer necesaria la colocación de protección vertical y horizontal en nuestros depósitos a base de sistemas de hesco bastión, t-wall, muros de hormigón armado y cubiertas horizontales, pudiendo ser de diversos materiales prefabricados, HA (hormigón armado), etc.

En cualquier situación de alerta, la planta potabilizadora estará vallada y con medidas de seguridad adicionales con el acceso restringido exclusivamente al personal autorizado, como los operadores de la planta, el personal para la toma de muestras, etc.

También debe ser vigilada la EDAR y estar vallada por ser otro punto sensible del sistema susceptible de sufrir sabotajes, lo que permite el acceso solo a las personas autorizadas.

En cuanto a la seguridad perimetral del campamento, es fundamental planificar los puntos de drenaje de las escorrentías para que no sean puntos débiles en la defensa. Para ello, se emplearán varios tubos de pequeño diámetro preferiblemente a uno solo de

gran tamaño, y con dispositivos sifónicos para dificultar el paso de intrusos a través de ellos.

También se debe garantizar que las aguas negras y grises, en caso de rotura de las conducciones, fluyan por gravedad fuera del recinto del campamento con las precauciones arriba descritas.

2.10 Impacto probable en poblaciones cercanas de la explotación de los acuíferos de la zona por nuestra parte

La explotación por parte de la Fuerza de los acuíferos locales puede afectar a las poblaciones cercanas, por lo que se debe tener en cuenta a la hora de escoger el emplazamiento, tratando que el consumo de agua no desabastezca a las citadas poblaciones y que el efluente de la EDAR no contamine otros acuíferos empleados por la población local.

No hay que olvidar el agua para el ganado o para riego, ya que su uso puede ser estacional y muy crítico, lo que pone en peligro la cosecha o la vida de los animales.

2.11 Resto de informaciones que pudieran influir en la propuesta de la ubicación

Aquí se engloban todas las circunstancias que, de un modo u otro, pudieran afectar a la ubicación, como posibles apoyos de cooperación cívico-militar, (CIMIC), y abastecen zonas con escasez de agua, reparación de pozos de uso compartido de la Fuerza con la población, etc.

3 Abastecimiento de agua a campamentos militares

El abastecimiento de agua consta de las siguientes fases.

- Captación
- Conducción
- Tratamiento
- Almacenamiento
- Distribución

Se va a desarrollar una secuencia de las fases para que sirva de guía al oficial de ingenieros que deba diseñar el sistema, sin profundizar en los cálculos, dando en cambio sencillas herramien-

tas informáticas para realizarlos que han sido desarrolladas por diversos oficiales del arma y que tienen probada eficacia tanto en territorio nacional como en operaciones.

3.1 Captación

La captación de agua para consumo se puede realizar de las siguientes formas:

- Captación de aguas superficiales
- Captación de aguas subterráneas
- Captación de aguas pluviales
- Captación de recursos atmosféricos - condensación humedad ambiental
- Captación de agua de mar y salobre
- Captación de la red de agua local

Cada modalidad de las mencionadas puede emplearse en combinación con el resto según se necesite, de modo que puede dedicarse, según los casos, alguna de ellas con un fin concreto.

El caso más deseable es el de empleo de la red local, mediante una conducción exclusiva al campamento combinado con captación en el interior de este. En este caso, hay que verificar también la calidad y cantidad de las aguas para garantizar el abastecimiento.

La captación de aguas superficiales con corriente como ríos y canales se deberá hacer aguas arriba de poblaciones y de otros posibles focos de contaminación, siempre que sea posible, a menos que la escasez del caudal obligue a situar la toma aguas abajo de la población para evitar reclamaciones, aún a costa de una peor calidad del agua.

Los análisis previos a la instalación del equipo de captación son preceptivos para no empezar a montar la instalación de captación hasta no comprobar que el agua es apta para el tratamiento de consumo y evitar pérdidas de tiempo y montajes infructuosos.

En aguas superficiales sin corriente, se realizan de igual forma los análisis previos y las tomas se colocan a media altura sin apoyar en el fondo donde habrán sedimentado las posibles materias contaminantes. Inicialmente, puede instalarse una manguera de succión con la alcachofa unida a un flotador anclado a la orilla de

forma que se ponga a suficiente distancia de la orilla y a media altura, para, posteriormente, colocar torres de toma y tuberías que optimicen la instalación.

La captación de aguas subterráneas se realiza mediante diversos tipos de pozos que pueden ser horizontales y verticales.

Los pozos horizontales son poco comunes y se dividen en galerías y drenes. En ambos casos, el agua se recoge por gravedad en un pozo colector desde el cual se inicia la impulsión. Es un sistema poco frecuente.

Los pozos verticales mucho más comunes se construyen penetrando verticalmente en el acuífero y colocando el grupo moto-bomba adecuado para su explotación. La excavación siempre es por debajo del nivel freático y se pueden construir con tubos de hormigón armado, ladrillos, tuberías de metal o PVC.

Existen diversos procedimientos para su construcción como las perforadoras a percusión y a rotación.



Figura 4. Perforadora a rotación. Fuente: Hard Rock Drilling Perforaciones » Pozos de Agua (hrd.cl)

Si el pozo hay que construirlo y no se puede aprovechar alguno existente por la zona, se debe estudiar esta para hacer las catas

apoyándose en los mapas geológicos, la toponimia y el conocimiento de los habitantes locales, además de los diversos métodos de búsqueda de agua que pueden ser contratados en caso de necesidad.

En lo posible, hay que evitar construir pozos en acuíferos superficiales que estén siendo explotados por la población local, puesto que se pueden provocar descensos en el nivel freático con consecuencias en captaciones próximas. Cuando existen acuíferos superficiales, es frecuente que aparezcan otros acuíferos profundos con un comportamiento hidráulico independiente del acuífero superficial y, por tanto, sin impacto sobre la población local.

La captación de aguas pluviales debe ponerse en valor, puesto que, hasta ahora, no está siendo muy empleada en los campamentos militares pese a sus posibilidades según la zona en la que se encuentre, fundamentalmente por la complejidad que supone como ya se comentó con anterioridad. Básicamente, se trata de unas zonas de recogida de aguas, unas conducciones y unos depósitos aljibe.

Si se cuenta con todas las superficies útiles del campamento, se han de tener en cuenta los siguientes elementos:

- Superficies de los tejados de las edificaciones además de tinglados y cubiertas.
- Explanadas, helipuertos y viales.
- Sistema de drenaje del campamento en su conjunto.

En todos los casos, se tiene previsto un sistema para desechar las primeras aguas que arrastran materiales contaminantes, para después aprovechar el resto de la precipitación hasta la altura máxima de los aliviaderos a partir de la cual el resto de las aguas se evacuarán del campamento por el sistema de drenajes hacia ríos, pantanos o bien al depósito de tormenta si se ha construido.

La precipitación recogida por las cubiertas se calcula para dimensionar los canalones, bajantes e imbornales por el procedimiento descrito en el Código Técnico de la Edificación en el Documento Básico DB-HS5.

Es interesante consultar también el documento del CTE DB-HS1, en cuyo punto 3.4 se describen las soluciones constructivas de las cubiertas para favorecer el drenaje de estas.

Las explanadas actúan como superficies de recogida o eras. Pueden ser de hormigón, grava, o bien de un suelo al menos tolerable, pero siempre se le dará inclinación o bombeo menor

del 5 % según la topografía del campamento, y se busca la mejor solución de forma que drene en las direcciones adecuadas para conducir el agua mediante cunetas o tuberías hacia los depósitos-aljibe si se va a aprovechar, o bien al sistema de drenaje general si se van a evacuar hacia zonas adecuadas aguas abajo del campamento.

Los helipuertos tendrán un suelo al menos tolerable con un espesor mínimo de 50 cm, y un bombeo de algo menos del 3 % para facilitar el drenaje y se conducirá el agua del mismo modo que en las explanadas.

En los viales se construirán cunetas de forma que recojan las aguas por gravedad, las conduzcan en paralelo al trazado hacia los depósitos-aljibe o bien al sistema de drenaje general.

El sistema de drenaje general del campamento en su conjunto incluirá, además, la pista perimétrica para patrullaje, que será, preferentemente, de grava u hormigón armado.

Este sistema recogerá precipitaciones aguas arriba y permitirá la salida del exceso de precipitaciones que no se puedan aprovechar mediante múltiples salidas entubadas, estrechas y sifónicas en beneficio de la seguridad. Este sistema de drenaje debe dimensionarse de forma que permita la evacuación de la máxima aportación prevista y cuenta con un periodo de retorno de veinticinco años.

La captación de recursos atmosféricos por condensación debe tenerse en cuenta cuando la humedad ambiental presenta valores mantenidos superiores al 80 % durante la mayor parte del año.

La captación de agua de mar y salobre se realiza cuando no hay posibilidad de aprovechar la red local ni las aguas dulces superficiales o subterráneas y no son suficientes las aguas pluviales.

Este sistema necesita de potabilizadoras especiales con función desaladora, normalmente de ósmosis inversa. En la actualidad, las potabilizadoras en dotación «SETA» tienen esta posibilidad, pero hay que tener en cuenta que el caudal diario de agua producida se reduce notablemente incluso a la mitad con respecto al empleo de aguas brutas dulces, por lo que se tendrá en cuenta a la hora de calcular las necesidades de agua y de potabilizadoras para no formar un «cuello de botella» en la cadena de la GIA. Se recomienda consultar el manual de la potabilizadora SETA con sus características y capacidades.



Figura 5. Potabilizadora SETA. Fuente: Jornadas de actualización sobre potabilización de agua de los zapadores de la BRI II - Ejército de Tierra (defensa.gob.es)



Figura 6. Potabilizador móvil. Fuente: Potabilizadoras Móviles archivos - SETAPHT

También se pueden encontrar en el mercado otro tipo de desaladoras por evaporación y posterior adición de sales, pero son antieconómicas por la elevada cantidad de energía que requieren y su bajo rendimiento.

Si el método empleado de captación es el de aguas saladas y salobres, se debe tener en cuenta la evacuación de las salmueras producidas que debe realizarse en lugares adecuados para no alterar las condiciones medioambientales de la zona.

3.2 Conducción

La conducción del agua, desde el punto de captación hasta el punto de tratamiento y almacenamiento, se realiza mediante tubería del diámetro adecuado en función del caudal necesario para el campamento. También es posible que se haga necesario llevar el agua sin tratar en vehículos aljibe, pero es una solución que siempre ha de ser tomada como transitoria hasta poder utilizar la conducción por tuberías.

Es deseable que el trayecto sea lo más corto posible para minimizar gastos y riesgos, así como posibilidades de pérdidas, contaminaciones y averías.

Si es posible llevar el agua por gravedad regulada por grupos de presión, se debe utilizar este sistema por su facilidad. Los grupos de presión evitan sobrepresiones en la red y garantizan el caudal requerido por el usuario; no obstante, necesitan una presión positiva en la toma, por lo que la red de distribución deberá de estar al menos alimentada por gravedad.

La conducción entubada necesita ir enterrada (aproximadamente, 60 cm) o, al menos, protegida de la intemperie para su protección térmica (frío-calor), con aislante para evitar congelación y evaporación. Además, deberá ir señalizada con cinta de polietileno de color azul para su fácil localización e identificación.

En el caso de ir enterrada, necesitará un lecho de arena libre de piedras o materiales (arena de río) con aristas vivas que pudieran erosionar la conducción. También irá protegida por encima por una capa de arena de río (no utilizar tierras procedentes de la excavación) de un espesor mínimo de 60 cm (debidamente compactada) en zonas peatonales, y de losa de hormigón armado en pasos de vehículos, que, de todos modos, se tratarán de evitar por el riesgo de rotura que suponen.

3.3 Tratamiento

El objetivo de este proceso es obtener aguas con las calidades definidas en el STANAG 2136, en función del tipo de agua que se

requiera en cada caso, fundamentalmente potable, de urgencia o técnica.

Según la calidad del agua bruta, el tratamiento de esta será más o menos lento, pero tendrá, en todos los casos, los mismos pasos acorde al tipo de agua que se vaya a producir. No todas las aguas que se tratan tienen que ser necesariamente potables, el agua del sistema contraincendios puede ser técnica, no apta para consumo, pero mucho más rápida de producir y, a la vez, más económica de tratar.

El tratamiento para agua potable se llevará a cabo, normalmente, con las potabilizadoras de dotación del ET. En la actualidad, se emplean las potabilizadoras SETA.

Los procesos básicos a los que se puede someter al agua bruta son los siguientes:

- Filtro mecánico en la bellota de aspiración y otro de cesta, anterior al depósito de decantación.
- Adición de floculante para la decantación en depósito lamelar.
- Adición de hipoclorito sódico para una desinfección previa.
- Filtro mecánico de sílex para eliminar sólidos residuales.
- Filtro de carbón para mejorar las cualidades organolépticas del agua.
- Adición de antiincrustante para mejorar el rendimiento de las membranas de ósmosis inversa.
- Microfiltración para afinado del agua.
- Filtrado por ósmosis inversa para el desalado.
- Cloración residual.
- Ajuste de pH y remineralización.
- Paso por cámara ultravioleta para desinfección biológica.

No todos son imprescindibles, además, algunos pueden disminuir de forma considerable el rendimiento y puede ser conveniente eliminarlos si no son necesarios.

El STANAG 2136 es la documentación de consulta adecuada para definir el tratamiento a aplicar.

3.4 Almacenamiento

El almacenamiento de las aguas ya tratadas se efectúa en depósitos protegidos según las circunstancias. Estos depósitos se

dimensionan según las necesidades diarias de agua y el número de horas de llenado, que puede ser durante todo el día o en arcos horarios definidos. Se recomienda confeccionar una sencilla hoja de cálculo para su rápido dimensionamiento. También se calculan con el «calculador de campamentos» desarrollado por la oficina técnica del Batallón de Castramentación (BCAS).

Los depósitos cumplen las siguientes misiones:

- Almacenamiento de agua.
- Regulación de caudal y presión.
- Mantenimiento de la calidad del agua.
- Mantenimiento de un nivel mínimo de emergencia.

La capacidad de los depósitos debe ser tal que, al garantizar el suministro en caso de avería por un tiempo razonable, posibilite una renovación periódica y frecuente del agua para evitar zonas de agua estancada que pueden favorecer el crecimiento de organismos no deseados.

Si es posible, se ubicarán depósitos contraincendios en diversos puntos del campamento según su grado de riesgo, preferentemente a unos doscientos metros entre depósitos, dotados con sus correspondientes grupos de presión contra incendios para la proyección del agua. La instalación de la red contra incendios se ejecutará separada de la red de abastecimiento de agua para consumo humano y sus depósitos serán independientes.

También se instalarán depósitos de agua técnica debidamente señalizados como no potable en lugares de consumo masivo de esta agua como lavaderos de vehículos en la zona logística.

En la GIA, los depósitos pueden tener diferentes funciones dependiendo de su ubicación en el sistema. Unos pueden estar dedicados en exclusiva a agua potable, mientras que otros pueden emplearse en almacenar agua de lluvia con mínimo tratamiento que la clasifique como agua técnica para su empleo como limpieza de vehículos, baldeo y riego, incluso para agua contraincendios. La premisa es no mezclar las aguas de unos con las de otros por sus diferentes tratamientos y usos.

Los depósitos se pueden colocar elevados, enterrados o en superficie.

La colocación de depósitos elevados en los campamentos militares depende del terreno porque no es rentable construir una

estructura para darles altura, a no ser que sea una infraestructura que ya se encontrara en el lugar y se haya inspeccionado tanto desde el punto de vista estructural como sanitario.

El terreno adecuado para que el agua tuviera presión por gravedad en la red de distribución debería de tener una elevación de entre veinte y cuarenta metros sobre el campamento y estar relativamente centrado, lo que no es muy común. Por otra parte, sería un objetivo claro desde el punto de vista de la seguridad, por lo que su uso no está muy extendido en campamentos militares.

Los depósitos enterrados y semienterrados son de obra por regla general, lo que implica su construcción y posterior abandono, además del tiempo necesario hasta su puesta en servicio, por lo que hay que valorar la conveniencia de su empleo. Estos depósitos están, por otra parte, más protegidos tanto de amenazas externas como de las variaciones de temperatura.

Por el contrario, son más fácilmente inundables y, por tanto, es más sencillo que se contaminen. En general, no son de mucha aplicación en instalaciones que no vayan a estar operativas durante un largo periodo de tiempo.

Los depósitos flexibles en superficie son una solución rápida y eficaz para el almacenamiento del agua. Al estar en superficie, necesitan un grupo hidroneumático para enviar el caudal adecuado a la presión correcta a toda la red de distribución. En zonas con elevadas temperaturas, es necesario instalarlos bajo tinglados ligeros para evitar la proliferación de microorganismos perjudiciales para la salud. Estos depósitos presentan las siguientes ventajas:

Gran variedad de capacidades.

- Puesta en servicio rápida y fácil emplazamiento en los puntos que interese.
- Reutilizables.
- Gran resistencia a las variaciones de temperatura, entre $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Una vez vacíos, se pueden recolocar en distinta ubicación si los condicionantes así lo aconsejan (seguridad, nuevas necesidades, etc.), lo que dota al sistema de gran flexibilidad.
- De dotación en nuestro ejército y en los de nuestro entorno.
- Fácil adquisición tanto en TN como en ZO.

Estas son, entre otras razones, las que aconsejan emplear este tipo de depósitos para nuestros campamentos.



Figura 7. Depósito flexible sobre camión. Fuente: <https://www.nauticexpo.es/prod/pronal/product-36084-486339.html>

Existen diversos modelos de depósitos en el mercado con diferentes características y capacidades.

3.5 Distribución

Los sistemas de distribución de agua potable deben ser, ante todo, racionales, económicos y eficientes; por tanto, se deben diseñar con un criterio de aprovechamiento de los materiales de forma que los grandes consumidores con carácter prioritario como cocinas y ablución estén lo más agrupados posible y abastecidos por redes malladas que garanticen el suministro en caso de avería en algún punto de la red.

Los grandes consumidores de carácter no prioritario, como lavandería y cooperativa, deben estar también agrupados y con redes malladas comunicadas con la prioritaria para garantizar el abastecimiento de estas en caso de avería. También es posible el empleo de redes ramificadas. Estas tienen la ventaja de ser más económicas, puesto que los diámetros de las tuberías son más reducidos cuanto más se alejan de las conducciones principales, pero presentan el inconveniente de que una avería deja sin abas-

tecimiento a toda la red a partir del punto averiado por lo que no son recomendables en principio.

El trazado de las redes debe hacerse optimizando los recursos, esto se consigue tendiendo en línea recta las conducciones principales, es decir, las que abastecen a los grandes consumidores y desde estos a los consumidores secundarios.

En redes malladas se aconsejan diámetros nominales mínimos de 75 a 90 mm con una velocidad de cálculo recomendada de 1,4 m/s, de modo que son las velocidades admisibles las comprendidas entre 0,5 y 1,5 m/s, aunque sí es importante que las velocidades no suban más de 2 m/s, ya que la pérdida de carga en la tubería se dispara.

La presión para suministrar en m.c.a. (metros de columna de agua) debe ser de 5 m sobre cubierta, y se viene tomando como norma habitual quince metros de m.c.a para poblaciones de menos de mil habitantes y de veintidós metros para poblaciones de entre mil y seis mil habitantes. La mejor opción para garantizarlo es disponer de grupos de presión en los puntos de consumo.

Los caudales de cálculo deben ser los de la máxima demanda que equivale a 2,4 veces el consumo horario medio.

Para el cálculo de caudales se debe aplicar el CTE, concretamente el DB HS 4. En este mismo documento, se describe la construcción de la red de suministro de interiores, que puede ser útil en caso de tener que construir una, pero el caso más habitual es el de contar con los contenedores de ablución ya preparados para que con una sola acometida se dé servicio a la red de agua fría y ACS por separado con sus presiones diferenciadas.

Un procedimiento sencillo de cálculo de caudales consiste en aplicarles coeficientes de simultaneidad como se describe en el documento ya referenciado «NOP 0301/11 Construcción de una posición de combate avanzado (COP/FOB/OP)» del MING en su anexo G.3.Cálculo de las secciones necesarias.

El hecho de tener agua en cantidad suficiente no implica que no haya que ser cuidadosos en su consumo, pese a tener dotaciones suficientes no debe gastarse más agua que la imprescindible, por lo que hay que concienciar a los usuarios del ahorro del agua. Existen muchas medidas posibles entre las cuales se pueden destacar las siguientes:

- Colocación de aireadores en todos los grifos y limitadores en las alcachofas de las duchas.

- Distribución de carteles de concienciación en los contenedores de ablución, grifos cerrados cuando no se usen, duchas cortas, no usar los inodoros como cubo de basura, etc.
- Reparación rápida de fugas por parte de los servicios de mantenimiento.
- Empleo de redes residuales separativas para poder emplear el agua pluvial como agua bruta para potabilizar o como agua de urgencia.
- Concienciar a la ULOG/UABA de trabajar con las lavadoras industriales a tope de carga en la medida de lo posible.
- Emplear jabones biodegradables, sin fosfatos ni lejía para mejorar la eficacia de los lechos bacterianos en las EDAR.
- Instalar trampas de grasa para optimizar la eficacia de la EDAR.
- Colocar cubos higiénicos en los inodoros y vaciarlos diariamente por parte del servicio de limpieza.
- Evitar o minimizar las zonas verdes alrededor de capillas, cooperativas, etc. Si existen, plantar plantas autóctonas y hacer riegos eficientes y con agua técnica.
- Vigilar con frecuencia los consumos de agua y hacer un histórico para detectar anomalías y corregirlas lo antes posible. Para ello, es conveniente instalar contadores de agua en las acometidas generales a cada edificio o instalación.
- En zonas cálidas, proteger las redes y los depósitos de los excesos de temperatura para evitar la evaporación.
- Minimizar el lavado de los vehículos a lo estrictamente necesario. Los de representación lo imprescindible y los tácticos para el mantenimiento. Si se han enmascarado y se va a volver a hacerlo al día siguiente, no lavarlos.

El material para la confección de las redes de distribución será preferiblemente polietileno de alta densidad (PEAD/HDPE) de uso alimentario PE100 y suministrado desde territorio nacional, así como todos los materiales auxiliares dada la baja calidad comprobada de estos elementos en otros países donde el ET ha desplegado. Es de interés consultar las incompatibilidades de determinados materiales con el agua y de diversos materiales entre sí en el DB HS 4 del CTE en el punto 6.3 para confeccionar las redes con los materiales disponibles adecuados.

Las redes deben estar protegidas tanto desde un punto de vista mecánico como desde un punto de vista térmico para evitar roturas y heladas. La protección térmica la proporcionan coquillas y tubos de corrugado semirrígido que actúan como aislante y la protección mecánica, camas de arena de miga sin gravas ni elementos con aristas vivas y una capa superficial del mismo material de al menos 10 cm de espesor. En los puntos de cruce con zonas de paso, tendrán la protección necesaria para evitar su aplastamiento como losas de hormigón armado, perfiles metálicos o la solución constructiva óptima en cada caso. Deben aprovecharse los viales en su trazado y colocar una arqueta con sus correspondientes llaves de corte, en cada cambio de alineación recta debidamente señalizada para la subsanación de posibles averías.

Es conveniente también dejar señalizado el trazado sobre el terreno como medida de precaución para evitar roturas y facilitar las reparaciones.

Las redes de distribución deben ser independientes con el siguiente criterio:

- Redes de agua potable.
- Redes de agua técnica incluyendo la instalación contra incendios.

Ambas deben estar claramente separadas y señalizadas, de modo que especifiquen en cada toma si es potable o no. Si coinciden en el trazado en algún punto debe estar por encima siempre la red de agua potable y debajo la técnica.

Si las dos redes anteriormente descritas coinciden además con la red de saneamiento, esta debe situarse por debajo de ambas en el orden ya mencionado.

El cálculo de las redes se puede realizar mediante hojas de cálculo por el método de Hardy-Cross y también con el *calculador de campamentos* ya mencionado. En la NOP del MING 0301/2011 «Construcción de una COP», se muestra en el Anexo «G» el cálculo de las redes de distribución de una COP tipo.

La red de distribución de agua técnica normalmente se abastecerá de aguas pluviales que se recogen como ya se describió en el punto «3.1 Captación», y se canalizan por medio de redes separadas de las de aguas potables a los depósitos de almacenamiento enterrados y desde estos a los de contraincendios, lavaderos, etc. para su tratamiento y almacenamiento. También

se puede abastecer de aguas grises originadas por lavanderías y cocinas con el tratamiento adecuado. El cálculo de las redes de agua técnica es análogo al de redes de agua potable.



Figura 8. Agua técnica utilizada lucha contra incendios. Fuente: <https://copecdnmed.cope.es/resources/jpg/8/2/1561618197328.jpg>

4 Saneamiento de aguas residuales en campamentos militares

Las aguas residuales son las producidas por el ser humano y sus actividades y que, por tanto, contienen desechos. En los campamentos militares se producen de igual forma este tipo de aguas, que se clasifican habitualmente como:

- Aguas blancas o pluviales, procedentes de la lluvia que se tratará de utilizar en propio beneficio.
- Aguas grises procedentes de lavabos, duchas, lavadoras, cocinas, etc. que, al disponer de red separativa de las negras, puede ser tratada y reutilizada como agua técnica.
- Aguas negras procedentes de los inodoros con mucha más contaminación que las anteriores fundamentalmente materias fecal.

Los campamentos militares se pueden asimilar al concepto de pequeña población en cuanto al tratamiento de este tipo de aguas. Desde este punto de vista, a los campamentos militares de menos de dos mil habitantes-equivalentes se le aplica el artículo 6 del RDL 11/1995 sobre tratamiento adecuado a las aguas residuales y, posteriormente, el RD 509/1996 que define la calidad del efluente en el cuadro siguiente.

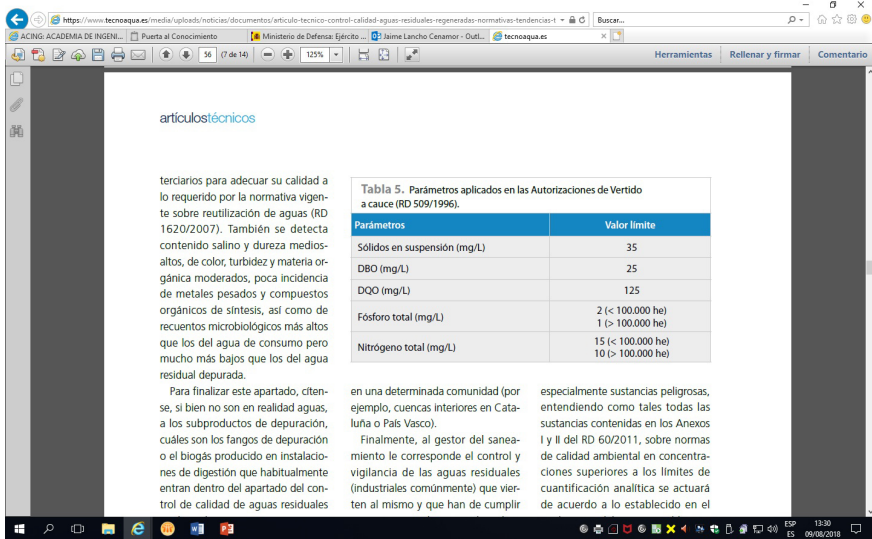


Figura 9. Parámetros y límites de calidad del efluente

El STANAG 2582 hace la siguiente propuesta para los efluentes:

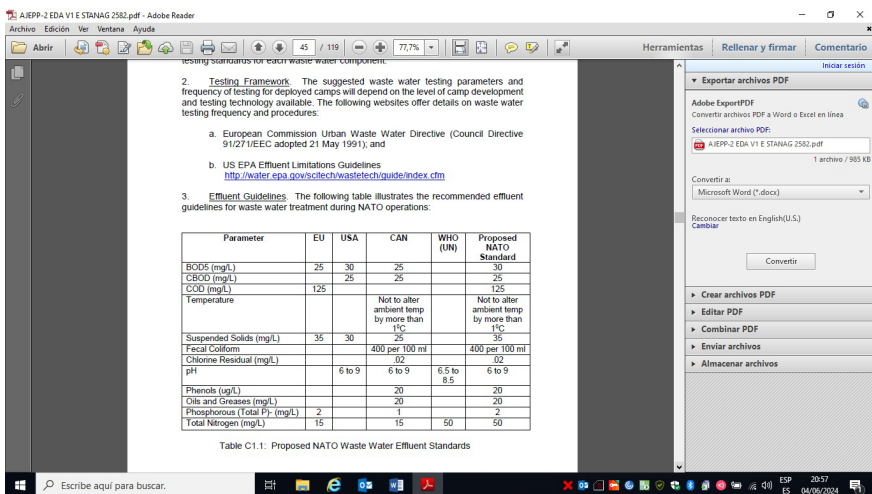


Figura 10. Parámetros de aguas residuales de la OTAN

Los sistemas de saneamiento empleados en los campamentos militares en función de cómo agrupen los tres tipos de aguas residuales pueden ser:

- Unitario: en el que los tres tipos de aguas se depuran de forma conjunta. Este sistema es *a priori* el más antieconómico, pues, aunque se emplea menos material en su construcción, es más

caro de mantener y necesita sobredimensionar la depuradora para asumir más caudal de agua que en las redes separativas.

- Separativo: en él, una red conduce las aguas negras y otra las aguas grises y blancas. Es más caro de construir, pero más barato de mantener y ajusta el tamaño de la EDAR. Las aguas grises solo se juntan con las blancas para tratarlas y emplear ambas como agua técnica.
- Mixto: es el sistema más empleado en los campamentos militares. Los contenedores de ablución disponen de una sola salida de aguas residuales con lo que mezcla la negra de los inodoros con la gris de lavabos y duchas y pasa toda a una red de aguas negras.

Por otra parte, el agua pluvial se canaliza en otra red para su aprovechamiento, bien como técnica o como agua bruta para emplear en abastecimiento tras el oportuno tratamiento. El agua gris de cocina, lavandería, etc.; al depender de la situación, puede unirse al agua pluvial para empleo como agua técnica o bien unirse a la red de aguas negras.

Es recomendable colocar a la salida de las aguas grises de la cocina un separador de grasas, con el fin de poder usar esa agua como técnica y facilitando así el tratamiento de esta.

La mejor opción, *a priori*, es emplear el sistema mixto con una salida de aguas unitaria en los contenedores de ablución para negras y grises con una red propia para estas aguas hasta la EDAR y otra red con aguas pluviales y grises de cocina y lavandería para su tratamiento como agua técnica con las precauciones ya expuestas con anterioridad sobre separación de redes desde el principio diferenciando la red de evacuación de aguas negras (incluye los vertidos de grasas u otros contaminantes) de las que solo llevan trazas de detergentes (aseo personal).

No obstante, si la escasez de agua lo aconsejara se pueden dedicar las aguas blancas para consumo y las aguas grises de cocina y lavandería para tratamiento de agua técnica. Las aguas pluviales de los primeros minutos deben ser tratadas como las aguas negras y, por tanto, conducidas a la EDAR, el resto las agua pluviales se canaliza a la red de aprovechamiento, ya sea para potabilización o para tratamiento como agua técnica según los casos.

La conducción de las aguas residuales se debe realizar aprovechando la pendiente natural del terreno para dársela a las tuberías. Estas pueden instalarse en sencillos tramos rectos y cortos

en el caso de unir contenedores de ablución con fosas sépticas que se encuentren a poca distancia; en este caso, la precaución más elemental consiste en dar una pendiente adecuada hacia la fosa para facilitar el desagüe por gravedad y respetar el diámetro de salida del contenedor, que, en la mayoría de los modelos de los que dispone el ET, es de 125 mm, este valor puede aumentarse a 200 mm con un adaptador por facilidad de suministro y una pendiente mínima de 4 m/km, pero en ningún caso puede reducirse el diámetro ya que se producirían atascos.

Para las aguas blancas y las grises de cocinas y lavanderías el trazado debe aprovechar la pendiente natural para evacuación de aguas de escorrentía igual que en el caso del drenaje. El diámetro mínimo recomendado es de 200 mm y el material a emplear debe ser poco erosionable del tipo polietileno y PVC. En este caso, la relación entre el diámetro de la conducción y la pendiente mínima se refleja en la tabla siguiente:

Ø	200	250	300	400	500	600	700	800	900
Pdte min m/ Km	4	2,7	2,2	1,45	1,1	0,8	0,67	0,55	0,5

De este modo, se consigue que la velocidad del agua esté entre los valores mínimos de 0,5 m/s a caudal medio y 5 m/s a caudal máximo, con lo que se consigue que se mantenga un poder de arrastre de las aguas y se evite la sedimentación en la tubería y una posible erosión de los conductos que produzca un desgaste prematuro de los mismos.

El procedimiento para la implantación del saneamiento debe estar establecido desde TN ya que se necesita desde el primer momento.

Una posibilidad es la siguiente:

- Entrada y durante la construcción del campamento con WC químicos y empresa contratada para su evacuación y mantenimiento. Drenaje de aguas blancas y grises fuera de la zona del campamento aprovechando el trazado de los viales o a depósitos de vaciado periódico contratado con empresas.
- En cuanto sea posible, instalación de contenedores de ablución conectados a fosas sépticas de vaciado periódico contratado con empresas. Drenaje mejorado de aguas grises y blancas.

- Instalación de la EDAR y construcción de la red de evacuación de aguas negras. Construcción de la red de captación de pluviales y montaje de los depósitos que procedan (para agua bruta destinada a potabilización, o a el tratamiento de agua técnica).
- Construcción de depósito de tormenta. Perfeccionamiento de la red de drenaje al citado depósito. Construcción de la red de captación de aguas grises aprovechando la red de drenaje ya construida. Construcción de la planta de tratamiento de aguas grises para su uso como agua técnica. Construcción de depósitos de agua técnica para uso contraincendios en un primer momento y, posteriormente, para lavado de vehículos, riego y otros usos.

La gestión de las aguas residuales debe ser, evidentemente, progresiva y perfectible. Para la medición de la contaminación de las aguas residuales se emplea la unidad habitante-equivalente (Hab-Eq) definida en la normativa como «carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), de 60 gramos de oxígeno por día». Para el dimensionamiento de la EDAR se puede consultar en una larga lista de publicaciones, una de ellas es el *Manual de implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. CEDEX-CENTA en el punto 2.11. «Caudales y cargas para el diseño de la estación depuradora».

Los tratamientos más habituales de las aguas residuales en pequeñas comunidades y, por tanto, aplicables a los campamentos militares son:

Pretratamiento, cuyo objetivo es eliminar la mayor parte de los contaminantes que por tamaño y naturaleza no conviene que pasen a otras zonas de tratamientos como áridos gruesos y flotantes. En nuestro caso, se deben eliminar grasas y celulosas, ambas muy perjudiciales en la eficiencia de los procesos posteriores. Los de grasas e hidrocarburos deben disponerse lo más próximos a las cocinas o talleres que sea posible, para evitar su emulsión en el agua.

A su vez, se divide en:

- Desbaste, para la eliminación de partículas de tamaño pequeño-mediano interceptándolas con rejillas y tamices.
- Desarenado, para la eliminación de materias densas como arenas con diámetros mayores de 0,2 mm. De este modo, se evita la sedimentación en canales, conducciones y unidades

de tratamiento, de modo que protege también las bombas de la abrasión.

- Desengrasado, cuya misión es eliminar las grasas y resto de materia más ligera que el agua que esté en flotación. El desarenado y el desengrasado se pueden realizar de modo conjunto, generalmente, con un desarenador-desgrasador aireado de puente móvil.

Tratamientos primarios, cuyo objetivo es la eliminación de los sólidos en suspensión y flotantes.

Existen las siguientes posibilidades:

- Fosas sépticas. Son un sistema sencillo de tratamiento de las aguas residuales cuyo objetivo principal es la eliminación de los sólidos existentes en el agua. Se emplea como tratamiento único en campamentos de menos de 250 Hab-Eq o como tratamiento primario en campamentos de hasta 1000 Hab-Eq.
- Tanque Imhoff. Es un depósito con dos zonas diferenciadas, una superior de sedimentación donde se produce la decantación de los sólidos y otra inferior denominada zona de digestión donde se almacenan y digieren los sólidos decantados. Están separados por una estructura que impide el paso de los gases de la zona de digestión a la de sedimentación. Se emplea como alternativa a la fosa séptica con las mismas limitaciones de separación de aguas pluviales y grises.
- Decantación primaria. Su objetivo es la eliminación de la mayor parte de los sólidos en suspensión por acción de la gravedad. Implica la construcción de la EDAR por lo que supone, normalmente, una inversión económica y unos plazos de construcción y puesta en servicio que solo se rentabilizan en el caso de campamentos de una cierta entidad, por encima de 500 Hab-Eq y una previsión de permanencia a medio y largo plazo siempre por encima de los dos años.

Tratamientos secundarios: el objetivo es la eliminación de la materia orgánica biodegradable disuelta o en forma coloidal y el resto de sólidos y nutrientes. Se pueden emplear las siguientes posibilidades:

- Aireaciones prolongadas. Es una variante del sistema convencional de fangos activos. Consta de cuatro fases, una oxidación biológica en el reactor biológico, convenientemente aireado, que contiene un cultivo bacteriano en suspensión que degrada la materia orgánica en condiciones aeróbicas, una decantación

secundaria que separa el sólido del líquido mediante un decantador o clarificador, una recirculación de fangos (cultivo) para mantener la concentración de microorganismos y la retirada periódica de los excesos de fangos para su posterior tratamiento que puede ser desecado y bien almacenado y posterior traslado a planta de mayor entidad contratada al efecto.

- Lechos bacterianos. Consisten en la variante tradicional de los procesos de biopelícula. La oxidación se consigue al hacer circular a través de un medio poroso aire y agua residual. La biopelícula de microorganismos se desarrolla y crece sobre la superficie del material poroso de relleno que suele ser piedra o piezas plásticas con mucha superficie por unidad de volumen. El agua residual entra desde arriba en el lecho bacteriano y el aire por debajo, así se produce la digestión de forma aerobia de forma que los fangos y el exceso de agua se dirigen a un decantador-clarificador secundario para separación de fangos y aguas, una parte de las cuales se redirigen al lecho bacteriano.
- Contactores biológicos rotativos. Consisten en unos soportes giratorios (discos o cilindros) semisumergidos en el agua residual sobre los que se adhiere la biocapa. Constan de dos fases, el contactor propiamente dicho y el decantador-clarificador para la separación de fangos y aguas tratadas.



Figura 11. Piezas empleadas en lechos bacterianos. Fuente: <https://th.bing.com/th/id/OIP.mqOQcVtAI2UJtU2BczGswHaE8?rs=1&pid=ImgDetMain>



Figura 12. Discos en lecho bacteriano. Fuente: <https://th.bing.com/th/id/R.55c3fe2266a8fcab38b9534ad9dda10e?rik=fiC9BsLfFk2NfQ&riu=http%3a%2f%2fwww.aguasresiduales.info%2fmedia%2fimages%2fckfinder%2fuserfiles%2fimages%2f1012.JPG&ehk=SLHn0C5XQgHwJRSEdYShXyAHzVZVdrNzvnN8bavNUiw%3d&risl=&pid=ImgRaw&r=0>

Los tratamientos terciarios permiten obtener efluentes de mayor calidad en los cuales se eliminan los nutrientes y los patógenos. De este modo, se minimizan los riesgos de eutrofización de las aguas receptoras del efluente y la contaminación por los virus existentes en el agua residual. Normalmente, tienen una primera fase a base de filtros mecánicos tipo arena o tierra de diatomeas seguida de otros procesos como la filtración por procedimientos de ósmosis inversa y aplicación de luz UV.

La aplicación de estos tratamientos al efluente se realiza cuando el objetivo es obtener agua regenerada para su empleo posterior, esto es, conseguir un agua con unos estándares de calidad en principio para ser reutilizada como agua técnica y, *a priori*, no es el caso de los campamentos militares hasta la fecha. Como medida adicional de seguridad, es conveniente clorar el efluente antes de verterlo al medio.

Los tratamientos extensivos como el lagunaje y los humedales artificiales son sostenibles desde un punto de vista medioam-

biental, pero difíciles de implantar en los escenarios actuales de despliegue del ET, por lo que se opta mayoritariamente por los tratamientos intensivos antes expuestos tanto en tratamientos secundarios como terciarios.

Los subproductos sólidos resultantes de los tratamientos a los que se someten las aguas residuales en las EDAR (fangos y resto de detritus separados en el pretratamiento) se deben eliminar también. Se desecan y una parte se incinera, otra se desecha en vertedero y el resto se puede utilizar como abono agrícola.

Se deben tener especiales precauciones en cuanto a la incineración, ya que los humos de una combustión inadecuada o la movilización por el viento de las cenizas resultantes presentan un potencial patógeno elevado. La incineración debe hacerse en un horno específico y a elevada temperatura para garantizar la destrucción de los organismos patógenos. En el caso de los campamentos, lo más práctico es contratar una empresa local para la retirada y el posterior tratamiento de estos fangos.

Para un estudio en detalle de cada uno de estos procesos y evaluación de su idoneidad para cada caso concreto en función de las ventajas e inconvenientes que presenta cada uno de ellos, se recomienda la consulta en el *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. CEDEX- CENTA.

Una solución al tratamiento de las aguas residuales en los campamentos es el empleo de EDAR modulares, compactas y transportables comercializadas por empresas especializadas que tienen capacidad de instalarlas en casi cualquier lugar del mundo. Estas EDAR cumplen todos los requisitos exigibles a las aguas residuales tratadas en TN y, por ende, los de los países en los cuales el ET pueda desplegarse. Es necesario realizar un contrato de mantenimiento especializado con la empresa que instale este tipo de equipos, con el fin de garantizar un correcto funcionamiento de estas y así no verter al dominio público hidráulico del país efluentes contaminados.

También es importante contratar con la empresa instaladora el suministro de los productos químicos necesarios para su correcto funcionamiento, sobre todo, si se despliega en escenarios donde la adquisición de estos productos pueda estar comprometida.

Existe la opción de instalar estas depuradoras compactas transportables de diferentes fabricantes para las aguas residuales. Algunas de ellas se montan en contenedores marítimos estándar

de veinte y cuarenta pies para mayor facilidad de transporte, y es posible también instalar varias en paralelo para su funcionamiento selectivo según sea la ocupación del campamento.



Figura 13. Planta depuradora sistema biológico BRM de membranas externas a presión. Fuente: <https://www.protecmed.com/wp-content/uploads/2017/03/Ejercito-I.jpg>

Estas EDAR deben reunir una serie de características para ser operativas y eficaces en nuestros campamentos. Estas características son:

- Ser fácilmente transportables con dimensiones de contenedores estándar.
- Modulares, de forma que puedan trabajar varios módulos en paralelo según las necesidades.
- Ampliables en función del aumento de la ocupación del campamento.
- De rápida instalación y puesta en servicio.
- Duraderas.
- De fácil mantenimiento y operación.
- Reutilizables.
- De bajo consumo energético.
- Bajo costo de mantenimiento y operación.

- Bajo impacto ambiental.
- Disponer de garantías amplias y soporte técnico internacional.
- No deben generar ruidos molestos.
- No deben generar olores desagradables.
- Alta capacidad de tratamiento de forma que los efluentes cumplan las normativas vigentes.

Existe la posibilidad de instalar EDAR contenerizadas de gran capacidad (hasta 5000 Hab-Eq) que podrían dar servicio a cualquier tipo de campamento que haya realizado hasta ahora el ejército español.

No obstante, es importante conocer los parámetros de diseño de estas plantas, muchas veces dimensionadas para países en desarrollo con consumos de agua muy inferiores a los producidos en campamentos militares para evitar rendimientos inferiores a los deseados.

Los retos inmediatos que se plantean son, por un lado, optimizar la evacuación de las salmueras de rechazo en los procesos de desalación, un mejor aprovechamiento de las aguas pluviales y la obtención de agua regenerada efluente de las EDAR con unos parámetros que la pudieran hacer válida como agua técnica.

Bibliografía

ATP-104 WATER PRODUCTION, STORAGE AND DISTRIBUTION

Código Técnico de la Edificación [en línea]. (2022). Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/>

Ejército de Tierra. (2012). *Criterios operativos. Posición avanzada de combate*. Madrid, Ministerio de Defensa.

España. (1995). Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Boletín Oficial del Estado*. 30 de diciembre, núm. 312.

España. (2003). Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. *Boletín Oficial del Estado*. 21 de febrero, núm. 45.

- España. (2012). Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Boletín Oficial del Estado*. 20 de septiembre, núm. 227, pp. 66167-66194.
- Hidráulica e Ingeniería Sanitaria. Guion del Dpto. de Vías de Comunicación y Castrametación.
- Hernández Muñoz, Aurelio. (2015). *Abastecimiento y distribución de agua*. Garceta.
- Hernández Muños, A. y Hernández Lehmann, A. (2003). *Manual de saneamiento Uralita*. Ediciones Paraninfo.
- Ortega, E., Ferrer, Y., Salas, J. J., Aragón, C. y Real, A. (2014). *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- NOP del MING 0301/2011 «Construcción de una COP».
- NORMA GENERAL 02/14 DEL EME. «CONSTITUCIÓN, GESTIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS MÓDULOS 1000 PARA OPERACIONES».
- STANAG 2136. Water Supply on Operations.
- STANAG 2582 AJEPP 2 EDA V1 Allied Joint Environmental Protection Publication.
- STANAG 2885. Abastecimiento de Emergencia de Agua en Tiempo de Guerra.

Capítulo quinto

Agua e inteligencia artificial

Víctor Gómez-Escalonilla, Pedro Martínez-Santos

Resumen

De la mano de la creciente digitalización que experimenta el mundo actual, la inteligencia artificial viene permeando nuestra realidad cotidiana ya desde hace algún tiempo. El ámbito de los recursos hídricos, pese a su general reticencia al cambio, comienza también a asimilar los nuevos paradigmas asociados a la aplicación de técnicas de aprendizaje automático. Este artículo, de carácter introductorio, tiene por objeto dar una visión de conjunto sobre las implicaciones que la inteligencia artificial tiene o puede tener en el futuro en el mundo del agua. Se comienza con un desglose de nociones elementales de inteligencia artificial y aprendizaje automático, a fin de establecer la base sobre la que desarrollar los argumentos posteriores. Acto seguido, se procede a comentar, de forma somera, la importancia del agua como recurso y su carácter de recurso esencial para la sociedad. Se hace hincapié en su carácter transversal y en su natural tendencia a generar problemáticas complejas, lo que, a su vez, justifica el potencial interés en el uso de técnicas de inteligencia artificial. El del texto se centra, por último, en detallar algunas de las principales aportaciones que la inteligencia artificial ha realizado ya al mundo de los recursos hídricos, las dificultades asociadas al

cambio de paradigma que esto supone y los riesgos asociados a la adopción de estas nuevas tecnologías.

Palabras clave

Machine learning, Inteligencia artificial, Algoritmos, Aprendizaje automático.

Water and artificial intelligence

Abstract

Artificial intelligence permeates our daily reality, hand in hand with the increasing digitalization of today's world. The field of water resources, despite its reluctance to change, is now beginning to assimilate the new paradigms associated with machine learning techniques. This introductory article provides an overview of the applications and implications that artificial intelligence has or may have in the future in the field of water resources. It begins with a breakdown of elementary notions of artificial intelligence and machine learning, in order to establish the basis on which to develop subsequent arguments. This is followed by a brief discussion of the importance of water as a resource. Emphasis is placed on its cross-cutting nature and its natural tendency to give rise to complex problems, which, in turn, justifies the potential interest in the use of artificial intelligence techniques. The rest of the text focuses on the main contributions that artificial intelligence has already made in the world of water resources, the difficulties associated with the paradigm shift it implies, the potential impact on water consumption and the risks associated with its adoption.

Keywords

Machine learning, Artificial intelligence, Algorithm, Automated learning.

Introducción

El término «inteligencia artificial» hace referencia a un conjunto de tecnologías de carácter transversal cuyas aplicaciones han comenzado a concitar el interés del gran público en la última década. Hoy en día, no existe una definición universal de inteligencia artificial, en gran parte porque se habla de un campo del conocimiento en plena efervescencia, que evoluciona con extrema rapidez, pero se podría decir que se trata de una disciplina del mundo informático enfocada a la automatización de tareas complejas, como el aprendizaje, el razonamiento o la predicción que, tradicionalmente, se pensaba que solo podía llevar a cabo una inteligencia humana.

Los algoritmos de inteligencia artificial son capaces de procesar grandes conjuntos de datos, encontrar correlaciones complejas entre los mismos y utilizarlas para conseguir un objetivo, que puede ser, por ejemplo, la predicción de un determinado comportamiento. En este sentido, existe un cierto debate acerca de si hay verdaderamente una diferencia entre la inteligencia artificial y la inferencia estadística tradicional. Sin entrar en detalles, se podría argumentar que el aprendizaje automático no es más que una evolución lógica de las técnicas de inferencia estadística, derivada de los avances tecnológicos aparecidos en las últimas décadas. El gran aporte de la inteligencia artificial consiste en el desarrollo de algoritmos con capacidad de aprender de forma autónoma a partir de ejemplos, de manera similar a la forma en que aprendemos los seres humanos. Para comprender mejor lo que esto significa, se considera, a modo de ejemplo, cómo es el proceso natural de aprendizaje: un estudiante de ingeniería comienza por memorizar una fórmula que después usa para resolver una serie de ejercicios concretos. Durante este proceso, su cerebro aprende a ir más allá, a extrapolar la aplicabilidad de la fórmula. Comprende que el principio subyacente permite abordar una miríada de problemáticas prácticas, no solo los ejemplos teóricos en los que se basó para aprender. De manera análoga, los algoritmos informáticos tienen por objeto detectar patrones en conjuntos de datos para después utilizarlos con un propósito práctico. Así funcionan, sin ir más lejos, los algoritmos programados en las páginas web, que analizan el historial de visitas de sus usuarios hasta comprender de qué tipo de productos pueden ser consumidores potenciales y, a partir de ello, generar anuncios personalizados en tiempo real.

En contra de lo que mucha gente cree, la inteligencia artificial no es nueva. De hecho, el término se acuña hace ya casi setenta años, durante una conferencia organizada por el Dartmouth College, en 1956 (Moor, 2006). De la misma forma, algoritmos ampliamente utilizados hoy en día, como los árboles de decisión o las redes neuronales, hunden sus raíces en las décadas de los cincuenta y sesenta del siglo pasado (Rosenblatt, 1958; Belson, 1959; Morgan y Sonquist, 1963), y existen precedentes incluso anteriores en la literatura académica (McCulloch y Pitts, 1943). Se puede, por tanto, concluir que la inteligencia artificial es una disciplina con un más que respetable recorrido histórico a sus espaldas.

Lo que sí es novedoso es la democratización de la informática, entendida como la puesta a disposición del gran público de ordenadores cuya potencia de cálculo hoy se da por sentada, pero que, hasta hace pocas décadas, nadie podía barruntar. También lo es la creciente digitalización de nuestras actividades cotidianas —y su rastreo por parte de terceros—, lo que redundará en la existencia de grandes bases de datos que los algoritmos pueden explotar para mejorar su capacidad predictiva. De la publicidad y la mercadotecnia al armamento y la defensa, que pasa por el mundo financiero, son cada vez más los ejemplos que se encuentran de cómo la adopción en masa de las técnicas de inteligencia artificial repercute de forma directa en nuestras vidas.

El objetivo de las siguientes páginas es poner de manifiesto lo que la inteligencia artificial puede aportar en el ámbito del agua y debatir las posibles implicaciones prácticas que de ello pueden derivarse en un futuro más o menos próximo. Se comenzará por comentar algunos conceptos básicos, tales como la noción de aprendizaje automático, a fin de comprender cómo funcionan, a nivel conceptual, los algoritmos de inteligencia artificial. Después, se hará hincapié en la naturaleza transversal del recurso agua, cuya complejidad constituye un punto de encuentro idóneo con el mundo de la inteligencia artificial. A continuación, se explica por qué el uso de la inteligencia artificial supone un importante cambio de paradigma y las dificultades que esto conlleva para su adopción, poniendo, además, algunos ejemplos de aplicaciones reales de la inteligencia artificial en el ámbito de los recursos hídricos. Finalmente, se comentarán algunos de los principales riesgos asociados a la inteligencia artificial, lo que incluye su consumo hídrico, su posible vulnerabilidad ante amenazas de tipo malicioso, como el ciberterrorismo, y diversas problemáticas de tipo ético sobre las que aún no existe un consenso claro.

1 Conceptos básicos de inteligencia artificial

El advenimiento de la inteligencia artificial ha dado entrada en el vocabulario cotidiano a numerosos neologismos. Las confusiones terminológicas resultan frecuentes y, a menudo, se derivan de un uso poco riguroso por parte de quien las divulga. Así, son múltiples los términos relativos al campo de la inteligencia artificial que se escucha de forma habitual en los medios y que representan conceptos distintos, aunque, a menudo, altamente complementarios. Entre ellos se podrían citar *ciencia de datos*, *minería de datos*, *inteligencia generativa o aprendizaje automático*, así como palabras y acrónimos importados directamente del inglés, como *IA*, *ChatGPT*, *data mining*, *big data*, *machine learning*, *deep fake* o *deep learning*.

1.1 Aprendizaje automático

Tal vez, el concepto más relevante para el propósito de este artículo es el de aprendizaje automático. El aprendizaje automático, o *machine learning*, es la rama de la inteligencia artificial cuyo objeto consiste en programar los ordenadores para que aprendan a partir de conjuntos de datos e, idealmente, actúen en consecuencia. A grandes rasgos, el aprendizaje automático se divide en dos categorías, a saber, aprendizaje automático supervisado y no supervisado. Ambos se caracterizan por utilizar procedimientos matemáticos —algoritmos— para encontrar asociaciones más o menos complejas entre los distintos tipos de información contenidos en una base de datos. Estas asociaciones o correlaciones tienden a ser más fiables en la medida en que se observan con mayor frecuencia. Por este motivo, y aunque solo sea por una cuestión de mera probabilidad, tiende a ser más fácil encontrar correlaciones fiables cuando se trabaja con conjuntos de datos más voluminosos. Así, no extraña que el mundo del aprendizaje automático guarde una estrecha relación con lo que se ha dado en llamar *macrodatos*, o *big data* —conjuntos de datos de gran tamaño y complejidad que requieren de aplicaciones informáticas no tradicionales para su correcto procesado y tratamiento—, de la misma manera que las disciplinas en las que estas técnicas han alcanzado un mayor grado de desarrollo e implantación son, precisamente, aquellas a las que les resulta más connatural la generación de grandes volúmenes de información.

En el caso del aprendizaje supervisado, el algoritmo intenta predecir una variable del conjunto de datos en función del resto, para lo que cuenta con una serie de casos resueltos. A llevar esto al ámbito del agua, se podría estar hablando de un registro histórico de variables de tipo meteorológico, como velocidad y dirección de los vientos, temperatura, nubosidad, presiones y precipitación. Si la variable que se quiere predecir —o variable objetivo— es la precipitación, el algoritmo buscará correlaciones entre ella y todas las demás —que se considerarán variables explicativas—, de manera que, conociendo solo estas últimas, el algoritmo llegue a ser capaz de predecir cuánto va a llover.

Por su parte, el aprendizaje no supervisado se caracteriza por la ausencia de una variable objetivo. En otras palabras, los algoritmos no supervisados no tienen por objeto predecir, sino buscar patrones en la estructura interna de la información contenida en la base de datos con la que trabajan. Para seguir con el caso anterior, la aplicación de un algoritmo no supervisado al conjunto de datos no serviría para predecir la lluvia en función del resto de variables, pero sí para identificar, por ejemplo, que en ese conjunto de datos en concreto, la dirección y la velocidad de los vientos están fuertemente correlacionadas entre sí y con la nubosidad, pero solo cuando la temperatura está por debajo de un determinado umbral, y que ninguna de estas variables guarda una correlación apreciable con los fenómenos extremos de precipitación.

A un nivel más avanzado, se podría hablar de variantes híbridas de aprendizaje automático, como el aprendizaje semisupervisado, en el que solo se conoce el valor de la variable objetivo en una parte del conjunto inicial de datos. De la misma manera, existen técnicas de aprendizaje por refuerzo. Se trata de un tipo específico de entrenamiento en el que los algoritmos reciben recompensas o penalizaciones en función de su capacidad de predecir correctamente un resultado. En último término, el comportamiento de dichos algoritmos se evalúa con arreglo a su capacidad de maximizar el valor de una función recompensa.

En términos generales, los algoritmos de aprendizaje supervisado resultan más interesantes para nuestro propósito, de manera que, en lo sucesivo, se hará referencia fundamentalmente a ellos. Los algoritmos de aprendizaje automático supervisado se dividen, a su vez, en dos tipos, clasificación y regresión, en función de la naturaleza de la variable objetivo. Los algoritmos de clasificación aprenden y predicen una variable objetivo de valor discreto o

categorico. Por ejemplo, pueden servir para predecir, en función de otras variables, si un pozo perforado en un punto encontrará agua subterránea o no. Por su parte, los algoritmos de regresión aprenden y predicen una variable objetivo con valores continuos, de manera que podrían servir para pronosticar el caudal que dará un pozo perforado en un sitio concreto.

1.2 Funcionamiento elemental de los algoritmos de aprendizaje supervisado

Dado el carácter introductorio de este artículo, así como la multitud de algoritmos existentes, no tendría sentido pretender ahondar en sus mecanismos de funcionamiento interno. En su lugar, nos limitaremos, a continuación, a proporcionar una descripción genérica de su proceso de aplicación que puede considerarse representativa de la inmensa mayoría de ellos. Para el lector interesado en ampliar conocimientos, bastará citar algunos de los algoritmos más conocidos, como los árboles de decisión, los bosques aleatorios, las máquinas de soporte vector o la regresión logística, y remitirnos a la literatura especializada (Breiman *et al.*, 1984; Breiman, 2001; Pedregosa *et al.*, 2011; Géron, 2017).

La aplicación de un algoritmo supervisado consta de una fase de entrenamiento y de otra de calibración. En la primera, se utiliza una parte del conjunto de datos disponible para entrenar al algoritmo, es decir, para que este establezca correlaciones entre las variables explicativas y la variable objetivo. Durante este proceso, el algoritmo puede «ver» la variable objetivo, de manera que conoce el resultado que debe obtener cuando combina las distintas variables explicativas. El procedimiento permite, además, optimizar los distintos parámetros matemáticos que gobiernan el algoritmo. La parte del conjunto de datos que no se utilizó para el entrenamiento interviene en la fase de calibración, que es cuando se comprueba si el algoritmo, en efecto, es capaz de generalizar, es decir, si es capaz de predecir la variable objetivo cuando no conoce el resultado de antemano.

La capacidad del algoritmo de predecir la variable objetivo puede evaluarse mediante distintas métricas, siendo la más simple la precisión, que se define como la tasa de aciertos en relación con el número total de intentos de predicción. En la práctica, un algoritmo incapaz de hallar correlaciones en la fase de entrenamiento se comportará de forma pobre durante la fase de calibración. Esto es lo que se conoce como subajuste o *underfitting* e implica

que los procedimientos matemáticos que gobiernan el algoritmo tienen dificultades para interpretar los datos de partida. Los motivos pueden ser muy variados. Por ejemplo, el conjunto de datos puede ser demasiado pequeño o carecer de una estructura de interdependencia entre las distintas variables. También puede darse el caso de que un algoritmo tenga una precisión muy elevada en la fase de entrenamiento y muy baja en la fase de calibración. Se habla, entonces, de sobreajuste u *overfitting*. En este caso, se podría decir que el algoritmo se asemeja a un alumno que se aprende los ejercicios de memoria y es capaz de reproducirlos en condiciones de examen siempre y cuando estos sean siempre los mismos, pero que, al no entender los principios subyacentes, tenderá a equivocarse cuando el profesor cambie los números del enunciado.

Como ya se ha dicho, cada algoritmo funciona de manera distinta. Tal vez, el ejemplo más sencillo para explicar cómo procede un algoritmo a nivel interno es el del árbol de decisión. Esto sirve para estructurar la información contenida en una base de datos, a fin de identificar cómo la combinación de las distintas variables explicativas permite predecir una determinada variable objetivo. El nombre de árbol de decisión viene porque la información se estructura como las ramas de un árbol: en función de una posible elección, surgen determinadas posibilidades o ramas que, a su vez, se ramifican en nuevas posibilidades. Cada rama viene a representar el efecto de una variable explicativa, mientras que el valor al final de cada ramificación —las hojas— es el valor de la variable objetivo resultado de una determinada combinación de variables explicativas.

Para comprenderlo mejor, hay que pensar en una base de datos cuyo objetivo sea predecir lo que una persona va a comer hoy con base a su historial pasado. La base de datos disponible contiene información sobre lo que ha comido cada día de los últimos seis meses. Dicha información se estructura en varias columnas que pueden ser, por ejemplo, el día de la semana, con quién comió, dónde lo hizo y, por supuesto, la variable objetivo, es decir, lo que comió. Un árbol de decisión utiliza procedimientos matemáticos para encontrar la manera óptima de estructurar estos datos, de manera que, al saber el día que es, con quién y dónde va a comer esa persona, se pueda predecir de antemano lo que va a comer hoy. Hay que suponer que el árbol identifica que la variable más importante —el primer nodo de ramificación— es si la persona come sola o acompañada. Cada una de estas dos opciones es

una rama. La primera rama dice que, si come sola, independientemente del resto de variables, los datos demuestran que siempre comerá comida que se ha traído de casa, de manera que ya seríamos capaces de predecir su comportamiento. Cuando, por el contrario, come acompañada, se tomará la segunda rama. Esta se bifurca, a su vez, en un nuevo nodo de decisión, que se corresponde con la segunda variable más importante: el día de la semana. Los datos dicen que los lunes y los miércoles come sola, los martes come con su hermana, los jueves con un compañero de trabajo y los viernes, con su madre. Cada una de estas cuatro alternativas se bifurca, a su vez, en la tercera variable más importante, que es el sitio donde come. En función de con quién ha quedado, tendrá una serie de sitios favoritos. El lugar constituirá la última variable: la lógica es que en cada sitio hay una carta distinta, con una serie de platos determinados y que la persona en cuestión tenderá a elegir siempre sus preferidos. Una vez se tiene el árbol completo, con saber que hoy es martes, que come con su hermana y que van a un determinado restaurante italiano, se sabrá que existe una elevada probabilidad de que coma pasta.

Por analogía, resulta sencillo entender cómo una estructura de estas características puede llevar a predecir el consumo de agua de un hogar en función de variables explicativas tales como su número de miembros, la época del año y si tiene piscina o no.

2 El agua: un recurso poliédrico y transversal

El agua es un recurso necesario para todos los seres humanos, tanto por lo que respecta a la hidratación y a la higiene como a la salud, la producción de alimentos, la actividad económica, el ocio o la conservación del medio ambiente. Tanto es así, que el nivel de acceso al agua potable refleja el nivel de desarrollo de cualquier sociedad humana y constituye uno de los principales indicadores socioeconómicos que distinguen a los países industrializados de los de media y baja renta. Es bien conocido, por ejemplo, que existe una elevada correlación entre el índice de escolarización infantil y disponibilidad de agua potable (Ortiz-Correa *et al.*, 2016). Asimismo, el agua es un recurso estratégico de primera magnitud, no solo por el papel fundamental que juega dentro del nexo agua-energía-alimentación, sino también por su implicación, de una manera u otra, en la práctica totalidad de las actividades económicas. Es por todo ello por lo que las Naciones Unidas definen el acceso al agua como un derecho humano fun-

damental, así como un requisito indispensable para garantizar otros muchos derechos humanos (ONU, 2002; 2010).

Como no podía ser de otra manera, la relación del ser humano con el recurso hídrico se remonta a los albores de la raza humana. No en vano, las cuatro primeras grandes civilizaciones de la Antigüedad, —la egipcia, establecida en torno al cauce del Nilo; la mesopotámica, entre los ríos Tigris y Éufrates; la hindú, en torno al Indo; y la china, en torno al Amarillo—, son conocidas en los libros de historia bajo la denominación común de «civilizaciones hidráulicas». Incluso hoy, los ríos constituyen elementos vertebradores del territorio. No hay más que pensar en el Nilo, a lo largo de cuyo cauce se establece la práctica totalidad de la población de Egipto, uno de los quince países más poblados del mundo; o numerosos ríos de América Latina, incluido el Amazonas, que constituyen una vía de transporte y comunicación principal en el día a día de las comunidades ribereñas.

Sin embargo, la gestión del agua sigue representando un importante desafío en muchos lugares del planeta. El creciente patrón de industrialización, urbanización y migraciones, unido al incremento de la población global, redundan en una presión cada vez mayor sobre los recursos hídricos. La escasez, la contaminación, los usos ineficientes, los intereses espurios y los conflictos derivados de la competición entre usuarios, son susceptibles de poner en peligro las garantías de suministro para los seres humanos y la conservación de los ecosistemas y constituyen un quebradero de cabeza permanente para usuarios, administraciones, empresas de abastecimiento y grupos de conservación de la naturaleza, cuando no también para organismos supranacionales.

Al hilo de esto último, no se puede dejar de mencionar en este breve resumen las implicaciones geoestratégicas del recurso hídrico. En efecto, el gran público ignora, en términos generales, que el acceso al agua constituye uno de los ejes centrales de conflictos tan arraigados como el palestino-israelí y que fue causa principal de una guerra entre Siria e Israel en los años sesenta del siglo pasado. Si bien el número de conflictos armados recientes vinculados con el agua es, por fortuna, limitado (Wolf, 1998), no menos cierto es que el contexto de escasez que experimentan muchas regiones del planeta supone un caldo de cultivo susceptible de alimentar conflictos en el futuro (Makengo *et al.*, 2021). Se refiere a la creciente retórica de confrontación a cuenta de ríos compartidos entre países como Etiopía, Sudán y Egipto, o India y Pakistán, así como a los recurrentes problemas de vecindad

entre China y el conjunto de países que componen la cuenca baja del Mekong por cuestiones como la construcción de embalses de cabecera, la contaminación de los ríos o la sobrepesca, por citar algunos ejemplos.

Muchas de las principales catástrofes ambientales acaecidas en el último siglo han tenido por receptores principales a los ecosistemas acuáticos. En la mente de todos, permanecen las imágenes del vertido incontrolado al mar de residuos radiactivos de la central nuclear de Fukushima, en 2011; la lenta agonía del mar Aral y las comunidades humanas que vivían de él, a lo largo de la segunda mitad del siglo xx; o la contaminación por hidrocarburos del delta del Níger, ocurrida a lo largo de las últimas décadas. En nuestro país hemos sido testigos de ejemplos a menor escala, pero, aun así, relevantes: esto se refiere al vertido del *Prestige*, a la desecación del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel, vinculada a la explotación intensiva del acuífero de la Mancha Occidental, o, más recientemente, a las problemáticas ambientales del mar Menor y los humedales de Doñana.

De lo anterior se desprende que, si bien existe una tradición más o menos sólida de manejo de los recursos hídricos en la práctica totalidad del planeta, no menos cierto es que hay un amplio margen de mejora en muchos aspectos relacionados con la protección ambiental y la gestión del agua. Asimismo, resulta inevitable concluir que el adecuado uso del recurso hídrico es un desafío poliédrico, que debe acometerse siempre desde una perspectiva multidisciplinar, teniendo en cuenta factores no solo hidrológicos, sino también sociales, económicos, políticos, ambientales, éticos y culturales.

La inteligencia artificial es, por su propia naturaleza, una tecnología capaz de lidiar con realidades complejas. Tal vez esto último es lo que lleva a algunos a pensar en la inteligencia artificial como un mecanismo capaz de alcanzar los complicados equilibrios que a menudo dificultan la gestión del agua y abordar desde una perspectiva distinta problemas arraigados a los que las prácticas tradicionales no han sido capaces de dar solución.

3 Agua e inteligencia artificial

3.1 El complejo cambio de paradigma

En comparación con sectores como la publicidad, los seguros o las finanzas, el mundo del agua tiene un largo camino por recorrer en lo que respecta a la utilización de técnicas de inteligencia

artificial. Esto no sorprende en absoluto si se tiene en cuenta que el sector del agua es un sector de naturaleza eminentemente conservadora, fuertemente regulado y caracterizado por importantes inercias, así como por la lenta adopción de nuevos paradigmas y tecnologías. De la misma manera, los largos tiempos de planificación y ejecución de los proyectos hidráulicos, y sus elevados costes, distan mucho de entroncar de manera natural con las metodologías experimentales. Algo parecido puede decirse de las implicaciones políticas y de salud pública de la gestión del recurso, y de la naturaleza estratégica y sensible de su operación.

En el campo del agua, existe una multitud de aplicaciones, modelos y estructuras de toma de decisiones bien asentadas e informadas, tanto por la experiencia práctica como por el conocimiento de los procesos físicos, químicos, geológicos y biológicos que intervienen en el ciclo hidrológico. Desde ese punto de vista, puede decirse que la inteligencia artificial, aunque puede representar un valor añadido, no se percibe como una evolución necesaria dentro del sector. Para comprender mejor esta apreciación, se puede partir de una analogía conceptual entre la inteligencia natural y la inteligencia artificial. Tal vez, la principal diferencia entre ambas es el mecanismo por el que se llevan a cabo los razonamientos que dan lugar a una determinada acción o respuesta. Nuestro cerebro utiliza millones de neuronas para procesar la información que recibe —un estímulo— y la coteja con su experiencia previa para producir una reacción. En el caso de los algoritmos de inteligencia artificial, el estímulo es un conjunto de datos, mientras que las neuronas son los procedimientos matemáticos para la búsqueda de correlaciones entre dichos datos que, a su vez, permiten generar una respuesta, equivalente a nuestra reacción. Al igual que solo se comprende el comportamiento del cerebro a grandes rasgos, solo se puede comprender la complejidad con la que interactúan los procesos matemáticos sobre un determinado conjunto de datos a nivel de principios. En otras palabras, la mayoría de los algoritmos de inteligencia artificial funcionan como una caja negra: se conocen los datos de entrada y se sabe que el algoritmo es capaz de darnos una predicción correcta sobre los mismos, pero, en la mayoría de los casos, no se sabe con exactitud por qué. Esto, en cierto modo, representa un cambio radical con respecto a los paradigmas vigentes durante más de un siglo. En efecto, como ya se ha comentado, los procesos naturales que gobiernan el ciclo hidrológico son bien conocidos: pese a su complejidad, el ser humano comprende los mecanismos de generación de precipitación, escorrentía o evapotranspiración, y

es capaz de predecirlos con cierta exactitud mediante modelos numéricos. El hecho de que los algoritmos de inteligencia artificial tiendan a reemplazar estos procesos físicos elementales con correlaciones matemáticas no necesariamente evidentes detrae de su potencial adopción en la práctica, puesto que choca con la mentalidad de muchos profesionales. Desde este punto de vista, la combinación de ambas perspectivas es, posiblemente, la vía más prometedora para su adopción. En todo caso, cabe esperar que esta última sea tutelada en el futuro por los profesionales del mundo del agua, al contrario de lo que ocurre en otros campos, en los que son los profesionales de la ciencia de datos quienes introducen nuevas tecnologías que, a su vez, propagan importantes turbulencias sobre la actividad de profesionales establecidos desde hace muchos años. Se habla, por ejemplo, del ámbito del arte y el diseño gráfico.

Una barrera importante es la ausencia de una masa crítica de capital humano formado. En efecto, el grueso de los trabajadores en empresas y organismos relacionados con el agua carece, hoy en día, de nociones específicas de inteligencia artificial. Si bien podría argumentarse que esta no es estrictamente necesaria —un usuario de Internet no tiene por qué tener conocimientos de programación—, no menos cierto es que un técnico especializado que se relacione con los resultados de los algoritmos en su día a día debería tener conocimiento suficiente sobre los mismos como para saber qué eventualidades podrían descarrilar su comportamiento, al objeto de prevenirlas y, llegado el caso, solventarlas. Desde esta perspectiva, el cambio de paradigma requeriría primero un cambio de mentalidad a nivel de los altos cuadros de las empresas y organismos de gestión del agua, pues estos deberían ser los primeros en concienciarse sobre la necesidad de contar no solo con herramientas basadas en el aprendizaje automático, sino también con personal capaz de manejarlas de forma eficaz. Tanto el sector privado como el mundo académico pueden jugar un papel decisivo en todo ello mediante programas específicos de investigación y desarrollo enfocados a diseñar herramientas innovadoras que den respuesta a necesidades concretas. Se citarán algunos ejemplos bajo el epígrafe siguiente.

Otro obstáculo importante para la aplicación de tecnologías de inteligencia artificial en el mundo del agua es que la frecuente ausencia de grandes conjuntos de datos hidrológicos con los que trabajar a escalas locales, e incluso regionales. Como consecuencia, suele resultar difícil disponer de información suficiente para

el entrenamiento de los algoritmos, lo que, a su vez, coarta las posibilidades de desarrollar herramientas y probar su eficacia a nivel industrial.

Por último, podría argumentarse que los aportes que las técnicas de inteligencia artificial son susceptibles de hacer en el ámbito de la gestión del agua son, en términos generales, menos evidentes que en otros campos. Esto no quiere decir, sin embargo, que los avances hasta la fecha hayan sido insignificantes: sería más justo decir que el mundo académico ha liderado el camino, con una perspectiva casi siempre exploratoria de las potencialidades de la inteligencia artificial, mientras que la industria y las administraciones públicas se han mantenido a la expectativa. Cabe resaltar, sin embargo, que ir por detrás de otros ámbitos no necesariamente constituye una desventaja, más bien lo contrario, pues permite aprender de sus aciertos y errores.

Aun así, y por citar un alentador ejemplo español, hace ya algunos años que la empresa pública de abastecimiento de aguas de Madrid, el Canal de Isabel II, junto con la Fundación Canal, llevó a cabo una detallada investigación sobre posibles aplicaciones de la inteligencia artificial en el sector del agua (CYII-FC, 2020). Esta iniciativa documenta un total de 42 ejemplos concretos en distintos países europeos y no europeos, que incluyen, entre otros, el diseño de redes de tuberías, la predicción de averías en sistemas de suministro, la delimitación de zonas con presencia de algas mediante teledetección, el desarrollo de sistemas inteligentes de riego, la predicción de inundaciones y del clima, la modelización de fenómenos extremos o la monitorización de presas con vistas a mejorar su mantenimiento. Aproximadamente un tercio de las aplicaciones identificadas estaban aún en fase de investigación en el momento de elaboración del informe, mientras que otro tercio estaba en fase piloto y la proporción restante en fase de explotación comercial. Alrededor del 60 % de las experiencias se concentraban en países anglosajones —Estados Unidos, Canadá, Australia y Reino Unido—, con un 20 % adicional en países de Europa.

No extraña esto último si se tiene en cuenta que, al igual que la mayoría de las grandes soluciones innovadoras de nuestro tiempo, la inteligencia artificial tiende a encontrar acomodo preferente en las sociedades industrializadas, donde se establecen los principales centros de desarrollo tecnológico. Sin embargo, no menos cierto es que también se han documentado ya múltiples aplicaciones directas a problemáticas propias de países de media

y baja renta. En los últimos años, los autores de este artículo han tenido ocasión de colaborar en una iniciativa auspiciada por la agencia de cooperación suiza y el Gobierno de la República del Chad. Dicha iniciativa, concluida con éxito, estaba relacionada con el desarrollo de cartografía de aguas subterráneas a escala regional partir de técnicas de aprendizaje automático. En ese caso, el propósito era identificar, a partir de algoritmos matemáticos, cartografía preexistente e imágenes de satélite, los principales marcadores que permiten predecir la presencia de aguas subterráneas en zonas áridas, al objeto de mejorar el suministro de aguas de la región de Abéché, al este del país (Gómez-Escalonilla *et al.*, 2022). En la actualidad se trabaja en un proyecto auspiciado por Unicef en el sur de Madagascar. Su objeto principal es identificar qué pozos comunitarios entre los que abastecen actualmente zonas rurales admitirían la instalación de bombas alimentadas con energía solar, a fin de aumentar su caudal de explotación y mejorar su eficiencia energética (Asplund *et al.*, 2024).

3.2 Aplicaciones reales de la inteligencia artificial en el ámbito de los recursos hídricos

Como se decía anteriormente, y a pesar de las dificultades, lo cierto es que, hoy en día, existen muchos ejemplos concretos de aplicaciones de la inteligencia artificial que han encontrado acomodo en el mundo de los recursos hídricos. Se dedicará este epígrafe a citar algunos de ellos. En términos generales, se pueden distinguir tres niveles de aplicación, a saber, la gestión del agua a escala de cuenca, la gestión de la red —es decir, la acumulación, tratamiento y distribución del recurso, incluido todo lo relativo a los procesos de depuración y vertido—, y las aplicaciones a nivel usuario.

Cuando se habla de escala de cuenca, se refiere a todo aquello que tiene que ver con mejorar el conocimiento y la gestión del ciclo hidrológico a nivel regional, lo que, a menudo, puede concretarse a partir del concepto geográfico de cuenca hidrográfica. En el contexto español, esto sitúa al nivel de la planificación y gestión hidrológica, que es el plano en el que se mueven, sobre todo, las confederaciones hidrográficas. A este nivel, las aplicaciones de inteligencia artificial se han mostrado útiles como herramientas para procesar imágenes de satélite y evaluar cambios en la disponibilidad de recursos hídricos, así como para eva-

luar el estado de conservación de los ecosistemas, tanto a corto como a largo plazo. De la misma manera, el uso de algoritmos de clasificación supervisada permite mejorar las estimaciones de consumo hídrico en el ámbito de la agricultura, principal usuario del recurso a nivel mundial. Esto, a su vez, permite mejorar la gestión de problemáticas relacionadas, por ejemplo, con la sobreexplotación de acuíferos. En España puede citarse como ejemplo del uso de metodologías de clasificación supervisada para identificar cultivos a partir de imágenes de satélite y estimar las extracciones de agua en el acuífero de la Mancha Oriental (Castaño et al 2012).

Dentro de las aplicaciones a escala de cuenca, encontramos también el desarrollo de sistemas de alerta temprana para la prevención de riesgos asociados al agua, tales como sequías e inundaciones, así como la gestión de la calidad del agua en ecosistemas acuáticos y sus problemáticas de contaminación.

A nivel de gestión de la red, la inteligencia artificial se ha utilizado con éxito como elemento de optimización de la operatividad de infraestructuras tecnológicas, tanto en lo que respecta al tratamiento de aguas como a su depuración (Alam et al 2022, Toryla et al 2023). También se ha utilizado en la recogida e interpretación de datos, con vistas a mejorar la eficacia global del funcionamiento de las infraestructuras de suministro de agua, así como para la gestión de pérdidas de agua en la red, la localización de averías y puntos necesitados de mantenimiento. Asimismo, existen ejemplos de aplicaciones de inteligencia artificial para el desarrollo de sistemas de alerta temprana sobre la calidad del agua en la red, la optimización de las presiones dentro de la misma o la aplicación de tecnologías basadas en el principio de los gemelos digitales.

Por último, a nivel de usuario podemos citar un buen número de tecnologías ya disponibles a escala doméstica. Hablamos, por ejemplo de contadores, inodoros y aspersores inteligentes. Algunas de estas tecnologías son también aplicables en el sector productivo. Sirvan como ejemplo los sistemas inteligentes de asesoramiento a regantes, que suelen combinar imaginería de satélite o dron con datos evapotranspirativos y de humedad en el suelo para optimizar los costes asociados con el riego, y, con ellos, el propio consumo hídrico.

A los ejemplos anteriores se añaden las aplicaciones desarrolladas dentro del ámbito de la investigación. Como ocurre con

muchas de las metodologías y herramientas de tipo exploratorio que se elaboran a este nivel, cabe esperar que encuentren acomodo en el sector productivo en la medida en que sean capaces de dar respuesta a problemáticas reales y se diseñen adecuadamente mecanismos de transferencia tecnológica. Entre ellas podemos citar la predicción de la evolución del potencial hidráulico en aguas subterráneas, la simulación del comportamiento de embalses, la predicción de avenidas o el estudio de la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación, entre otras muchas (Tang et al 2023, Raisa et al 2024, Himanshu et al 2024, Singh et al 2024).

4 Riesgos asociados a la inteligencia artificial

4.1 Incremento de consumo hídrico

Ya se ha visto que la inteligencia artificial puede utilizarse como herramienta para mejorar la gestión de los recursos hídricos en multitud de circunstancias. No obstante, el mero hecho de hacer uso de ella conlleva una serie de implicaciones ambientales que resultan cada vez más difíciles de soslayar. Hace ya algunos años, se puso de manifiesto que los grandes centros de procesamiento de datos generan una importante huella de carbono (Dhar, 2020; Henderson *et al.*, 2020). En tiempos más recientes, se ha comenzado a hablar también de su huella hídrica (George *et al.*, 2023), hasta el punto de que basta una simple búsqueda en Internet para encontrar referencias a esta cuestión en medios de comunicación de renombre (Guerrini, 2023) y en portales asociados a organismos supranacionales, como la OCDE (Ren, 2023).

Los citados centros de datos, a los que a menudo se hace referencia en el habla coloquial como *data centers* o servidores, son infraestructuras de carácter físico, es decir, consisten en la acumulación en uno o varios edificios de una multitud de equipos informáticos con gran capacidad para procesar información. La inteligencia artificial depende de este tipo de supercomputadores para almacenar datos, entrenar a los algoritmos con arreglo a ellos y, finalmente, ejecutarlos con el objetivo correspondiente, todo ello mientras el sistema se protege en tiempo real con las medidas de seguridad informática más avanzadas.

Pese a que solo hay unos pocos miles en todo el planeta, se estima que estos grandes centros de datos consumen ya en torno al 1 % de la electricidad a nivel global, y que suponen, aproxi-

madamente, la misma proporción de la huella de carbono (IEA, 2023). Como se decía antes, se ha hablado menos de su impacto sobre los recursos hídricos, pero lo cierto es que un *data center* consume agua por múltiples vías. El consumo más importante a largo plazo es la refrigeración, pues tiene lugar en tiempo real durante toda la vida útil de la infraestructura, que puede estimarse en décadas. En efecto, la operación conjunta de los servidores informáticos genera ingentes cantidades de calor, por lo que es necesario bajar la temperatura de las instalaciones continuamente mediante la evaporación de grandes volúmenes de agua. Lo mismo puede decirse del proceso de generación de la energía eléctrica que los servidores necesitan para funcionar, pues la producción de energía en centrales térmicas y nucleares también se basa en el principio de evaporar agua para generar frío.

La refrigeración es un consumo operativo, es decir, tiene lugar en paralelo a la explotación del centro de datos y es estrictamente necesaria para ella. No existe mucha información en relación con el consumo real de agua que esto supone, por lo que resulta difícil establecer comparaciones con la huella hídrica de otros sectores, pero sí hay algunos precedentes en la literatura que invitan a pensar en un consumo nada despreciable de agua. La mayoría se refieren al entorno de Silicon Valley, en California, una región conocida tanto por su condición de centro referente en innovación tecnológica como por sus recurrentes problemas de agua.

Por ejemplo, se estima que el entrenamiento de un modelo de lenguaje, como el archiconocido ChatGPT, consume millones de litros de agua en concepto de refrigeración. De la misma manera, por cada decena de respuestas que este algoritmo proporciona a sus usuarios puede llegar a consumir medio litro de agua (Ren, 2023). Para darse cuenta de lo que esto significa, basta con entrar en la aplicación a través de cualquier navegador de Internet y comenzar una conversación casual con la máquina. En cierto modo, esta se asemejará a las que se mantiene todos los días por aplicaciones móviles de mensajería instantánea, y podrá prolongarse tanto tiempo como se desee. No hay más que multiplicar el número de mensajes que se escriben por los millones de consultas que se producen cada día y el consumo hídrico antes citado para hacerse una idea de la demanda de agua que esto supone.

Otros consumos operativos incluyen las instalaciones de agua y saneamiento, necesarias para el día a día de los empleados, la

limpieza, la calefacción y el aire acondicionado, así como, en su caso, el riego de zonas ajardinadas. Estos consumos son más sencillos de estimar, pues pueden considerarse asimilables a los de edificios industriales o del sector servicios con un tamaño y un volumen de empleados semejante.

El otro gran bloque de consumo es el implícito en la infraestructura física que conforma el propio centro de datos. Se estima, por ejemplo, que la producción de uno solo de los cientos de miles de chips informáticos que puede contener una instalación de estas características requiere, por término medio, unos ocho mil litros de agua. A ello hay que sumar la huella hídrica de los materiales utilizados en el proceso de construcción.

En vista de las tendencias actuales, la inteligencia artificial tiene visos de comenzar a ocupar su propio lugar en las estadísticas de consumo de agua en un futuro más o menos próximo. Esto lleva, inevitablemente, a pensar en posibles estrategias de mitigación del consumo hídrico. Aunque esto aún tiene un amplio recorrido por delante, se pueden citar distintas acciones e incluir la optimización geográfica, mejoras en la eficiencia hídrica de los sistemas, la regulación normativa, la limitación de actividades fraudulentas y la puesta en práctica de políticas de transparencia (Makridis, 2023).

La optimización geográfica tiene que ver, sobre todo, con implementar servidores en climas húmedos, donde la disponibilidad de agua no constituye un problema y donde la generación de energía hidroeléctrica resulta barata y, en general, ambientalmente aceptable. Y está relacionada, asimismo, con la dispersión espacial de las instalaciones: mientras que, a escala regional, esto ayuda a evitar que el consumo hídrico se concentre en un solo ámbito geográfico, en lo que respecta a infraestructuras concretas, una mayor dispersión espacial facilita la disipación del calor y minimiza los requerimientos de refrigeración, aunque sea a cambio de un mayor coste económico. A su vez, todo ello guarda relación directa con la implementación de mejoras en la eficiencia hídrica de los servidores de datos, lo que incluye el desarrollo de métodos de refrigeración más respetuosos con el medio ambiente y la implementación sistemática de chips de bajo consumo.

Desde una perspectiva normativa, parece deseable que la legislación contemple incentivos específicos para que las empresas reduzcan su consumo hídrico, de la misma manera que deben contemplarse multas o incrementos progresivos de costes para

aquellos casos en los que pueda producirse un mal uso del recurso. De la misma manera, el desarrollo de estrategias de *labelling* puede contribuir a estimular un uso responsable del agua por parte de las grandes compañías tecnológicas, de manera análoga a cómo otras industrias utilizan sellos de garantía de respeto al medioambiente como estrategia para atraer clientes concienciados con la conservación del planeta.

Cabe mencionar, por último, que el mundo de la inteligencia artificial cuenta con algunas ventajas operativas. A diferencia de lo que ocurre en otros campos como la agricultura, en los que la estimación de los consumos puede ser problemática, el caso de las grandes empresas tecnológicas presenta la ventaja de que es perfectamente asequible conocer el consumo real de las infraestructuras, al menos cuando estas están conectadas a las redes municipales de aguas.

4.2 Vulnerabilidad ante amenazas de tipo malicioso

La legislación vigente define las infraestructuras críticas como aquellas «infraestructuras estratégicas cuyo funcionamiento es indispensable y no permite soluciones alternativas, por lo que su perturbación o destrucción tendría un grave impacto sobre los servicios esenciales» y, a su vez, define los servicios esenciales como aquellos que son «necesarios para el mantenimiento de las funciones sociales básicas, la salud, la seguridad, el bienestar social y económico de los ciudadanos o el eficaz funcionamiento de las Instituciones del Estado y las Administraciones Públicas» (BOE, 2011). El mismo artículo de la ley define las infraestructuras estratégicas como «instalaciones, redes, sistemas y equipos físicos y de tecnología de la información sobre las que descansa el funcionamiento de los servicios esenciales». De lo anterior se desprende que los servicios esenciales dependen de las infraestructuras críticas, que a su vez dependen de las infraestructuras estratégicas.

Todo aquello que tiene que ver con el tratamiento y suministro de agua es, por definición, un servicio esencial, pues, como ya se ha comentado, el agua es indispensable para el mantenimiento de la actividad cotidiana. De la misma manera, toda infraestructura que tenga por objeto canalizar el suministro de aguas para cualquier uso, incluido su retorno al medio ambiente, constituye una infraestructura crítica. Por tanto, el uso de algoritmos de inteligencia artificial en el campo de los recursos hídricos encontraría

fácil acomodo en el ámbito de las infraestructuras estratégicas. Aceptar que los sistemas de suministro hídrico dependan de algoritmos de inteligencia artificial supone aceptar que estos están, a su vez, sujetos a los riesgos a los que se exponen habitualmente las infraestructuras estratégicas, que incluyen terrorismo, crimen organizado —también cibercrimen—, espionaje y los efectos de las catástrofes naturales, entre otros. Dado que algunas de estas amenazas son tan nuevas como el propio concepto de inteligencia artificial, todavía resulta difícil establecer tanto el nivel de vulnerabilidad al que la sociedad se expone adoptándolas como las posibles consecuencias que de ello pudieran derivarse.

La innovación tecnológica conlleva riesgos intrínsecos. Como es lógico, a medida que se desarrollan procesos y herramientas nuevas, surgen también nuevas vulnerabilidades. En ocasiones, estas no se detectan con facilidad durante la fase de desarrollo, por lo que solo quedan expuestas cuando se enfrentan a un ataque malicioso o a una situación de excepcionalidad. El vigente paradigma de digitalización, entendido como interconexión de muchos aspectos de la vida cotidiana a través de Internet, es susceptible de comprometer la seguridad de unos sistemas en función de las debilidades de otros si no se implementan mecanismos cortafuegos de manera adecuada. Por este motivo, los procesos que dependen de forma crítica de la tecnología pueden resultar más vulnerables y menos resilientes que determinados sistemas tradicionales. Como se decía anteriormente, esto constituye un desafío importante que tener en cuenta en el caso de cualquier servicio esencial, incluido el suministro de aguas.

Un aspecto importante relacionado con esto último es el anonimato propio de la red, que tiende a enmascarar las amenazas de carácter malicioso, lo que, en la práctica, se puede traducir en impunidad. En efecto, el hecho de que los ataques a un sistema determinado puedan llevarse a cabo en cualquier momento desde cualquier punto del planeta, unido a la ausencia de mecanismos de cooperación policial y judicial internacional, facilita el trabajo de los ciberdelincuentes y fomenta la reincidencia.

Por último, se pueden citar como amenazas la falta de una cultura de privacidad y seguridad digital en el conjunto de la ciudadanía, así como muchas prácticas de dudosa ética que llevan a cabo tanto las entidades privadas como públicas, que comparten datos e informaciones sensibles de forma más o menos sistemática. Todo ello es susceptible de generar vulnerabilidades a todas las escalas, y, en particular a la escala de usuario.

4.3 Problemáticas de tipo ético

Lo anterior constituye, sin duda, un importante reto de futuro cuyas implicaciones irán destapándose a medida que la digitalización se vaya imponiendo en la realidad cotidiana. Sin embargo, el estado del arte, en lo que respecta al desarrollo de tecnologías de inteligencia artificial, presenta desafíos adicionales que distan mucho de estar resueltos. Es verdad que en la actualidad existen aplicaciones probadas y plenamente funcionales, pero estas suelen abordar situaciones y problemas muy específicos. Por ejemplo, el uso de contadores inteligentes en tuberías de suministro permite establecer patrones de consumo por zonas de una determinada población. Con ello, se puede predecir con suficiente exactitud el consumo de agua en función de variables tales como la hora del día, la época del año, el nivel de renta o la tipología de vivienda, por citar algunas, lo que, a su vez, contribuye a informar la toma de decisiones a nivel técnico. Sin embargo, como se veía antes, el agua es un recurso fundamentalmente transversal, cuya gestión presenta derivadas no solo sociales y económicas, sino también ambientales, culturales y políticas. Desde este punto de vista, un importante reto en lo que respecta al desarrollo de aplicaciones útiles consiste en dotar a los algoritmos de la capacidad de gestionar de forma adecuada realidades complejas. Sirva otro ejemplo para ilustrar lo que esto quiere decir: con la tecnología actual, es técnicamente posible diseñar un sistema de bombeo basado en algoritmos de inteligencia artificial que permita predecir los requerimientos hídricos de una comunidad de regantes en tiempo real, extraer agua del acuífero mediante un pozo y distribuirla de forma automática a los campos de cultivo colindantes para regar. Sin embargo, si el objeto único de la aplicación consiste en automatizar el proceso de extracción y distribución de agua de riego, por muy satisfactoriamente que esto se consiga, se corre el riesgo de generar problemas en el entorno, como la desecación de ecosistemas acuáticos asociados a las aguas subterráneas o la movilización de determinados contaminantes en el subsuelo. Dicho de otro modo: dado el carácter transversal del recurso, el diseño y aplicación de herramientas de inteligencia artificial en el ámbito del agua debe tener siempre en cuenta las posibles consecuencias, directas o indirectas, sobre la sociedad y los ecosistemas, a fin de, en la medida de lo posible, incorporarlas al proceso automatizado de toma de decisiones y evitar efectos no deseados. Como ya se ha dicho, la inteligencia artificial tiene todavía un importante camino por recorrer hasta asentarse de forma defini-

tiva en el sector del agua. Desde ese punto de vista, sí se puede hablar de tecnología novedosa y, como ocurre con toda tecnología novedosa, la inteligencia artificial no está exenta de riesgos. No hay más que mirar a otros sectores donde la inteligencia artificial ya ha alcanzado un nivel de aceptación apreciable para darse cuenta. Sirva como ejemplo una realidad que afecta a casi todos, que tiene que ver con lo compleja que resulta la protección de datos de carácter personal que la inteligencia artificial recaba en un ámbito tan poco regulado como Internet. Por su propia naturaleza, los algoritmos requieren de ingentes volúmenes de datos para establecer las correlaciones que permiten predecir unas variables en función de otras. En ocasiones, dichos datos provienen de usuarios particulares, que pueden ver comprometida su privacidad, a veces, a partir del propio dato y, a veces, a partir de la información que de él puede derivarse, incluso con fines maliciosos. Lo novedoso de la tecnología impide ir más allá de una serie de apreciaciones genéricas, pero parece claro que el desarrollo de normas para la protección de datos de carácter personal debe ser prioritario —mediante técnicas de anonimización o de otro tipo—; por el mismo motivo, los sistemas de inteligencia artificial deben poder ser supervisados y, en su caso, auditados, de manera que, siempre que se requiera, sea posible atribuir las pertinentes responsabilidades éticas y jurídicas.

Desde el punto de vista ético, son varios los problemas que plantea la generalización de la inteligencia artificial al conjunto de los recursos hídricos (Doorn, 2021). Si bien está claro que los algoritmos pueden ayudar a encontrar soluciones óptimas a problemas complejos, sobre todo, en lo que respecta a conflictos entre usuarios, no es menos cierto que las perspectivas de éxito dependerán, en todo caso, de la formulación analítica de los problemas, y que, en último término, existirá siempre una decisión política de carácter superior. Se encuentra en ello una dualidad que podría desembocar en un uso menos que óptimo de la tecnología, aun en el caso de que esta proporcione soluciones verdaderamente eficaces. Esto podría, a su vez, ir en detrimento de su adopción.

Por último, hay que tener en cuenta que el desarrollo de nuevas tecnologías tiende a constituirse en fuente de desigualdades, en tanto que es más factible tener acceso a este tipo de aplicaciones en sociedades industrializadas y en ambientes de mayor poder adquisitivo que en el contexto de países de media y baja renta y en círculos sociales desfavorecidos.

Conclusiones

Desde hace ya algunos años, el advenimiento de la inteligencia artificial ha traído consigo importantes cambios en la realidad cotidiana. Algunas de sus implicaciones prácticas resultan ya evidentes y, previsiblemente, no harán más que incrementarse en el futuro. Cabe esperar que algo parecido ocurra en el seno de los distintos ámbitos profesionales, si bien, como sucede con todo cambio de paradigma, la adopción de técnicas de inteligencia artificial en el sector productivo será un proceso gradual, no exento de dificultades, con importantes asimetrías de un campo a otro. Mientras que algunos sectores como el diseño gráfico, la banca o el *marketing* abrazaron estas tecnologías casi desde el principio, el mundo del agua las ha ido acogiendo con un ritmo más parsimonioso. Esto se atribuye, en gran medida, a la naturaleza crítica del recurso hídrico y a la existencia de prácticas y métodos de gestión sólidamente implantados y enraizados en un profundo conocimiento de los procesos químicos, físicos, geológicos y biológicos que gobiernan el ciclo hidrológico, lo que hace que, sin existir una oposición frontal, la adopción de estas nuevas tecnologías no se perciba como una necesidad prioritaria.

Aun así, existen ya numerosas aplicaciones directas de la inteligencia artificial en el campo de los recursos hídricos, tanto a escala de cuenca, como a la de suministro, tratamiento y depuración de aguas, y también a la del propio usuario. Por lo general, estas herramientas abordan aspectos y objetivos muy específicos, tales como la optimización de procesos, consumos y costes. En este sentido, un importante reto de futuro es la generalización de su uso a problemáticas más complejas, que permitan informar la toma de decisiones dando peso a variables de tipo social, económico, hidrológico y ambiental a la vez.

La adopción de técnicas de inteligencia artificial en el sector del agua no está exenta de efectos secundarios. Cada vez resulta más evidente que la inteligencia artificial presenta una huella ecológica no desdeñable, que se traduce en un importante consumo de agua a nivel de los grandes centros de procesamiento de datos. Las implicaciones que de esto puedan derivarse deberán ser abordadas caso por caso, pues son susceptibles de plantear desafíos de gestión en cuencas deficitarias. Por otra parte, las técnicas de inteligencia artificial conllevan riesgos afines a los de la creciente digitalización que experimenta la sociedad actual, es decir, la fragilidad propia de los sistemas fuertemente interconec-

tados, los problemas derivados de la innovación tecnológica, que crea nuevas vulnerabilidades al tiempo que desarrolla nuevas herramientas, o la ausencia de una cultura de privacidad y seguridad digital, tanto a nivel de empresas e instituciones como del conjunto de la población. Todo esto constituye un riesgo potencial para la ciudadanía, habida cuenta del carácter de servicio esencial del suministro de agua y de la existencia de amenazas de nuevo cuño, como el ciberterrorismo. De la misma manera, la inteligencia artificial plantea importantes debates éticos para los que aún no existen consensos claros. Se habla, por ejemplo, de los asociados a la protección de datos o a las desigualdades sociales derivadas de la falta de competencias digitales o de acceso a las tecnologías de la información.

De todo ello, se puede concluir que la efervescencia tecnológica que experimentan actualmente las sociedades industrializadas constituye un excelente caldo de cultivo para la innovación, y que esto tiene el potencial de contribuir a mejorar las prácticas de gestión del agua en el futuro. Sin embargo, existen riesgos inherentes a los que habrá que ir dando respuesta conforme planteen nuevos desafíos.

Bibliografía

- Alam, G., Ihsanullah, I., Naushad., M. y Sillanpää, M. (2022). Applications of artificial intelligence in water treatment for optimization and automation of adsorption processes: Recent advances and prospects. *Chemical Engineering Journal*. 427, 130011.
- Asplund, F., Jensen, B., Ramanampihe, M. V., Fussi, F., Rahobisoa, J. J., Ramanantsoa, H., Gómez-Escalonilla, V. y Martínez-Santos, P. (2024). *A geospatial database of groundwater data in southern Madagascar*. Davos, Suiza, IAH World Congress
- Belson, W. (1959). Matching and Prediction on the Principle of Biological Classification. *Applied Statistics*. 8(2), pp. 65-75
- Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R. A. y Stone, C. J. (1984). *Classification and Regression Trees*. Routledge.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*. 45, pp. 5-32.
- Castaño, S., Sanz, D. y Gómez-Alday, J. J. (2012). Remote Sensing and GIS Tools for the Groundwater Withdrawals Quantification. *Journal of Agricultural Science and Applications*. 1(1), pp. 33-36.

- CYII-FC. (2020). *Cuaderno de aplicaciones de la inteligencia artificial en el sector del agua*. Canal de Isabel II y Fundación Canal.
- Dhar, P. (2020). The carbon impact of artificial intelligence. *Nature Machine Intelligence*. 2(8), pp. 423-425.
- Doorn, N. (2021). Artificial intelligence in the water domain: Opportunities for responsible use. *Science of the Total Environment*. Vol. 755. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142561
- España. (2011). Ley 8/2011, de 28 de abril, por la que se establecen medidas para la protección de las infraestructuras críticas. *Boletín Oficial del Estado*. 29 de abril, núm. 102.
- Géron, A. (2017). *Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. O'Reilly Media, Inc.
- George, A., Hovan, A. S. y Gabrio, A. S. (2023). The Environmental Impact of AI: A Case Study of Water Consumption by Chat GPT [en línea]. *Partners Universal International Innovation Journal*. 1(2), pp. 91-104 [Consulta: 2025]. DOI:10.5281/zenodo.7855594
- Gómez-Escalonilla, V., Vogt, M. L., Destro, E., Isseini, M., Origgi, G., Djoret, D., Martínez-Santos, P. y Holecz, F. (2022). Delineation of groundwater potential zones by means of ensemble tree supervised classification methods in the Eastern Lake Chad basin. *Geocarto International*. 37(25), pp. 8924-8951.
- Guerrini, F. (2023). AI's unsustainable water use: how tech giants contribute to global water shortages [en línea]. *Revista Forbes*. [Consulta: abril 2024]. Disponible en: <https://www.forbes.com/sites/federicoguerrini/2023/04/14/ais-unsustainable-water-use-how-tech-giants-contribute-to-global-water-shortages/?sh=66b69de84939>
- Henderson, P., Hu, J., Romoff, J., Brunskill, E., Jurafsky, D. y Pineau, J. (2020). Towards the systematic reporting of the energy and carbon footprints of machine learning. *Journal of Machine Learning Research*. 21(1).
- Himangshu, S., Goriwale, S. S., Ghosh, J. K., Ojha, C. S. P. y Ghosh, S. J. (2024). Potential of machine learning algorithms in groundwater level prediction using temporal gravity data. *Groundwater for Sustainable Development*. Vol. 25.
- International Energy agency (IEA). (2023). Tracking Clean Energy Progress. Technical Report. International Energy Agency.
- Makengo, B., Molanga, J., Mbutamuntu, J., Londo, P. y Nsiy, T. (2021). Water: A Major Stake of Conflicts in the Twenty-First Century. *Open Journal of Social Sciences*. 9, pp. 125-148.

- Makridis, C. A. (2023). A double-edged sword: AI's energy & water footprint and its role in resource conservation [en línea]. Global Water Forum. [Consulta: abril 2024]. Disponible en: <https://www.globalwaterforum.org/2023/11/02/a-double-edged-sword-ais-energy-water-footprint-and-its-role-in-resource-conservation/>
- McCulloch, W. S., Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biology*. 5, pp. 115-133.
- Moor, J. (2006). The Dartmouth College artificial intelligence conference: the next fifty years. *AI Magazine*. 27, pp. 87-89.
- Morgan, J. N. y Sonquist, J. A. (1963). Problems in the analysis of survey data, and a proposal. *Journal of the American Statistical Association*. 58, pp. 415-434.
- ONU. (2002). *General Comment No. 15. The right to water. UN Committee on Economic, Social and Cultural Rights*. Organización de las Naciones Unidas.
- ONU. (2010). *Resolution A/RES/64/292. United Nations General Assembly*. Organización de las Naciones Unidas.
- Ortiz-Correa, J. S., Filho, M. S., Dinar, A. (2016). Impact of access to water and sanitation services on educational attainment. *Water Resources and Economics*. 14, pp. 31-43.
- Pedregosa, F. et al. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Mach Learn Python*. 12, pp. 2825-2830.
- Raisa, S. S., Sarkar, S. K. y Sadiq, M. A. (2024). Advancing groundwater vulnerability assessment in Bangladesh: a comprehensive machine learning approach. *Groundwater for Sustainable Development*. Vol. 25.
- Ren, S. (2023). How much water does AI consume? The public deserves to know [en línea]. OECD Policy Observatory. [Consulta: enero 2024]. Disponible en: <https://oecd.ai/en/work/how-much-water-does-ai-consume>
- Richards, C. E. et al. (2023). Rewards, risks and responsible deployment of artificial intelligence in water systems. *Nature Water*. 1, pp. 422-432.
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*. 65(6), pp. 386-408.
- Singh, A. et al. (2024). AutoML-GWL: Automated machine learning model for the prediction of groundwater level. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Vol. 127.

- Tang, Y., *et al.* (2023). Flood forecasting based on machine learning pattern recognition and dynamic migration of parameters. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. Vol. 47.
- Toryla, T. M. *et al.* (2023). An overview of the applications of artificial intelligence in water engineering. *International Journal of Engineering Science and Application*. 7(1), pp. 22-31.
- Wolf, A. (1998). Conflict and Cooperation along International Waterways. *Water Policy*. 1, pp. 251-265

Capítulo sexto

El agua como amenaza para la seguridad

Alberto Cique Moya

Resumen

El agua ha sido un recurso vital para la humanidad y ha desempeñado un papel clave en la historia de los conflictos. Desde las primeras civilizaciones, los seres humanos se han asentado cerca de fuentes de agua, lo que ha generado disputas por su control. Estrategas como Sun Tzu reconocieron la importancia estratégica del agua, que se usaba como arma a través de tácticas como el envenenamiento de pozos o la alteración de cursos de ríos. En la actualidad, el agua sigue siendo un recurso estratégico, cuya distribución desigual y escasez creciente, unidos a los efectos del cambio climático y la contaminación, generan tensiones a nivel local, nacional e internacional. La falta de acceso al agua potable y la competencia por recursos hídricos podrían intensificarse si no se gestionan de forma adecuada.

El agua continental, compuesta por ríos, lagos y acuíferos, es crucial para la vida y el desarrollo económico. Su escasez afecta a millones de personas y es fundamental para la agricultura, la obtención de energía hidroeléctrica o su uso como vías de comunicación. El agua, debido a su importancia geopolítica y socioeconómica, puede ser un factor desencadenante de conflic-

tos, especialmente en zonas con gestión ineficaz, lo que lleva a problemas como desplazamientos de población, inseguridad alimentaria y degradación ambiental. Estos conflictos pueden tener consecuencias económicas, sociales y políticas, e impacta en áreas como la agricultura y la estabilidad política, de ahí su vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Para prevenir estos conflictos, es crucial fomentar la cooperación internacional, la gobernanza compartida y promover la transparencia y el diálogo entre las partes involucradas. Ejemplos exitosos de gestión compartida incluyen el Tratado del Río de la Plata y los acuerdos entre países árabes e Israel. Además, la vulnerabilidad de las infraestructuras hídricas frente a sabotajes y ataques bioterroristas es un problema actual. Para protegerlas, se necesita un enfoque integral de defensa hídrica, que incluya medidas físicas, monitorización avanzada y capacitación del personal para garantizar la seguridad del suministro de agua y prevenir actos maliciosos.

Palabras clave

Guerras de agua, Conflictos de agua, Cooperación internacional, Vulnerabilidad, Defensa hídrica.

Water as a threat to security

Abstract

Water has been a vital resource for humanity and has played a key role in the history of conflicts. Since the earliest civilizations, humans have settled near water sources, leading to disputes over control. Strategists like Sun Tzu recognized the strategic importance of water, using it as a weapon through tactics like poisoning wells or altering rivers. Today, water remains a strategic resource, and its unequal distribution, growing scarcity, and the effects of climate change and pollution create tensions at local, national, and international levels. The lack of access to potable water and the competition for water resources could intensify if not managed properly.

Continental water, consisting of rivers, lakes, and aquifers, is crucial for life and economic development, in addition to being linked to the Sustainable Development Goals (SDGs). Its scarcity affects millions of people and is essential for agriculture, hydroelectric energy, and transportation. Water, due to its geopolitical and socioeconomic importance, can be a trigger for conflicts, especially in areas with poor management, leading to issues like population displacement, food insecurity, and environmental degradation. These conflicts can have economic, social, and political consequences, impacting sectors like agriculture and political stability.

To prevent these conflicts, it is crucial to promote international cooperation, shared governance, and transparency and dialogue among the involved parties. Successful examples of shared management include the Rio de la Plata Treaty and agreements between Arab countries and Israel. Furthermore, the vulnerability of water infrastructure to sabotage and bioterrorist attacks is a current concern. To protect these systems, an integrated water defense approach is needed, including physical measures, advanced monitoring, and staff training to ensure the security of water supplies and prevent malicious acts.

Keywords

Water wars, Water conflicts, International cooperation, Vulnerability, Water defense.

Introducción

El hombre siempre ha tratado de estar cerca de las fuentes de agua para vivir, cuando era cazador porque los animales de los que se alimentaba buscaban el agua para beber y, conforme se fue haciendo sedentario, buscaba las tierras más fértiles, cerca de los cursos de agua para obtener más y mejores cosechas. El problema al que se enfrentaban nuestros ancestros respecto al acceso a esas tierras más productivas es que eran también deseadas por los diferentes pueblos que vivían cerca de ellas, de modo que se daban las condiciones ideales para iniciar un conflicto por ese recurso vital, de ahí que esta haya sido la causa más frecuente de los conflictos entre los pueblos a lo largo de la historia (Clark, 1944; Mays, Koutsoyiannis, y Angelakis, 2007; Argudo García, 2019).

Conscientes de esa realidad, los grandes estrategas siempre han considerado el agua como un medio para alcanzar una ventaja estratégica, operacional o táctica. Sirva de ejemplo, entre otras posibles muestras, que *Sun Tzu* incluyera en el capítulo XII «Sobre el arte de atacar por el fuego» de su obra *El arte de la Guerra* el siguiente pensamiento: «El agua puede utilizarse para dividir a un ejército enemigo, de manera que su fuerza se desuna y la tuya se fortalezca». Esto significa que el uso del agua para apoyar un ataque significa «fuerza», lo que constituye un «arma eficaz» para alcanzar la victoria (Tzu, 2015).

A lo largo de la historia, el agua ha sido protagonista, ya fuera con carácter ofensivo o defensivo, de modo que ha tenido siempre una «faceta militar», bien sea por haber permitido mantener fronteras, gracias a los cauces de los ríos, defender fortalezas o como en el caso del sitio de *Krissa (Cirra)*, permitir ser utilizada como un «vector de transmisión» de una sustancia tóxica para doblegar a una ciudad sedienta (Frischknecht, 2003; Hidalgo, 2019).

El envenenamiento de los pozos y, por tanto, el uso militar del agua ha sido una constante a lo largo de la historia. Así, en el siglo VI a. C. los ejércitos asirios envenenaban los pozos de sus enemigos con cornezuelo del centeno, un alcaloide del grupo de la ergotina producido por el hongo *Claviceps purpurea*, lo que ha provocado entre los que la consumían la enfermedad denominada ergotismo, que se caracteriza, entre otros síntomas, por alucinaciones (Vicente Sánchez y Marquina Diaz, 2022).

También en el siglo VI a. C., durante la primera guerra sagrada entre la liga de Delfos y Cirra, el legislador griego Solón utilizó

la estratagema de modificar el curso del río Pleistos que llevaba agua a la ciudad sitiada de Krissa, para impedir que el agua llegara a la ciudad y así vencerles por la sed, pero esto solo no le bastó, sino que ordenó a sus tropas recolectar grandes cantidades de la planta eléboro (*Symplocarpus foetidus*), la cual contiene una serie de toxinas con efectos cardioactivos y espásticos (hellebrina, ranunculina). Cuando consideró que tenía la cantidad suficiente y la ciudad sufría los efectos de la sed, arrojó la planta recogida al agua para que se mezclara y diluyera en ella, y recondujo seguidamente el curso del río hacia la ciudad, con lo que los sedientos sitiados tras consumir la ansiada agua cayeron enfermos, lo que permitió conquistar la ciudad indefensa (Mayor, 2009).

Es importante destacar en relación con este ejemplo que se unen dos tácticas detestables para las leyes y usos de la guerra. Por un lado, la ejecución de modificaciones ambientales con fines militares, es decir, la alteración del curso del canal que proporcionaba agua a la ciudad, y, por otro, el uso de prácticas prohibidas casi en la totalidad de los códigos de conducta que rigen nuestro modo de vida, que no es otra que la contaminación intencionada del agua, y también de los alimentos, con sustancias tóxicas para infectar o intoxicar a los seres vivos que las consumen (Cique, 2023).

Por otro lado, desde una aproximación positiva no se puede dejar de citar que el envenenamiento de las aguas no solo se plantea como una táctica militar, sino que ha sido utilizada a lo largo de la historia para disponer de recursos alimenticios mediante uso de plantas tóxicas. Así, algunas tribus indígenas «envenenan» el agua con extractos de plantas que ejercen efectos aturdidores sobre los peces o sobre los animales (Pitschmann y Hon, 2016)

Muchos son los ejemplos que se podrían incluir en esta introducción para destacar cómo el agua ha marcado el destino de los ejércitos, pero tratándose de un documento del Instituto Español de Estudios Estratégicos, parece indicado hacer un guiño a uno de los hechos, aunque rodeado por un halo de leyenda, que han marcado nuestra historia.

El 2 de diciembre de 1585, los miembros del Tercio Viejo de Zamora se vieron rodeados por el ejército holandés, que bloqueó las vías fluviales del área ocupada por los españoles y provocó una inundación forzada del terreno. Esta táctica provocó que los cinco mil soldados españoles se vieran forzados a refugiarse en un pequeño promontorio del terreno a la espera de ser aniquilados, ya que no consideraban la rendición como una salida. La

leyenda cuenta que la noche del 8 de diciembre un soldado descubrió una tablilla con la imagen de la Inmaculada Concepción, ordenándose iniciar una procesión con ella, lo cual permitió, no solo incrementar la moral de los soldados sitiados, sino que, de acuerdo con la leyenda que ha llegado hasta nosotros, esa noche las condiciones meteorológicas provocaron que las aguas se congelaran de manera asombrosa, forjando así en la memoria colectiva el denominado *milagro de Empel*.

La congelación de las aguas permitió a los españoles salir de su encierro y, encomendados a la Inmaculada, atacar por sorpresa a los holandeses y ganar la batalla. Este hecho milagroso tuvo como consecuencia que los tercios se consagraran a la protección de la Inmaculada Concepción, así como su heredera, la Infantería Española, entre otros cuerpos militares entre los que se incluye la Veterinaria militar, como santa patrona (Villatorio, 2016; Latorre de Silva, 2023).

El que el agua sea un recurso estratégico vital ha provocado que haya sido la causa de la gran mayoría de los conflictos en nuestra historia, pero también en nuestro presente, y seguro que en nuestro futuro, debido fundamentalmente a las tensiones geopolíticas por el aprovechamiento del agua, así como consecuencia del cambio climático tal cual se puede observar en la tabla 1. Por consiguiente, el entorno internacional de seguridad se verá más afectado y sufriremos *guerras de agua* (Martín y Justo, 2015; De Stefano, 2019; Detges, Pohl y Schalle, 2017).

Disputa por el agua en la cuenca del Nilo	Proyectos de represas y disputas en la cuenca del río Mekong
Escasez de agua y descontento público en Yemen	Disputas por el agua en la cuenca de Cauvery en India
Tensiones derivadas por el aprovechamiento del Éufrates-Tigris entre Turquía, Siria e Irak	La sequía pertinaz y el conflicto armado en Somalia incrementan la inseguridad alimentaria en el país
Disputas por aguas transfronterizas entre Afganistán e Irán	Tensiones locales por la privatización del agua en Cochabamba (Bolivia)

Tabla 1. Principales conflictos de agua en el mundo

No se puede finalizar esta introducción sin citar la utilización del agua con fines criminales o terroristas. De hecho, algunos grupos terroristas han planteado en la historia reciente tomar como objetivo las infraestructuras hídricas, aunque es importante resaltar

que estas son menos vulnerables que lo que la literatura popular sugeriría y que incluso se recogía por los medios de comunicación, no solo porque, en función de su diseño, sus procedimientos de depuración inactivan la mayor parte de los agentes biológicos que podrían ser utilizados. No obstante, no se puede olvidar la vulnerabilidad de los sistemas informáticos de estas infraestructuras críticas (La Razón, 2001; Carus, 2001).

1 El agua como recurso estratégico y amenaza para la seguridad

El 22 de marzo es el día elegido por las Naciones Unidas para celebrar el Día Mundial del Agua. El objetivo de este día no es otro que destacar la importancia de conservar y proteger este recurso vital para la salud de la población y del medioambiente. Si bien este año el lema elegido es «Conservación de los glaciares», el año pasado el lema fue «Agua para la paz». Bajo esta consigna se incluían los siguientes tres mensajes claves (Naciones Unidas, 2024):

- El agua puede crear paz o desencadenar conflictos.
- La prosperidad y la paz dependen del agua.
- El agua puede sacarnos de una crisis.

Estos mensajes se fundamentan en que aproximadamente la mitad de la población mundial sufre una grave escasez de agua al menos durante una parte del año (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022), 2200 millones de personas todavía carecen de agua potable gestionada de forma segura (United Nations, 2023). El escenario geopolítico se complica porque las aguas transfronterizas representan el 60 % de los flujos de agua dulce del mundo, 153 países comparten territorios dentro de, al menos, 1 de las 310 cuencas fluviales y lacustres transfronterizas (United Nations, 2023). Y, desde el punto de vista de este capítulo, solo veinticuatro países han notificado que todas sus cuencas transfronterizas están sujetas a acuerdos de cooperación (United Nations, 2021), de ahí que contribuye sin ninguna duda a ser origen de conflictos y amenazas a la seguridad.

A continuación, se recogen los aspectos claves que destacan la importancia del agua como recurso estratégico y su relación con los riesgos y amenazas para la seguridad (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013; Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, 2016; Milne, 2021; Banco Mundial, 2023):

- Escasez y disponibilidad: la distribución desigual del agua en el planeta y el crecimiento demográfico han provocado que sea un recurso escaso en diferentes regiones del mundo. La disponibilidad de agua dulce per cápita está disminuyendo, lo que lleva a tensiones y conflictos por su acceso y control.
- Seguridad alimentaria: el agua es fundamental para la agricultura, y la falta de acceso puede amenazar la seguridad alimentaria. La competencia entre el uso agrícola, industrial y doméstico a menudo conduce a tensiones y conflictos.
- Conflicto y diplomacia: la competencia por recursos hídricos puede desencadenar conflictos entre países o dentro de ellos. Sin embargo, también puede fomentar la cooperación y la diplomacia para gestionar de manera sostenible los recursos compartidos.
- Impacto del cambio climático: el cambio climático está afectando la disponibilidad y la calidad del agua, exacerbando la escasez en algunas regiones y aumentando la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones.
- Contaminación y calidad del agua: la contaminación del agua por actividades industriales, agrícolas, mineras y urbanas reduce su disponibilidad y calidad, lo que amenaza la salud humana y los ecosistemas.
- Infraestructuras hídricas y gestión del agua ineficientes: las infraestructuras de agua y saneamiento inadecuadas, la mala gestión de los recursos hídricos, así como su vulnerabilidad informática en los países desarrollados pueden tener consecuencias muy relevantes para la población.

Cualquiera de estos aspectos por sí mismo, o concatenando alguno de ellos, destacan la importancia del agua como recurso estratégico en este mundo multipolar en el que estamos viviendo (Ayala, 2002; Lujan Cardenas, 2023).

1.1 El agua como generador de conflictos: pasado, presente y futuro

El agua es un recurso esencial para la vida y el desarrollo, pero su gestión sostenible es fundamental para evitar que se convierta en una fuente de conflicto y amenaza para la seguridad en el mundo actual. La importancia de esta aseveración se relaciona con el

lema «Agua para la paz» anteriormente citado del pasado Día Mundial del Agua, el cual integra los siguientes mensajes clave (Naciones Unidas, 2024):

- El agua puede crear paz o desencadenar conflictos. Cuando el agua escasea o está contaminada, o cuando la gente tiene dificultades para acceder a ella, las tensiones pueden aumentar. Cooperando en materia de agua, se pueden equilibrar las necesidades relativas al agua de todos y ayudar a estabilizar el mundo.
- La prosperidad y la paz dependen del agua. A medida que los países gestionan el cambio climático, las migraciones masivas y la inestabilidad política, deben situar la cooperación en materia de agua en el centro de sus planes.
- El agua puede sacarnos de una crisis. Se puede fomentar la armonía entre comunidades y países uniéndose en torno al aprovechamiento justo y sostenible del agua, desde los convenios y convenciones de las Naciones Unidas a nivel internacional hasta las acciones a nivel local.

El agua es un recurso vital para la supervivencia de la humanidad y un elemento crucial para el desarrollo socioeconómico. Sin embargo, su disponibilidad y calidad está cada vez más en peligro debido a factores como el cambio climático, la contaminación y la gestión inadecuada. Esto convierte al agua en un recurso estratégico de gran importancia geopolítica, y también en una potencial amenaza para la seguridad en diversas escalas, desde local hasta global (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas, 2014; Andri, 2023; Hall, 2024).

De hecho, el agua ha sido y continuará siendo un generador de conflictos, tanto en el pasado como en el futuro, a menos que se tomen medidas efectivas para gestionar de manera sostenible los recursos hídricos y promover la cooperación entre las partes interesadas a nivel local, nacional e internacional en el avance hacia la Agenda 2030 y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, 2022).

Como se ha planteado anteriormente, el agua ha sido históricamente un factor desencadenante de conflictos y tensiones entre comunidades, regiones y países en el pasado, lo es en el presente y lo será en el futuro debido a una combinación de factores ambientales, demográficos, políticos y económicos (Guisández Gómez, 2010; Cerrilo, 2016).

En el pasado, como se ha podido leer en la introducción, muchas civilizaciones han librado guerras y enfrentamientos por el control de fuentes de agua, ríos y recursos hídricos. Solo hay que recordar los conflictos en Mesopotamia por el control de los ríos Tigris y Éufrates, así como las guerras del agua entre las antiguas ciudades-Estado griegas (Roger-Lacan, 2023).

El paso del entorno VUCA (volátil, incierto, complejo y ambiguo) al entorno BANI (frágil, ansioso, no lineal e incomprensible) en este mundo en que ha tocado vivir incide más si cabe en la generación de conflictos relacionados con el agua (Cantu, 2023), ya que el acceso al agua y su distribución desigual son causas frecuentes de conflictos en el nivel local, por la competencia por recursos hídricos limitados que dan lugar a tensiones entre agricultores, comunidades urbanas y empresas. A nivel nacional e internacional, sobre todo, por el uso y abuso del agua de los ríos transfronterizos, o por el desarrollo de infraestructuras hidráulicas que afectan al caudal aguas abajo y, por tanto, alteran el equilibrio geopolítico del área, situación que se ve agravada sin ninguna duda por los potenciales efectos del cambio climático en los patrones de precipitación y, por tanto, en la disponibilidad del agua, lo cual exacerbará las tensiones regionales y los conflictos existentes.

Quizá el ejemplo paradigmático de lo anterior sea la Gran Presa del Renacimiento Etíope, ya que la activación de la primera turbina de energía hidroeléctrica para Etiopía supuso iniciar el camino a la soberanía eléctrica, mientras que para Egipto supuso un «riesgo existencial» en palabras del presidente egipcio Aldelfatah Al-Sisi, ya que el enfrentamiento diplomático entre ambos países, a los que se une Sudán, no para de incrementarse (Borrel, 2020; Soler, 2002; Erdem, Awad Satti y Abdelrhee, 2021).

El futuro no es más halagüeño que el presente, ya que las necesidades respecto al agua no paran de crecer derivado del crecimiento demográfico, la urbanización del medio natural y sin ninguna duda, los efectos derivados del cambio climático, que, sin ninguna duda, tendrán un reflejo a nivel internacional por las consecuencias a nivel regional.

La construcción y explotación de la Presa del Renacimiento por parte de Etiopía, declarada como una necesidad nacional, ha modificado el *statu quo* de las relaciones con Sudán y con Egipto, a la par que obvió el impacto sobre las poblaciones locales y su entorno económico en aras de convertirse en una potencia exportadora eléctrica a nivel internacional en el área, de modo

que no se pudo olvidar que, tras ese trasfondo económico de querer abandonar el sector primario en favor de otros sectores, destaca un componente político nada desdeñable por parte del Frente Democrático Revolucionario del Pueblo de Etiopía (Aimé González, 2016; Montag, 2021; Romero, 2024).

De acuerdo con los datos recogidos por el Pacific Institute en el periodo 2020-2023, se produjeron 543 conflictos a nivel global, bien fuera porque el agua se utilizara como arma o como causa u objetivo de la violencia. En el gráfico 1, se puede observar cómo, en el mundo, a partir del año 2000 se han incrementado los conflictos de manera muy relevante, fundamentalmente en Asia y en África (Pacific Institute, 2024).

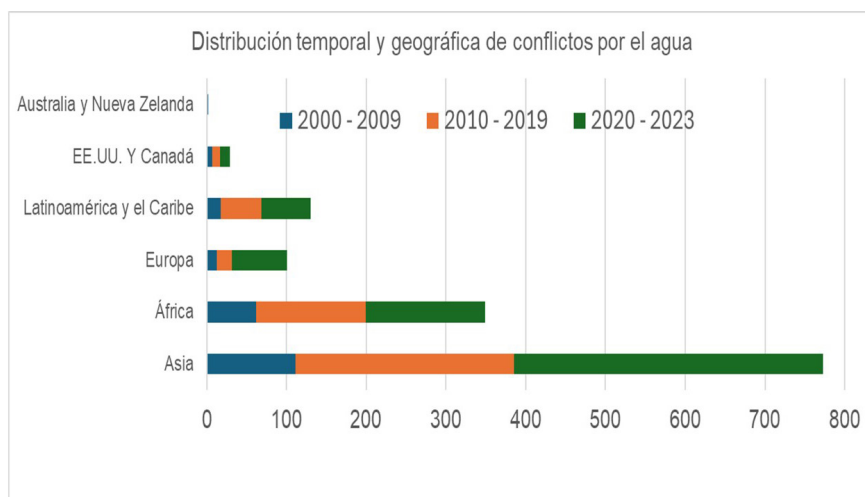


Gráfico 1. Distribución temporal y geográfica de conflictos por el agua
(Pacific Institute)

A este respecto, el Pacific Institute establece tres categorías para encuadrar los conflictos de agua:

- Desencadenante: el agua como desencadenante o causa de conflicto, donde hay una disputa por el control del agua o los sistemas de agua, o donde el acceso económico o físico al agua o la escasez de esta desencadena violencia.
- Arma: el agua como arma de conflicto, donde los recursos hídricos o los propios sistemas de agua se utilizan como herramienta o arma en un conflicto violento.
- Víctima: los recursos hídricos o los sistemas de agua como víctimas de conflicto, donde los recursos hídricos o los siste-

mas de agua son víctimas intencionales o incidentales, o son objetivos de la violencia.

Si se profundiza en el análisis de los datos referidos al periodo 2020-2024 incluidos en la tabla 2, se observa cómo ha aumentado el número de incidentes como consecuencia de la invasión de Ucrania por parte de Rusia y, en mucha menor medida, por parte de Ucrania. Desde ataques a los sistemas de agua y saneamiento hasta ataques a las centrales eléctricas que dejan sin suministro a la población, pasando por la destrucción de presas, la contaminación con aguas fecales del agua de consumo, o incluso la afectación de los sistemas de procesamiento de agua de la central nuclear de Zaporijia (Pacific Institute, 2024).

	Víctima	Desencadenante	Arma
Asia Occidental	112	46	9
Asia meridional	12	87	1
Europa del Este	58	2	10
África subsahariana	45	71	3
América latina y el Caribe	9	44	1
África del Norte	13	12	1
Sureste de África	13	2	
Asia Central		6	
América del Norte	2	9	3
Europa occidental	3	5	1
Europa meridional	1	1	

Tabla 2. Conflictos por el agua durante el periodo 2020-2024 (Pacific Institute)

Este escenario pesimista será, probablemente, más complicado en un futuro cercano, ya que, si se cumplen las expectativas para 2050, el estrés hídrico o, lo que es lo mismo, la relación entre la demanda de agua y el suministro renovable que mide la competencia por los recursos hídricos locales, tendrá un impacto en toda la población mundial, lo cual, sin ninguna duda, incrementará la probabilidad de un mundo más inseguro (Kuzma, Saccoccia, Chertok, 2023).

1.2 Definición de «guerras de agua»

No hay una definición clara para el concepto «guerras de agua», ya que en función de cuál sea el factor en el que se haga más

hincapié, la definición varía en mayor o menor medida. Sirva de ejemplo que *Farley* considera que el concepto «guerras de agua» se refiere a los conflictos por los derechos de explotación económica del agua, ya sea mediante el apoyo a las flotas pesqueras o la búsqueda de recursos submarinos o el acceso al agua dulce para fines potables, industriales y agrícolas (*Farley*, 2021).

La anterior definición, como se puede colegir, no parece la más adecuada para el contexto de este capítulo. De ahí que haya que plantearse una definición más de consenso que englobe los aspectos tratados en este cuaderno de estrategia, que no es otra que: los conflictos relacionados con el agua o «guerras de agua» se refieren a las tensiones políticas y diplomáticas, o conflictos violentos que surgen entre países, regiones o comunidades debido a disputas por el acceso, control o distribución de recursos hídricos superficiales, como ríos y lagos, como acuíferos subterráneos compartidos, pudiendo surgir por la escasez de agua, la sobreexplotación de recursos hídricos, la contaminación, el cambio climático u otros factores que afectan a la disponibilidad y calidad del agua.

Los conflictos por el agua pueden surgir por factores como las disputas territoriales, la competencia por los recursos, las dificultades políticas y la delimitación de fronteras. También pueden desencadenarse por sucesos como sequías, estrés hídrico y escasez de agua, que aumentan la competencia y la presión sobre los recursos hídricos disponibles. Las consecuencias de los conflictos por el agua pueden ser significativas, lo que provoca la degradación del medioambiente, consecuencias socioeconómicas y riesgos para la salud y el bienestar humanos. Comprender las causas y la dinámica de los conflictos por el agua es crucial para desarrollar estrategias que permitan resolverlos y garantizar una gestión sostenible del agua (*Enayati, Bozorg-Haddad y Tahmas, 2021; Angelakis et al., 2021; Gleick y Shimabuku, 2023*).

2 Importancia del agua como recurso estratégico

Farley, anteriormente citado, hacía mención del ámbito marítimo dentro de un amplio concepto de «guerras de agua». Pero, a efectos de este cuaderno de estrategia, parece razonable circunscribirse al agua continental, que incluye ríos, lagos y acuíferos subterráneos, tal cual se ha planteado en la definición anteriormente incluida como un recurso estratégico de vital importancia, ya que sustenta múltiples aspectos de la vida humana y los eco-

sistemas terrestres, resultando vital garantizar la disponibilidad continua de agua de calidad para las generaciones presentes y futuras. Esto es así porque el agua afecta a todos los aspectos del desarrollo y se relaciona con la mayoría de los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS, además de impulsar el desarrollo económico, apoyar los ecosistemas saludables y ser fundamental para la vida (Naciones Unidas, 2022).

Los factores más relevantes que determinan la importancia del agua como recurso estratégico son:

- Abastecimiento de agua potable: las aguas continentales son la principal fuente de agua potable para la población humana, ya que proporciona el suministro básico para beber, cocinar o utilizarla para la higiene personal. A este respecto, de acuerdo con los datos del Banco Mundial, cerca de 2000 millones de personas en el mundo no tienen acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura, 3600 millones no cuentan con servicios de saneamiento seguros y 2300 millones carecen de instalaciones básicas para lavarse las manos (Banco Mundial, 2023).
- Agricultura y seguridad alimentaria: el agua continental es esencial para la agricultura y la ganadería, ya que depende en gran medida de la disponibilidad de agua de riesgo para el cultivo de alimentos, pero también para suministrar agua a los animales, por lo que un suministro en cantidad y calidad suficiente de agua es vital para garantizar la seguridad alimentaria de las poblaciones (The Food and Agriculture Organization of the United Nations – Earthscan, 2011).
- Generación de energía eléctrica: las centrales hidroeléctricas utilizan los cursos de agua para generar electricidad, contribuyendo así a la producción de energía limpia y renovable. Sin embargo, este aspecto positivo se convierte en elemento de tensión como se ha podido leer con anterioridad al referirnos a la Gran Presa del Renacimiento.
- Transporte y comercio: aunque este factor se incardina más con la seguridad marítima y su relación con la piratería, no se puede olvidar el papel que los «piratas de los ríos» tienen, si así se pudiera expresar, en la seguridad a nivel regional, nacional e internacional, y que está asociado fundamentalmente al desarrollo e implantación de mafias (Mustard, 2021). La triple frontera es un ejemplo claro de lo anterior, ya que la zona fronteriza entre Argentina, Brasil y Paraguay se considera una

de las regiones del mundo más inseguras en función de la elevada actividad criminal existente, lo cual constituye un foco de tensión entre los tres países que comparten frontera, máxime cuando *Hizbullah* está presente en la zona y se relaciona con la actividad terrorista en Latinoamérica (Kheribich Chetoui, 2024).

- Ecosistemas y biodiversidad: es de sobra conocido que los ecosistemas acuáticos continentales son vitales para el desarrollo y supervivencia de animales y plantas. La construcción de presas, como se ha expuesto anteriormente, no solo tiene consecuencias a nivel internacional, sino que también se asocia a consecuencias medioambientales muy discutidas (Flores Diaz, 2022; Montalvo Mendez, 2015).

2.1 El agua como desencadenante de conflictos

De los 1386 millones de kilómetros cúbicos presentes en el planeta azul, solo 93 100 kilómetros cúbicos (menos del 1 % del total) son la principal fuente de agua dulce (Secretaría General de Educación. Consejería de Educación y Empleo, 2022). De ahí que no pueda sorprender que sea un desencadenante de conflictos por su gran importancia geopolítica y socioeconómica a nivel global.

Entre los factores que más importancia que influyen en el desencadenamiento de conflictos destacan:

1. Escasez y competencia por recursos: la competencia entre diferentes actores y sectores económicos en un contexto de demanda progresiva del agua provoca que se generen conflictos más o menos graves en función del aprovechamiento de un recurso cada vez más escaso (Frutos Cachorro, Marín-Solano y Navas, 2021).
2. Conflicto por el acceso y control de fuentes de agua: nada ha cambiado en el mundo en función de los conflictos por el acceso y control de fuentes de agua, como ríos, lagos y aguas subterráneas, incluso en el nivel local y regional (Maggie *et al.*, 2022).
3. Impacto del cambio climático: la disponibilidad del agua en el mundo se está viendo afectada por el cambio climático. Periodos de sequía más intensos seguidos de inundaciones repentinas generan tensiones en las poblaciones de las áreas afectadas, ejemplo de ello son las migraciones «for-

zadas» que contribuyen a incrementar los conflictos por una competencia por los recursos hídricos (Koubi, 2019).

4. Contaminación y degradación del agua: la contaminación de los recursos hídricos por desechos industriales, agrícolas y urbanos contribuye a la degradación de la calidad del agua en muchas partes del mundo, fundamentalmente como consecuencia de conflictos armados, lo cual contribuye sin ninguna duda a mantener en el tiempo los conflictos (Mukete *et al.*, 2016).

Quizá la actividad minera sea un ejemplo de cómo los intereses geoestratégicos se enfrentan o relacionan con los intereses económicos de las empresas, ya que generan daños ambientales severos por el uso intensivo de recursos naturales como el agua y afectan a las comunidades asentadas en esos territorios sujetos a procesos de explotación ambiental minera intensiva que puede llegar a provocar conflictos sociales (Azamar, Tagle, Guevar, 2018).

5. Desplazamiento de poblaciones: la escasez de agua y los conflictos relacionados pueden provocar el desplazamiento de poblaciones, tanto dentro de los países como a través de las fronteras. Este desplazamiento puede aumentar las tensiones sociales y políticas, así como los conflictos entre grupos étnicos y comunidades (Fatli, 2018).

2.2 El agua como herramienta militar o arma de conflicto

Como se ha podido leer a lo largo de este capítulo, el control del acceso al agua ha sido una de las tácticas más utilizadas en las guerras, pero también más denostadas a lo largo de la historia y en la actualidad con la misma finalidad, es decir, regular el flujo de agua para atacar los intereses del oponente, ejemplo de ello es el control de las cuencas hidrográficas, así como el ataque militar o el sabotaje de las infraestructuras hidráulicas como presas, canales, estaciones de bombeo o redes de distribución, entre otras infraestructuras, con el objetivo de interrumpir o afectar el suministro de agua tanto para el consumo humano como para la agricultura y otros usos, lo que sin duda alguna agrava la crisis humanitaria y la inseguridad alimentaria, sin olvidar que también afecta al control de la producción eléctrica.

El control estratégico del agua se demuestra clave en el conflicto árabe-israelí. Así, el control de los Altos del Golán por parte de

Israel le confiere una ventaja estratégica frente a Siria y Jordania a merced del control del río Jordán y sus afluentes (Imbar, 2019).

La destrucción de la presa de Nova Kajovka, en la región de Jersón, provocó que se evacuaran poblaciones enteras por la inundación generada, así como una sequía posterior, además de una batalla por el relato a efectos de acusar al oponente de haber provocado el desastre medioambiental (Euronews, 2023; Gettleman, 2023). Además, a principios de 2022 las tropas rusas cortaron el suministro de agua de la ciudad de Mykolaiv durante veinticuatro días, y cuando se volvió a suministrar, el agua no era potable como consecuencia de los acúmulos de sal y sustancias químicas tóxicas (Dolgin, 2023). De hecho, en los primeros tres meses siguientes a la invasión de Ucrania se han contabilizado 64 impactos identificados en los recursos hídricos e hidráulicos ucranianos (quince de ellos con carácter potencial), desde la destrucción de presas hasta ataques a infraestructuras hídricas, pasando por la amenaza a la central nuclear de Zaporíyia o el anegamiento de minas. Estos ataques han provocado, amén de graves consecuencias medioambientales, el cese de suministro o tratamiento de agua a unos dieciséis millones de ucranianos (Shumilova *et al.*, 2023).

En otro orden de cosas, durante la guerra civil yemení se han producido ataques a las infraestructuras hidráulicas, incluidas las estaciones de bombeo y las plantas de tratamiento de agua. Estos ataques han provocado la alteración del suministro de agua a la población. Lo cual, unido a la contaminación por desechos industriales y productos químicos, complica más si cabe la situación, y exacerba la crisis humanitaria provocada por la guerra (Strategy, Defense and Foreign Affairs, 2021).

Por otro lado, no puede dejar de citarse en este apartado la contaminación accidental o intencionada de las fuentes de agua como resultado de actividades militares o vertidos accidentales de los suministros de agua. Respecto a actos intencionados, se ha demostrado a lo largo de la historia antigua y reciente como una de las tácticas más efectivas para alcanzar los objetivos estratégicos, operacionales y tácticos a efectos de debilitar al oponente y causar daños a la población civil, sin olvidar el empleo terrorista con el fin de generar miedo en la sociedad a merced de la contaminación con agentes químicos y biológicos y sustancias y radiactivas. Sea cual sea el origen, es importante destacar que la contaminación del agua puede provocar efectos devastadores en la salud de los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad, así como

en la salud humana de las comunidades que dependen de estas fuentes para sus necesidades básicas.

Durante la guerra siria se han realizado repetidos ataques deliberados contra infraestructuras civiles de abastecimiento de agua, y la mayoría de las veces fueron realizados por las fuerzas gubernamentales rusas o sirias, pero también por las fuerzas rebeldes. Por otro lado, incidiendo en lo expresado al inicio de este apartado, en repetidas ocasiones se ha negado a los sirios el acceso al agua como instrumento de presión o como medio de castigo colectivo por parte del régimen de Bashar al-Assad. Asociado a esto, la degradación de los sistemas de salud pública, incluidos los sistemas de potabilización, parece que está detrás del brote de cólera que está sufriendo el país (Lund, 2023).

3 Consecuencias de los conflictos de agua

Las tensiones políticas o los conflictos abiertos asociados a la gestión y el acceso a los recursos hídricos tienen consecuencias en todos los aspectos, desde el ámbito económico hasta el medioambiental, pasando por el social y el político a nivel local, regional, nacional, o incluso a nivel internacional, la mayor de las veces concatenados que complican más la resolución de los conflictos por el agua.

- Consecuencias económicas: la alteración accidental o intencionada de las infraestructuras hidráulicas puede provocar, en función de la entidad de los daños provocados, pérdidas económicas significativas en sectores como la agricultura, la industria y el turismo. A esto se unen los costes asociados de reconstrucción de las infraestructuras dañadas y la pérdida de productividad asociada, sin olvidar que la inestabilidad económica derivada de los conflictos puede incidir en la inversión extranjera y obstaculizar el desarrollo económico a largo plazo (Schillinger, Özerol, Güven-Griemert y Heldeweg, 2020).
- Consecuencias sociales: se podría decir sin temor a equivocarse que una de las principales consecuencias derivadas de los conflictos de agua es que pueden provocar desplazamientos masivos de población, aumentar la inseguridad alimentaria y exacerbar la pobreza. Lo cual, sin ninguna duda, contribuye a crear un clima de inseguridad en todos los niveles, pero especialmente entre diferentes grupos étnicos o sectores de la sociedad, y exacerba la vulnerabilidad de las personas, expo-

niéndolas a condiciones de vida precarias, violencia y explotación (Iosue y Sonawane, 2023). En otro orden de cosas, la escasez de agua y la falta de saneamiento adecuado puede aumentar el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua, como diarrea, cólera y enfermedades transmitidas por vectores.

- Consecuencias medioambientales: estas están originadas por la contaminación de los recursos hídricos, por su sobreexplotación y por una gestión ineficaz de los mismos. La contaminación de los recursos hídricos y la degradación de los ecosistemas acuáticos tiene consecuencias directas e indirectas a corto, medio y largo plazo en la biodiversidad y la salud de los ecosistemas, pudiendo contribuir a la desertificación, la salinización del suelo y la pérdida de hábitats naturales.

El ejemplo anteriormente citado de la destrucción de la presa de Nova Kajovka ha tenido consecuencias devastadoras en el medioambiente y la biodiversidad de las regiones afectadas, lo cual, sin ninguna duda, afecta a la estabilidad de los ecosistemas, reduce su resiliencia frente a los cambios ambientales y amenaza la seguridad alimentaria y el bienestar de las poblaciones humanas.

La desertificación asociada al cambio climático contribuirá más si cabe a modificaciones meteorológicas en áreas más amplias, y agrava más si cabe el déficit de precipitaciones, por lo que se incrementará la probabilidad de conflictos por los aspectos recogidos en este capítulo (Campillo, 2018).

En relación con las consecuencias medioambientales, no puede dejar de citarse la pérdida de patrimonio cultural asociado a la construcción de presas que, si bien pueden tener efectos beneficiosos para la población, agricultura y ganadería, no pueden descartarse los efectos perjudiciales asociados al anegamiento de los terrenos afectados por la construcción de un pantano. Ejemplo de esto es la discutida construcción de la presa de Ilisu en Turquía, la cual afectaría al entorno natural y a los yacimientos arqueológicos de la ciudad de Hasankeyf, además de provocar el desplazamiento forzado de unas ochenta mil personas. Estos hechos provocarían una fuerte movilización social internacional por el incumplimiento turco de la normativa internacional en materia de construcción de presas (Leverink, 2015).

- Consecuencias políticas: es importante destacar que la gestión ineficaz de los recursos hídricos y la falta de cooperación

pueden socavar la estabilidad política y la gobernanza en las áreas afectadas. En este sentido, los conflictos por el agua pueden aumentar las tensiones entre países vecinos y desencadenar disputas geopolíticas a nivel regional e internacional, sin olvidar que, en los conflictos nacionales, como pueden ser conflictos internos o guerras civiles, el agua se convierte en un arma de guerra.

Durante la guerra civil de Somalia, las infraestructuras hídricas fueron un componente central de la guerra, ya que el control de los pozos fue clave durante la guerra, exacerbando más si cabe la crisis humanitaria en la región gracias a las acciones terroristas del grupo islamista Al Shabaab en su ataque al Gobierno somalí, para lo cual cortaba las fuentes de agua, atacaba los vehículos cisterna o anegaba los pozos que suministraban a las poblaciones conforme las tropas gubernamentales liberaban ciudades, para así socavar el poder político mediante el denominado «terrorismo del agua» (America Abroad, 2014; Insecurity Insight, 2023).

Durante el conflicto en Sudán del Sur, la escasez de agua potable y la interrupción de los sistemas de abastecimiento de agua han exacerbado la inseguridad alimentaria en la región. La falta de acceso al agua para la irrigación ha reducido la producción agrícola y ha dejado a muchas comunidades dependientes de la ayuda humanitaria para satisfacer sus necesidades básicas de alimentación y agua (Kemisa, 2023).

4 Enfoques de resolución y cooperación

Los conflictos y tensiones relacionados con el acceso y control de los recursos hídricos es uno de los mayores desafíos para la paz y la estabilidad a nivel global, situación que se agrava en el sudeste asiático, en Oriente Medio o en África oriental. No obstante, tenemos que ser conscientes de que tenemos disponibles diferentes aproximaciones para resolver estos conflictos de manera sostenible y pacífica, fundamentalmente fomentando la gestión cooperativa de los recursos, la diplomacia multilateral y la promoción de la paz.

- En relación con la gestión cooperativa de los recursos hídricos, se debe hacer un esfuerzo a nivel internacional para alcanzar acuerdos y mecanismos de cooperación a nivel regional, nacional o internacional para compartir los recursos transfronterizos (Taher Kahi, Dinar y Albiac, 2016).

- La diplomacia multilateral implica la participación de múltiples actores, estatales y no estatales, para alcanzar soluciones pacíficas en este tipo de conflictos y fomentar la confianza entre las partes (Molna, Cuppari, Schmeier y Demuth, 2017).
- La promoción de la paz y el diálogo entre las partes es vital para alcanzar acuerdos duraderos que reduzcan el riesgo de conflicto, y resulta imprescindible la participación de los líderes comunitarios que permita crear un ambiente de confianza (Keskinen, Salminen y Haapala, 2021).

Dos son los ejemplos paradigmáticos de la importancia de los tres factores descritos, bien sea el acuerdo del río Mekong o la resolución del conflicto de Darfur gracias a la gestión cooperativa de los recursos hídricos, incluida la construcción de pozos y canales, la regulación del flujo de agua, la mitigación de impactos ambientales y el desarrollo sostenible de la región (Mohamed, 2023; Kittikhoun y Staubli, 2016)

4.1 Estrategias para prevenir conflictos por el agua

La prevención de conflictos por el agua, que pueden escalar hasta convertirse en guerras del agua, es crucial para promover la paz, la estabilidad y la cooperación en las regiones donde los recursos hídricos son objeto de disputa. Para lograr este objetivo, es necesario implementar estrategias efectivas que aborden las causas subyacentes de los conflictos y fomenten la gestión sostenible y equitativa de los recursos hídricos. Estas estrategias pueden incluir medidas de cooperación, gobernanza compartida y resolución pacífica de disputas (Zareie, Bozorg-Haddad y Loáic, 2021):

- Fomentar la cooperación y diálogo entre comunidades y países que comparten recursos hídricos es prioritario para reducir el riesgo de conflicto. Mediante el establecimiento de plataformas de diálogo y mecanismos de cooperación para promover la confianza mutua y desarrollar soluciones conjuntas para la gestión de los recursos hídricos.
- Implementar sistemas de gobernanza compartida que impliquen a los actores en la toma de decisiones para una adecuada gestión de los recursos. A este respecto, es importante destacar que la gobernanza y la gestión de recursos son los factores determinantes de los conflictos en vez de la falta de agua.

- Promover la transparencia y acceso a la información relativos a los recursos hídricos permitirá colaborar en la prevención de conflictos al disminuir la desconfianza entre los actores implicados.

El fomento de la cooperación y dialogo a nivel internacional permitió firmar el Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo, firmado en 1973 entre Argentina y Uruguay, gracias al cual se estableció una gestión conjunta de los recursos hídricos compartidos en la cuenca del río de la Plata y su frente marítimo, incluida la regulación de la navegación, la protección del medioambiente y la promoción del desarrollo económico sostenible en la región.

Anteriormente se ha hecho mención del conflicto árabe-israelí por la gestión de la cuenca del Jordán, una situación que trató de resolverse a merced del tratado de paz y amistad entre Egipto e Israel, firmado en 1979, el cual incluía disposiciones sobre la cooperación en el uso de los recursos hídricos del río Jordán y otros cursos de agua compartidos, lo que permitió firmar un acuerdo de paz que aún hoy en día se mantiene (Palominio, 2019).

5 Vulnerabilidad de las infraestructuras hídricas

Desde antiguo, el hombre ha sido consciente de los peligros que entrañaba el consumo de aguas contaminadas, para ello ha utilizado a lo largo de los siglos la táctica de «tierra quemada» para alcanzar los objetivos tácticos y operacionales mediante la contaminación del agua de consumo arrojando cadáveres de animales o personas a pozos, lagunas o ríos para convertirlas en insalubres (Pérez Vilatela, 1989; Smart, 1997; Ostfield, 2004). Para corroborar este aserto baste recordar el manual escrito por Aeneas el Táctico donde aconsejaba a los jefes militares «hacer el agua imbebible» de donde se surtía el enemigo para así alcanzar sus objetivos, mientras que, por el otro lado, avisaba del peligro de sufrir la contaminación de las aguas propias durante los asedios (Dembek, 2008; Fleming, 2005).

En este sentido, códigos de conducta como las Leyes de Manu escritas en el siglo III a. C. exhortaban a no utilizar este medio para alcanzar los objetivos militares por medio de esta admonición «No les dejes arrojar en el agua orina o heces, tampoco saliva, ni ropas manchadas con sustancias impuras, ni cualquier otra impureza, ni sangre, ni cosas venenosas» (Bühler, 1886). De ahí, la necesidad de adoptar medidas de prevención y control de las aguas de consumo frente a la contaminación intencionada

con «aquellos microorganismos, toxinas o más en general, sustancias de origen biológico, capaces de originar enfermedad en el hombre, animales o plantas o más raramente, deteriorar el material», que es como se conocen a los agentes biológicos desde el punto de vista de la defensa biológica (Mando de Adiestramiento y Doctrina del Ejército de Tierra, 2007).

La contaminación intencionada de las aguas en un contexto de guerra biológica se define como un tipo especializado de guerra que utiliza agentes biológicos para alcanzar objetivos estratégicos, tácticos u operacionales para destruir al enemigo al causarle el máximo número de víctimas. Por el contrario, el bioterrorismo se fundamenta en el uso o amenaza de empleo de agentes biológicos por individuos o grupos con motivación política, religiosa, ideológica, o ecológica. El objetivo del bioterrorismo, al contrario que en la guerra biológica, es destruir el espíritu de la sociedad, al infundirle miedo e incertidumbre. En consecuencia, el impacto epidemiológico real podría ser reducido, pero el grado de perturbación general por la simple idea de que tal hecho sea factible es enorme. En adición a lo anterior, un biocrimen sería cualquier acto criminal (asesinato, extorsión, venganza, etc.) o psicopatológico donde se utilicen agentes biológicos o químicos, o sustancias radiactivas (Cliford Lane y Fauci, 2005).

Ese posible uso ilícito, sea cual sea el objetivo y la intencionalidad, ha sido preocupación constante a lo largo de la historia, pero a efectos de establecer el marco referencial parece razonable recordar el artículo publicado en 1941 del director del FBI J. Edgar Hoover en el *Journal of the American Water Works Association* titulado «Water Supply Facilities and National Defense» donde expresaba su preocupación acerca de la vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento y distribución de agua (Hoover, 1941):

«[...] Among public utilities, water supply facilities offer a particularly vulnerable point of attack to the foreign agent, due to the strategic position they occupy in keeping the wheels of industry turning and in preserving the health and morale of the American populace. Obviously, it is essential that our water supplies be afforded the utmost protection [...].»

Sin ánimo de ser exhaustivo, en lo que va de siglo, se han producido numerosos episodios de sabotaje o intento de sabotaje de los sistemas de abastecimiento hídricos, la mayoría de las veces con sustancias químicas, pero otras con agentes biológicos, lo cual demuestra la vulnerabilidad del sistema hídrico (tabla 3)

(Purver, 1997; Carus, 2001; Gleick, 2006; Martín Martínez, 2016; Newsweek Staff, 2001).

2002	Roma (Italia)	Cuatro hombres del Grupo Salafista para la Predicación y el Combate (GSPC) fueron arrestados en posesión de productos químicos, documentos falsos y mapas detallados de la red de abastecimiento de agua del área de la Embajada de Estados Unidos.
	Denver (EE. UU.)	Dos agentes de Al Qaeda fueron arrestados con planes para envenenar los suministros de agua.
2004	EE. UU.	El FBI y el Departamento de Seguridad Nacional emiten un boletín advirtiendo que los terroristas estaban tratando de reclutar trabajadores en plantas de agua como parte de un plan para envenenar el agua potable.
2006	Tring (Inglaterra)	Un tanque de agua fue deliberadamente contaminado con herbicida.
	Dinamarca	En un pantano danés se vertió estricnina (un pesticida) de manera intencionada.
2007	China	Murieron doscientas una personas cuando se utilizó agua contaminada intencionadamente con fluoroacetamida (un plaguicida) para hacer gachas de avena.
2008	Varney Virginia EE. UU.	Un hombre fue detenido con dos frascos de cianuro para envenenar el suministro de agua.
	Tailandia	El suministro de agua de un campo de refugiados birmanos (con una población treinta mil personas) fue envenenado intencionalmente con herbicida.
2009	Filipinas	El Frente Moro de Liberación Islámica (MILF) envenenó fuentes de agua que estaban siendo utilizadas por los soldados del Gobierno y la población
2010	Cachemira (India)	Los rebeldes maoístas envenenaron un estanque utilizado como fuente de agua potable por la Central Reserve Police Force, un grupo paramilitar.
	Inglaterra	Una pareja de neonazis, padre e hijo, fue declarada culpable de varios cargos de terrorismo, incluyendo la fabricación de ricina y de conspiración con nazis serbios para envenenar suministros de agua utilizados por musulmanes.

2011	Pakistán	Materiales incautados durante la incursión que causó la muerte de Osama Bin Laden, revelaron planes para envenenar los suministros de agua.
	Cádiz (España)	Se descubrió un complot para envenenar los suministros de agua en respuesta a la muerte de Osama Bin Laden.
2012	Australia	Dos tanques de agua potable de cinco mil litros fueron envenenados deliberadamente con Diuron (un herbicida).
	Afganistán	Cientos de niñas de una escuela enfermaron cuando el suministro de agua fue envenenado intencionalmente

Tabla 3. Incidentes de contaminación intencionada de agua en el periodo 2000-2012

España, salvando las distancias con otros países, no es ajena a incidentes relacionados con actividades de sabotaje en los sistemas de abastecimiento, normalmente mediante la manipulación de los sistemas eléctricos y bombas de los depósitos de agua (Trespaderne, 2018; Bermejo, 2018). No obstante, tras el 11-S las autoridades aumentaron los controles de seguridad en este tipo de instalaciones para prevenir posibles acciones terroristas en ellas. Con este sentido, pero con el objetivo general de proteger a la población del consumo de aguas contaminadas, se estableció el Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo o SINAC tomando como criterios de calidad del agua lo dispuesto en el RD 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano (Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral, 2015).

5.1 Vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento hídrico frente a la contaminación intencionada del agua

La seguridad del suministro de agua potable es un pilar fundamental para la salud pública y el bienestar de las comunidades en todo el mundo. Sin embargo, las infraestructuras hídricas están expuestas a una variedad de amenazas, incluida la posibilidad de contaminación intencionada del agua. Este acto malicioso puede tener consecuencias devastadoras y pone en riesgo la salud de la población, la estabilidad económica y la seguridad nacional. Comprender los factores que determinan la vulnerabilidad de las infraestructuras hídricas frente a la contaminación intencionada del agua es esencial para desarrollar estrategias

efectivas de reducción del riesgo y proteger la seguridad del suministro de agua.

Los sistemas de abastecimiento de agua son vulnerables, en mayor o menor medida, a la contaminación radiológica, química y biológica derivada de las múltiples etapas por las que pasa el agua, en función de la instalación que conecta las fuentes de suministro con las acometidas domiciliarias, ya se trate de instalaciones de captación, de tratamiento o las redes de aducción y de distribución, destacándose que, respecto a la captación, el riesgo se incrementa en los puntos finales, siendo mayor en las conducciones de agua bruta, mientras que los puntos más vulnerables, en función del agente contaminante de que se trate, son las dentro de las redes secundarias los puntos finales de distribución (figura 1).

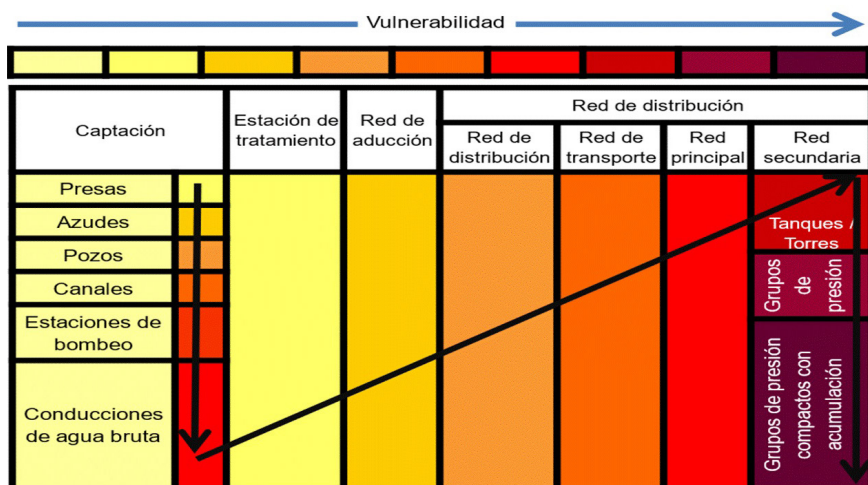


Figura 1. Vulnerabilidad sistemas de abastecimiento de agua

Los factores que determinan la vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua (Pérez García, Izquierdo, Herrera, Gutierrez-Pérez y Ramos-Martínez, 2011; Maiolo y Pantusa, 2018; National Research Council, 2007; Baecher, 2006):

1. Acceso no autorizado a instalaciones: la vulnerabilidad de las infraestructuras hídricas a la contaminación intencionada puede ser exacerbada por la falta de seguridad en torno a las instalaciones y sistemas de suministro de agua. El acceso no autorizado a plantas de tratamiento de agua, estaciones de bombeo y otras infraestructuras críticas aumenta el riesgo de manipulación y contaminación deliberada del suministro de agua.

2. Interconexión de sistemas de suministro: puede facilitar la propagación rápida de contaminantes en caso de un ataque intencionado. La contaminación de una fuente de agua puede afectar a múltiples comunidades y regiones, lo que subraya la importancia de implementar medidas de seguridad robustas en toda la red de suministro.
3. Vulnerabilidad informática: con el aumento de la digitalización y la automatización en las infraestructuras hídricas, existe un riesgo creciente de ataques cibernéticos dirigidos a sistemas de control y monitorización. La manipulación remota de estos sistemas puede permitir a los perpetradores interrumpir el suministro de agua o contaminar deliberadamente el agua sin ser detectados fácilmente.
4. Capacidad de respuesta y detección temprana: la capacidad de respuesta rápida y la detección temprana de la contaminación intencionada son fundamentales para minimizar el impacto en la salud pública y el medioambiente. Implementar sistemas de monitorización avanzados, protocolos de seguridad y planes de emergencia puede ayudar a identificar rápidamente la presencia de contaminantes y tomar medidas adecuadas para mitigar los riesgos asociados.

Para reducir la vulnerabilidad de las infraestructuras hídricas frente a la contaminación intencionada del agua, es necesario adoptar un enfoque holístico que aborde tanto los aspectos físicos como cibernéticos de la seguridad. Esto incluye la mejora de la seguridad física de las instalaciones, el fortalecimiento de las capacidades de ciberseguridad, la promoción de la conciencia y la capacitación del personal, y la implementación de medidas de detección y respuesta rápida. Solo a través de un enfoque integrado y proactivo podemos proteger eficazmente la seguridad del suministro de agua y mitigar los riesgos asociados a la contaminación intencionada del agua (America's Cyber Defense Agency, 2024; News Analysis, 2020).

La seguridad del suministro de agua potable es una preocupación fundamental para la salud pública y el bienestar de las comunidades en todo el mundo. Sin embargo, las infraestructuras hídricas están expuestas a diversos riesgos, incluida la posibilidad de contaminación intencionada del agua de consumo. Este acto malicioso puede tener consecuencias graves para la salud de la población y la estabilidad de la sociedad en general. Por lo tanto, es crucial implementar medidas efectivas para reducir la vulne-

rabilidad de los sistemas de abastecimiento hídrico frente a la contaminación intencionada del agua y garantizar la seguridad del suministro.

5.2 Defensa hídrica: una herramienta frente a la amenaza

Así como

«la seguridad hídrica es un término que hace referencia a la capacidad que tiene una sociedad para disponer de agua en cantidad y calidad suficiente tanto para su propia supervivencia como para la realización de distintas actividades productivas. De esta manera, una sociedad con seguridad hídrica está en disposición de reducir la pobreza y aumentar los estándares de vida» (Iberdrola, 2024).

La defensa hídrica emerge como una respuesta estratégica crucial para proteger las fuentes de agua de consumo frente a amenazas como la contaminación intencionada. En un mundo donde la seguridad del suministro de agua potable es fundamental, la defensa hídrica se erige como un concepto integral que busca salvaguardar la calidad y seguridad del agua que llega a nuestros hogares. Este enfoque aborda no solo la protección física de las infraestructuras hídricas, sino también la implementación de medidas preventivas y de respuesta rápida para contrarrestar posibles actos maliciosos que podrían comprometer la salud pública y la estabilidad social (Beltrán Alcalde, 2024; North Atlantic Treaty Organization, 2019).

La defensa hídrica se refiere a un conjunto de medidas y estrategias diseñadas para proteger las fuentes de agua de consumo frente a amenazas como la contaminación intencionada. Estas medidas pueden incluir la protección física de las infraestructuras hídricas, la implementación de sistemas de monitorización y detección avanzados, la capacitación del personal y la concienciación pública sobre la importancia de la seguridad del suministro de agua potable. El objetivo principal de la defensa hídrica es garantizar la calidad y seguridad del agua de consumo y mitigar los riesgos asociados a posibles actos maliciosos que podrían comprometer la salud y bienestar de la población (ALMA Water Solutions, 2024).

La defensa hídrica se refiere a un conjunto de medidas y estrategias diseñadas para proteger las fuentes de agua, infraestructuras hídricas y suministro de agua potable frente a una variedad

de amenazas y riesgos, incluida la contaminación, la escasez, los desastres naturales y los actos maliciosos (American Society of Civil Engineers, 2011; Water Hub, 2024).

- Protección física de las infraestructuras hídricas: la defensa hídrica implica la implementación de medidas para fortalecer la seguridad física de las instalaciones de tratamiento y distribución de agua. Esto incluye la instalación de sistemas de vigilancia, controles de acceso, cercas perimetrales y otras barreras físicas para prevenir intrusiones y actos de sabotaje que puedan contaminar el agua de consumo.
- Monitorización y detección avanzados: la defensa hídrica se apoya en la implementación de sistemas de monitorización y detección avanzados para identificar rápidamente la presencia de contaminantes en el agua de consumo. Esto implica el uso de tecnologías como sensores en tiempo real, análisis de agua automatizados y sistemas de alerta temprana para detectar posibles amenazas y tomar medidas preventivas de inmediato.
- Capacitación y concienciación del personal: es crucial que el personal que opera y mantiene las infraestructuras hídricas esté debidamente capacitado y consciente de la importancia de la defensa hídrica. Esto implica proporcionar formación en seguridad, procedimientos de respuesta ante emergencias y protocolos de seguridad para garantizar una respuesta efectiva en caso de incidentes de contaminación intencionada.

Conclusiones

- Las guerras de agua tienen consecuencias económicas, sociales, medioambientales y políticas significativas que pueden prolongar y agravar los conflictos, así como obstaculizar el desarrollo sostenible y la paz en las regiones afectadas. Es imperativo abordar estos desafíos de manera integral y promover la cooperación y la diplomacia para gestionar los recursos hídricos de manera equitativa y sostenible.
- Las guerras del agua tienen un impacto devastador en el bienestar humano y la seguridad alimentaria, lo que exacerba la vulnerabilidad de las poblaciones afectadas y aumentando la dependencia de la ayuda humanitaria. Es fundamental abordar estos desafíos mediante la promoción de la paz, la cooperación en la gestión de los recursos hídricos y el fortalecimiento de la resiliencia de las comunidades locales.

- Las guerras del agua tienen profundas ramificaciones políticas, sociales y económicas a largo plazo, que afectan a la estabilidad, el bienestar y el desarrollo de las regiones y países afectados. Abordar estos desafíos requiere un enfoque integral que promueva la cooperación en la gestión de recursos hídricos, la resolución pacífica de conflictos y el desarrollo sostenible a nivel local, nacional y regional.
- Existen enfoques para la resolución y cooperación en las guerras del agua que pueden ayudar a mitigar conflictos y promover la paz y la estabilidad en las regiones afectadas. Estos enfoques se centran en la gestión cooperativa de los recursos hídricos, la diplomacia multilateral y la promoción del diálogo y la paz entre las partes involucradas.
- La prevención de conflictos por el agua que puedan derivar en *guerras del agua* requiere la implementación de estrategias que fomenten la cooperación, la gobernanza compartida y la transparencia en la gestión de los recursos hídricos. Estas medidas pueden ayudar a promover la paz, la estabilidad y el desarrollo sostenible en las regiones afectadas.
- Es necesario hacer un esfuerzo de preparación para reducir la vulnerabilidad de las infraestructuras hídricas, demostrándose que la defensa hídrica es clave para reducir las amenazas a las que están sometidas.

Bibliografía

- Agencia española de cooperación internacional para el desarrollo. (2022). *Informe Anual 2021 del Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento* [en línea]. Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación, Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. [Consulta: 30 marzo 2025]. Disponible en: <https://memoriafcas2021.aecid.es/ods-en-los-que-impacta-el-fondo-de-cooperacion-para-agua-y-saneamiento/>
- Aguayo, I. y Gutierrez, B. (2020). La zona de triple Frontera: Seguridad y crimen organizado. Decysión [en línea]. [Consulta: 30 marzo 2025]. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/ceseden/-/una-triple-frontera-de-terror-en-el-coraz%C3%B3n-de-sudam%C3%A9rica-1>
- Aimé González, E. (2016). *La gran presa del renacimiento etíope*. Africaye [en línea]. [Consulta: 30 marzo 2025]. Disponible en: <https://www.africaye.org/gran-presa-renacimiento-etiope/>

- Alma Water Solutions. (2024). *The importance of security in water infrastructure and the water sector*. ALMA Water Solutions [en línea]. [Consulta: 30 marzo 2025]. Disponible en: <https://almarwater.com/the-importance-of-security-in-water-infrastructures-and-the-water-sector/>
- America abroad. (2014). *Al-Shabaab's 'water terrorism' is yielding results and tragedy in Somalia's civil war*. The World [en línea]. [Consulta: 30 marzo 2025]. Disponible en: <https://theworld.org/stories/2014/07/24/how-al-shabaab-using-water-tool-terrorism>
- American society of civil engineers. (2011). *Guidelines for the Physical Security of Water Utilities ANSI/ASCE/EWRI 56-10*. American Society of Civil Engineers.
- America's cyber defense agency. (2024). *Water and Wastewater Cybersecurity*. de Cyber Infrastructure Defense Agency [en línea]. [Consulta: 30 de marzo 2025]. Disponible en: <https://www.cisa.gov/water>
- Andri, P. M. (2023). La escasez de agua: el nuevo foco de los conflictos globales [en línea]. *La Vanguardia*. [Consulta: 30 de marzo 2025]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/economia/20231029/9335172/batalla-global-agua.html>
- Angelakis, A., Valpour, M., Ahmed, A., Tzanakakis, V., Paranychianakis, N. et al. (2021). Water Conflicts: From Ancient to Modern Times and in the Future [en línea]. *Sustainability*. 13(8), 4237. [Consulta: 2025]. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13084237>
- Argudo García, J. (2019). La gestión del agua en distintas civilizaciones: de Grecia a la actualidad. *Energía & Minas: Revista Profesional, Técnica y Cultural de los Ingenieros Técnicos de Minas*. 15, pp. 60-75.
- Ayala, José Enrique de. (2002). *La crisis geopolítica de un mundo multipolar*. *Gaceta sindical: reflexión y debate*. 39, pp. 19-52.
- Azamar Alonso, A., Tagle Zamora, D., Nieves Guevara, M. (2018). *Minería y conflicto por el agua*. V Congreso de la Red-ISSA 2018: Agua, Ciudades y Poder, Mesa 3: Degradación ambiental ante el uso intensivo de agua y minerales en México [en línea]. Disponible en: <https://redissa.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/04/minerc3ada-y-conflicto-por-el-agua.pdf>
- Baecher, G. (2006). Mitigating water supply system vulnerabilities. En: Frolov, K. B. *Protection of Civilian Infrastructure from Acts of Terrorism*. NATO Security through Science

- Series*. Springer, Dordrecht. Disponible en: https://doi.org/10.1007/1-4020-4924-2_11
- BANCO MUNDIAL. (2023). *Agua: Panorama General*. Banco Mundial [en línea]. [Consulta: 30 marzo 2025]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview#:~:text=Alrededor%20de%202000%20millones%20de,b%C3%A1sicas%20para%20lavarse%20las%20manos>
- BANCO MUNDIAL. (2023). *Panorama General del Agua*. Banco Mundial [en línea]. [Consulta: 30 de marzo 2025]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview#1>
- Beltrán Alcalde, D. (2024). *Seguridad (y Defensa) Hídrica* [en línea]. LinkedIn. [Consulta: 30 de marzo 2025]. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/seguridad-y-defensa-h%C3%ADrica-diego-beltr%C3%A1n-alcalde-yv4qf/>
- Bermejo, D. (2018). Villaralbo sufre un segundo sabotaje en la red de abastecimiento de agua [en línea]. *La opinión Correo de Zamora*. [Consulta: 30 marzo 2025]. Disponible en: <https://www.laopiniondezamora.es/comarcas/2018/08/14/villaralbo-sufre-segundo-sabotaje-red-2617831.html>
- Borrel, J. (2020). *El Nilo y otros ámbitos: geopolítica del agua* [en línea]. Delegación de la Unión Europea en Uruguay. [Consulta: 2025]. Disponible en: https://www.eeas.europa.eu/eeas/el-nilo-y-otros-%C3%A1mbitos-geopol%C3%A1tica-del-agua_es?s=194#:~:text=La%20situaci%C3%B3n%20a%20lo%20largo%20del%20Nilo%20es%20preocupante&text=El%20problema%20inmediato%20es%20la,la%20s%C3%A9ptima%20mayor%20del%20mundo
- Bühler, G. (1886). *The Laws of Manu*. Oxford at the Clarendon Press [en línea]. *Oaks*. Disponible en: <https://dn790003.ca.archive.org/0/items/lawsofmanu00bh/lawsofmanu00bh.pdf>
- Campillo, S. (2018). *El gran problema al que se enfrenta el planeta es el problema del agua*. Xataka [en línea]. [Consulta: 30 marzo 2025]. Disponible en: <https://www.xataka.com/medicina-y-salud/el-gran-problema-del-agua>
- Cantu, M. (2023). *Entornos VUCA y BANI | Nuevas Formas de Enteder el Mundo*. Miguel Cantu [en línea]. [Consulta: 30 marzo 2025]. Disponible en: <https://www.miguelcantu.mba/blog/entornos-vuca-y-bani-nuevas-formas-de-enteder-el-mundo>
- Carus, S. (2001). *Bioterrorism and Biocrimes: The Illicit Use of Biological Agents Since 1900*. National Defense University, Center for Counterproliferation Research, August 19 Washington, D. C.

- Cerrilo, A. (2016). Los diez conflictos ambientales más importantes del planeta [en línea]. *La Vanguardia*. [Consulta: 30 marzo 2025]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/natural/20160603/402253210855/conflictos-ambientales-litigios-ambientales-atlas-global-de-justicia-ambiental.html>
- Cique Moya, A. (2023) Impacto de la revolución Bio en la Protección de la Fuerza. En: *La Protección de la Fuerza ante las nuevas amenazas tecnológicas*. Secretaria General Técnica del Ministerio de Defensa, pp. 65-85.
- Clark, G. (1944). *Water in Antiquity*. *Antiquity* [en línea]. 18(69), pp. 1-15. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S0003598X00018238>
- Cliford Lane, H. y Fauci, A. S. (2005). *Bioterrorismo Microbiano*. En: *Harrison. Principios de Medicina Interna*, pp. 1417-1441.
- CONSEJO DE SEGURIDAD DE LAS NACIONES UNIDAS. (2016). *78.ª Sesión Mantenimiento de la paz y la seguridad internacionales*. de Naciones Unidas [en línea]. Disponible en: <https://www.ohchr.org/es/calls-for-input/2023/thematic-report-78th-session-un-general-assembly-rights-water-and-sanitation>
- Dembek, Z. (2008). The history and threat of biological weapons and bioterrorism. En: Mcisaac, J. H. y Z Dembek. *The history and threat of bPreparing Hospitals for Bioterror: A Medical and Biomedical systems approach*. Academic Press.
- DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE NACIONES UNIDAS. (2014). *Decenio Internacional para la Acción «El agua fuente de vida” 2005 - 2015*. United Nations [en línea]. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-action-decade/>
- DESARROLLO, A. E. (2022). *Fondo de Cooperación para Agua y Sanieamiento: Informe anual 2021* [en línea]. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. [Consulta: 2025]. Disponible en: https://memoriafcas2021.aecid.es/wp-content/uploads/2022/09/Memoria_FCAS_2021.pdf
- Detges, A., Pohl, B. y Schalle, S. (2017). *Editor’s Pick: 10 Violent Water Conflicts*. *Climate Diplomacy* [en línea]. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://climate-diplomacy.org/magazine/conflict/editors-pick-10-violent-water-conflicts>
- Dolgin, E. (2023). Water and warfare: the battle to control a precious resource [en línea]. *Nature*. [Consulta: 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1038/d41586-023-03883-w>

- Enayati, M., Bozorg-Haddad, O. y Tahmas, M. (2021). *Conflict Resolution: The Gist of the Matter in Water Resources Planning and Management*. En: Bozorg-Haddad, O. (ed.). *Essential Tools for Water Resources Analysis, Planning, and Management* (pp. 263-273). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-33-4295-8_10
- Erdem, O; Awad Satti, A. O. y Abdelrhee, A. (2021). *¿Conducirá a una guerra la presa de Etiopía sobre el Nilo?* [en línea]. Anadolu Ajansi. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.aa.com.tr/es/mundo/-conducir%C3%A1-a-una-guerra-la-presa-de-etio%C3%ADa-sobre-el-nilo/2266534#>
- Euronews. (2023). Ucrania | Vuelan la enorme presa de Nova Kajovka, en la región de Jersón, provocando inundaciones [en línea]. Euronews. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://es.euronews.com/2023/06/06/ucrania-rusia-vuelan-la-presa-de-nova-kajovka-en-la-region-de-jerson>
- Farley, R. (2021). *What Is a Water War?* The Diplomat [en línea]. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://thediplomat.com/2021/03/what-is-a-water-war/>
- Fatli, T. (2018). *Water scarcity and population displacement in southern Iraq: Perceptions and Reality*. [Master's Thesis, the American University in Cairo]. AUC Knowledge Fountain. The American University in Cairo, AUC Knowledge Fountain [en línea]. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://fount.aucegypt.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1495&context=etds>
- Fleming, S. (2005). Biowar in ancient times. *Expedition*. 47(1), pp. 44-48.
- Flores Diaz, A. (2022) *Crisis del agua, una consecuencia del deterioro de los ecosistemas* [en línea]. Ibero. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://ibero.mx/prensa/crisis-del-agua-una-consecuencia-del-deterioro-de-los-ecosistemas>
- Frischknecht, F. (2003). The history of biological warfare. Human experimentation, modern nightmares and lone madmen in the twentieth century. *EMBO reports*, 4, S47-S52.
- Frutos Cachorro, Julia de, Marín-Solano, J., y Navas, J. (2021) Competition between different groundwater uses under water scarcity [en línea]. *Water Resources and Economics*. 33, 100173. [Consulta: 2025]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wre.2020.100173>
- Gettleman, J. (2023). *Una presa, una catástrofe y una pesadilla en Ucrania* [en línea]. *The New York Times*. [Consulta: 2025].

- Disponible en: <https://www.nytimes.com/es/2023/09/07/espanol/presa-ucrania.html>
- Gleick, P. (2006). Water and Terrorism. *Water Policy*. 8, pp. 481-503. doi: 10.2166/wp.2006.035
- Gleick, P. y Shimabuku, M. (2023). *Water-related conflicts: definitions, data, and trends from the water conflict chronology*. *Environ. Res. Lett.*, 18, 034022.
- Guisández Gómez, J. (2010). *El agua como factor poelmológico* [en línea]. Cruz Roja. [Consulta: 2025]. Disponible en: <HTTPS://WWW2.CRUZROJA.ES/DOCUMENTS/5640665/857436841/EL+AGUA+COMO+FACTOR+POLEMOL%C3%B3GICO.PDF/0A14A354-2285-43C6-6AA7-DF0534FF785B?VERSION=1.0&T=1628238772035>
- Hall, N. (2024). *Surviving Scarcity Water and the Future of the Middle East* [en línea]. Center for Strategic & International Studies. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://features.csis.org/surviving-scarcity-water-and-the-future-of-the-middle-east/>
- Hidalgo, F. (2019). *Usos e influencia del agua en la guerra bajomedieval (1475-1492)*. Editorial Universidad de Cádiz, Ediciones Universidad de Valladolid.
- Hoover, J. (1941). Water Supply Facilities and National Defense. *Journal AWVA*. 33(11), pp. 1861-1985.
- Iberdrola. (2024). ¿Qué es la seguridad hídrica y cómo la pone en peligro el cambio climático? [en línea]. Iberdrola. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/seguridad-hidrica#:~:text=La%20seguridad%20h%C3%ADdrlica%20es%20un,realizaci%C3%B3n%20de%20distintas%20actividades%20productivas>
- Inbar, E. (2019). Israel's Presence on the Golan Heights: A Strategic Necessity [en línea]. TV 7 Israel News. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.tv7israel-news.com/israels-presence-on-the-golan-heights-a-strategic-necessity/>
- Insecurity Insight. (2023). *The Links between Conflict and Hunger in Somalia* [en línea]. Insecurity Insight. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://insecurityinsight.org/wp-content/uploads/2023/02/Somalia-Conflict-Hunger-and-Aid-Security-February-2023.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Food and Water – Climate Change Impacts and Risks* [en línea].

- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. [Consulta: 2025]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGII_FactSheet_FoodAndWater.pdf
- Iosue, S., y Sonawane, H. (2023). The Social Impact of Water Scarcity: The Risk of Modern Slavery in Corporate Supply Chains [en línea]. ISS Insights. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://insights.issgovernance.com/posts/the-social-impact-of-water-scarcity-the-risk-of-modern-slavery-in-corporate-supply-chains/>
- Kemisa, B. (2023). South Sudan: Water crisis at the border as tens of thousands flee Sudan [en línea]. Norweiam Refugee Council. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.nrc.no/perspectives/2023/south-sudan-water-crisis-at-the-border-as-tens-of-thousands-flee-sudan>
- Keskinen, M., Salminen, E. y Haapala, J. (2021). Water diplomacy paths – An approach to recognise water diplomacy actions in shared waters. *Journal of Hydrology*. 602, 126737. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126737>
- Kheribich Chetoui O. (2024) Una triple frontera de terror en el corazón de Sudamérica. [en línea]. [Consulta: 30 marzo 2025]. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/cese-den/-/una-triple-frontera-de-terror-en-el-coraz%C3%B3n-de-sudam%C3%A9rica-1>
- Kittikhoun, A. y Staubli, D. (2016). Water diplomacy and conflict management in the Mekong: From rivalries to cooperation. *Journal of Hydrology*. 568, pp. 654-667. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.059>
- Koubi, V. (2019). Climate Change and Conflict. *Annual Review of Political Science*. 22, pp. 343-360. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-050317-070830>
- Kuzma, S., Saccoccia, L. y Chertok, M. (2023). 25 países, una cuarta parte de la población mundial, enfrentan un estrés hídrico extremadamente alto [en línea]. *World Resources Institute*. [Consulta: 2025] Disponible en: <https://es.wri.org/insights/25-paises-una-cuarta-parte-de-la-poblacion-mundial-enfrentan-un-estres-hidrico>
- La Razón. (2001). El Bioterrorismo amenaza la cadena alimentaria y el agua. *La Razón*. 4.
- Latorre de Silva, M. (2023). ¿Por qué se celebra el 8 de diciembre el día de la Inmaculada Concepción? [en línea]. *Diario*

- El Debate*. [Consulta: 2025]. Disponible en: https://www.eldebate.com/religion/iglesia/20231208/celebra-8-diciembre-dia-inmaculada-concepcion_157127.html
- Leverink, J. (2015). El agua, fuente de vida y de conflicto en Mesopotamia [en línea]. *Viento Sur*. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://vientosur.info/el-agua-fuente-de-vida-y-de-conflicto-en-mesopotamia/>
- Lujan Cardenas, L. (2023). Ante la ebullición global: un mundo multipolar [en línea]. *Iagua*. [Consulta: 2025] Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/luis-lujan-cardenas/ebullicion-global-mundo-multipolar>
- Lund, A. (2023). Cholera in the Time of Assad: How Syria's Water Crisis Caused an Avoidable Outbreak [en línea]. The Century Foundation. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://tcf.org/content/report/cholera-in-the-time-of-assad-how-syrias-water-crisis-caused-an-avoidable-outbreak/#easy-footnote-bottom-26-52119>
- Maggie, Y., Opondo, M., Olago, D. y Ouma, G. (2022). The impacts of increasing water scarcity and the potential for water-related conflict in Lamu, Kenya. *Water Supply*. 22(2), pp. 1983-1984. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2021.299>
- Maiolo, M. y Pantusa, D. (2018). Infrastructure Vulnerability Index of drinking water systems to terrorist attacks. *Cogent Engineering*. 5(1). DOI: <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1456710>
- Mando de Adiestramiento y Doctrina del Ejército de Tierra (2007) *Orientaciones de Defensa NBQ*. Servicio Geográfico del Ejército de Tierra.
- Martín Martínez, L. (2016). Agua, objetivo terrorista [en línea]. *Iagua*. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/luis-martin-martinez/agua-objetivo-terrorista>
- Martín, L. y Justo, J. (2015). *Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe* [en línea]. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile. [Consulta: 2025]. Disponible en: https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/analisis_prevenccion_y_resolucion_de_conflictos_por_el_agua_en_america_latina_y_el_caribe_se_ruega_no_circular.pdf
- Mayor, A. (2009). *Fuego Griego, flechas envenenadas y escorpiones*.

- Mays, L., Koutsoyiannis, D. y Angelakis, A. (2007). A brief history of urban water supply in antiquity. *Water Supply*. 7(1), pp. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2007.001>
- Milne, S. (2021). Cómo la escasez de agua está provocando cada vez más guerras en el mundo (y dónde serán los próximos conflictos) [en línea]. BBC New. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-58259908>
- Mohamed, K. (2023). New water system brings relief to communities in East Darfur [en línea]. Unicef Sudan. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.unicef.org/sudan/stories/new-water-system-brings-relief-communities-east-darfur>
- Molna, K., Cuppari, R., Schmeier, S. y Demuth, S. (2017). *Preventing Conflicts, Fostering Cooperation – The many Roles of Water Diplomacy*. UNESCO's International Centre for Water Cooperation (ICWC) at SIWI, Stockholm, Sweden and the UNESCO's International Centre for Water Resources and Global Change.
- Montag, S. (2021). La Represa del Renacimiento de Etiopía y la guerra del agua en África Oriental [en línea]. *IzquierdaDiario.es*. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.izquierdadiario.es/La-Represa-del-Renacimiento-en-el-Nilo-y-la-guerra-del-agua-en-Africa-Oriental>
- Montalvo Mendez, M. (2015). *Los rios que nos unen. Las disputas territoriales por la construcción de presas*. *Entretextos*. 18, pp. 1-14.
- Mukete, B., Yujun, S., Zama, E., Achem Baye, J., Table, M. et al. (2016). Environmental Degradation in Conflict and Post-Conflict Regions. *International Journal of Environmental Protection and Policy*. 6(6), pp. 187-195. DOI: 10.11648/j.ijep.20160406.15
- Mustard, D. (2021). Piracy in the Amazon: Fixing the River Rat problem [en línea]. West. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.westpandi.com/news-and-resources/news/june-2021/piracy-in-the-amazon-fixing-the-river-rat-problem/>
- Naciones Unidas. (2022). Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos [en línea]. Objetivos de Desarrollo Sostenible. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Naciones Unidas. (2024a). Agua para la paz [en línea]. Naciones Unidas. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.>

- un.org/es/observances/water-day#:~:text=El%20lema%20del%20D%C3%ADa%20Mundial,frente%20a%20los%20desaf%C3%ADos%20comunes
- Naciones Unidas. (2024b). Día Mundial del Agua 22 de marzo [en línea]. Naciones Unidas. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.un.org/es/observances/water-day#:~:text=El%20lema%20del%20D%C3%ADa%20Mundial,frente%20a%20los%20desaf%C3%ADos%20comunes>
- National Research Council. (2007). *Improving the Nation's Water Security: Opportunities for Researc*. Washington, DC: The National Academies Press. DOI: 10.17226/11872
- News Analysis. (2020). Attempted cyberattack highlights vulnerability of global water infrastructure [en línea]. CSO. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.csoonline.com/article/569349/attempted-cyberattack-highlights-vulnerability-of-global-water-infrastructure.html>
- Newsweek Staff. (2001). Water Supplies [en línea]. *Newsweek*. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.newsweek.com/water-supplies-149419>
- North Atlanttic Treaty Organization. (2019). *AMedP-4.12 Food and Water Defence* [en línea]. NATO Mil Med COE. [Consulta: 2025]. Disponible en: https://www.coemed.org/files/stanags/03_AMEDP/AMedP-4.12_EDA_V1_E_2556.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Afrontar la escasez de agua* [en línea]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.fao.org/4/i3015s/i3015s.pdf>
- Ostfield, M. (2004). Historical Uses of Biological Agents as Weapons. *SAIS Review*. 1(24), pp. 135-137.
- Pacific Institute. (2023). Water Conflict [en línea]. Pacific Institute. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.worldwater.org/water-conflict/>
- Palominio, C. (2019). Egipto e Israel, de enemigos mortales a aliados fieles [en línea]. *El Orden Mundial*. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://elordenmundial.com/egipto-e-israel-de-enemigos-mortales-a-aliados-fieles/>
- Pérez García, D., Izquierdo, J., Herrera, M., Gutierrez-Pérez, J. A. y Ramos-Martínez, E. (2011). La vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua [en línea]. *X Seminario Iberoamericano de planificación, proyecto y operación de sis-*

- temas de abastecimiento de agua (SEREA)*. [Consulta: 2025]. Disponible en. https://www.researchgate.net/publication/309717643_La_vulnerabilidad_de_los_sistemas_de_abastecimiento_de_agua#fullTextFileContent
- Pérez Vilatela, L. (1989). La escasez de agua en los hechos militares de la España antigua. En: Carra Barrionuevo, L. (coord.). *El agua en zonas áridas. Arqueología e historia. Hidráulica tradicional de la provincia de Almería*. Instituto de Estudios Almerienses, pp. 31-41.
- Pitschmann, V. y Hon, Z. (2016). Military Importance of Natural Toxins and Their Analogs. *Molecules* 2016. 21, p. 556. DOI: 10.3390/molecules21050556,
- Purver, R. (1997). Chemical and Biological Terrorism: New threat to public safety? Research institute for the Study to Conflict and Terrorism.
- Roger-Lacan, B. (2023). Hacer la guerra en el mundo griego antiguo, una conversación con François Lefèvre [en línea]. *El Grand Continent*. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://legrandcontinent.eu/es/2023/08/13/hacer-la-guerra-en-el-mundo-griego-antiguo-una-conversacion-con-francois-lefevre/>
- Romero, J. (2024). La Gran Presa del Renacimiento Etíope y el fin del dominio egipcio del Nilo [en línea]. *The Political Room*. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://thepoliticalroom.com/blog/la-gran-presa-del-renacimiento-etiope-y-el-fin-del-dominio-egipcio-del-nilo>
- Schillinger, J., Özerol, G., Güven-Griemert, S. y Heldeweg, M. (2020). Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *WIREs Water*. 7(6), e1480. DOI: 10.1002/wat2.1480
- Secretaría General de Educación. (2022). *El agua, nuestro tesoro*. Consejería de Educación y Empleo de Junta de Extremadura.
- Shumilova, O, Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskiy, V., Meester, Luc de et al. (2023). Impact of the Russia-Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature sustainability*. 6, pp. 578-586. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>
- Smart, J. (1997). History of Chemical and Biological Warfare: An American Perspective. En: Tuorinsky, S. D. (ed.). *Medical Aspects of Chemical Warfare*. Office of The Surgeon General, United States Army, Falls Church, Virginia; Borden Institute, Walter Reed Army Medical Center, Washington, D. C.

- Soler, D. (2002). La Gran Presa del Renacimiento: el conflicto por el futuro del agua del Nilo [en línea]. *Africa Mundi*. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://africamundi.substack.com/p/el-conflicto-por-el-futuro-del-agua-del-nilo>
- Stefano, Maurizio de (2019). La falta de agua ya ha provocado 343 guerras en el mundo [en línea]. *Iagua*. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/maurizio-stefano/falta-agua-ya-ha-provocado-343-guerras-mundo>
- Strategy, Defense and Foreign Affairs (SDAFA). (2021). Water Wars: How water is being weaponised in The Yemen Crisis weaponised in The Yemen Crisis [en línea]. SDAFA. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.sdafa.co.uk/water-wars-how-water-is-being-weaponised-in-the-yemen-crisis>
- Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral. (2015). *Info SINAC* [en línea]. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. [Consulta: 2025]. Disponible en: https://sinac.sanidad.gob.es/SinacV2/estatico/doc/INFO_SINAC.pdf
- Taher Kahi, M., Dinar, A. y Albiac, J. (2016). Cooperative water management and ecosystem protection under scarcity and drought in arid and semiarid regions. *Water Resources and Economics*. 13, pp. 60-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wre.2015.10.001>
- The Food and Agriculture Organization of the United Nations – Earthscan. (2011). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture [en línea]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ecb51a59-ac4d-407a-80de-c7d6c3e15fcc/content>
- Trespaderne, F. (2018). Posible sabotaje en los depósitos de agua de Cabezón. *Diario de Burgos*. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.diariodeburgos.es/noticia/zc0d01254-9dad-f7c1-6563167db4de1de2/201810/posible-sabotaje-en-los-depositos-de-agua-de-cabezon>
- Tzu, S. (2015). *El arte de la guerra*. Paradimage Soluciones.
- United Nations. (2021). Summary Progress Update 2021: SDG 6 – water and sanitation for all [en línea]. United Nations – UN Water. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-all>

- United Nations. (2023a). Blueprint for Acceleration: Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report on Water and Sanitation 2023 [en línea]. United Nations – UN Water. [Consulta: 2025]. Disponible en: https://www.unwater.org/sites/default/files/2023-08/UN-Water_SDG6_SynthesisReport_2023.pdf
- United Nations. (2023b). WHO/UNICEF Joint Monitoring Program for Water Supply, Sanitation and Hygiene (JMP) – Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2022: Special focus on gender [en línea]. United Nations – UN Water. Disponible en: <https://www.unwater.org/publications/who/unicef-joint-monitoring-program-update-report-2023>
- Vicente Sánchez, J. y Marquina Díaz, D. (2022). Historia del uso malintencionado de agentes biológicos. En: Ministerio de Defensa (ed.). *Cuadernos de Estrategia 217. La amenaza biológica*. Instituto Español de Estudios Estratégicos, Ministerio de Defensa, pp. 29-64.
- Villatorio, M. (2016). Cuando Dios heló las aguas para salvar a un Tercio español, desde la perspectiva de Ferrer-Dalmau [en línea]. *Diario ABC*. [Consulta: 2025]. Disponible en: https://www.abc.es/cultura/abci-cuando-dios-helo-aguas-para-salvar-tercio-espanol-desde-perspectiva-ferrer-dalmau-201608161236_noticia.html
- Water Hub. (2024). Stay tuned - The Geneva List of Principles on the Protection of Water Infrastructure [en línea]. Water Hub. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.genevawaterhub.org/news/stay-tuned-geneva-list-principles-protection-water-infrastructure>
- Zareie, S., Bozorg-Haddad, O., y Loáic, H. A. (2021). A state-of-the-art review of water diplomacy. *Environ Dev Sustain*. 23, pp. 2337-2357. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00677-2>

Capítulo séptimo

Los proyectos hidrográficos como herramienta geopolítica

María del Mar Hidalgo García

Resumen

Desde el punto de vista geopolítico, la construcción de presas, tanto la construcción de proyectos hidroeléctricos como de gestión de agua, suscita preocupación, ya que la aparición de controversias en la gestión de las cuencas compartidas puede agravar situaciones de inseguridad y generar, en el peor de los casos, conflictos armados.

Cada cuenca presenta dinámicas diferentes debido a sus intereses geopolíticos de los países integrantes que pueden conducir o no a un mayor riesgo de aparición de conflictos. En este capítulo se detallan algunos de los proyectos hidrológicos que están suscitando tensiones geopolíticas entre los países ribereños afectados.

Palabras clave

Proyectos hidrográficos, Cuenca compartida, Hidrohegemonía, Conflictos de agua.

Hydrographic projects as a geopolitical tool

Abstract

From a geopolitical perspective, the construction of dams, whether hydroelectric or water management projects, raises concerns because the emergence of disputes in the management of shared basins can aggravate insecurity, generating, in the worst case, armed conflicts.

Each basin presents different dynamics due to the geopolitical interests of the member countries, which may or may not lead to a greater risk of conflict. This chapter details some of the hydrological projects that are causing geopolitical tensions between the affected riparian countries.

Keywords

Hydrographic projects, shared basin, hydrohegemony, water conflicts

Introducción

Aunque se espera que, a partir de 2030, su capacidad se vea superada por la eólica y la solar, la energía hidroeléctrica seguirá desempeñando un papel fundamental en la descarbonización del sistema eléctrico y en la mejora de la flexibilidad del sistema (IEA, 2024). Si el mundo quiere descarbonizarse por completo y cumplir con los objetivos climáticos establecidos en el Acuerdo de París, la capacidad instalada de energía hidroeléctrica, incluida la energía hidroeléctrica de almacenamiento por bombeo (PSH), debería duplicarse para 2050 (IRENA, 2023). Es decir, la capacidad instalada de energía hidroeléctrica debería alcanzar aproximadamente 3000 GW, incluidos 420 GW de PSH. La mayoría de este potencial adicional reside en Asia, Sudamérica y África (IRENA, 2023).

En la actualidad la energía hidroeléctrica constituye el 16 % de la generación de energía a nivel global (UN WATER, 2024). Hoy en día, es uno de los medios más rentables de generar electricidad y, a menudo, es el método preferido cuando está disponible. En Noruega, por ejemplo, el 99 % de la electricidad proviene de la energía hidroeléctrica (IRENA, 2023).

A pesar de requerir mucho capital, la energía hidroeléctrica es una de las fuentes de electricidad más baratas. China sigue liderando en términos de adiciones de capacidad, con 24 GW agregados en 2022, lo que equivale a tres cuartas partes de todo el crecimiento mundial. En China, se encuentra la central hidroeléctrica más grande del mundo: la presa de las Tres Gargantas, de 22,5 gigavatios, que produce entre 80 y 100 teravatios-hora al año, suficiente para abastecer a entre setenta y ochenta millones de hogares (IRENA, 2023).

La energía hidroeléctrica sigue siendo una parte importante del 14.º Plan Quinquenal de Energías Renovables de China, publicado en 2022¹, pero se espera que las adiciones de capacidad se ralenticen en los próximos años debido a la disminución del número de emplazamientos adecuados y a las limitaciones medioambientales.

La India sigue desarrollando varios grandes proyectos hidroeléctricos, y se espera que en los próximos años entre en funciona-

¹ La versión original en chino puede consultarse en: <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202206/P020220602315308557623.pdf>

miento una capacidad significativa. La energía hidroeléctrica es una de las tecnologías cruciales para cumplir con el compromiso de alcanzar los 500 GW de electricidad no fósil en 2030².

Este auge en el desarrollo de proyectos hidroeléctricos a nivel mundial puede generar impactos negativos sobre la sociedad y el medioambiente si no se planifican y gestionan de forma adecuada. Entre los efectos no deseados se incluyen el reasentamiento forzado de la población, la alteración de los regímenes de caudal de los ríos, la fragmentación de los ecosistemas y el cambio de hábitats.

Desde el punto de vista geopolítico, la construcción de presas, ya sea la construcción de proyectos hidroeléctricos como de gestión de agua, suscita preocupación ya que la aparición de controversias en la gestión de las cuencas compartidas puede agravar situaciones de inseguridad y, en el peor de los casos, generar conflictos.

Si bien el agua se ha considerado un factor de cooperación, es posible que, a medida que aumente la demanda de esta, los países ejerzan de una manera más beligerante su hidrohegemonía por miedo a perder su soberanía y control sobre el agua compartida. Ante esta situación, los países vecinos de cuenca pueden tomar represalias que pueden generar dinámicas geopolíticas muy complejas.

También vale la pena señalar que, si bien no han ocurrido guerras interestatales por el agua, ha habido casos de conflictos intraestatales y violencia por el agua, particularmente en regiones que enfrentan una grave escasez de agua. Estos conflictos a menudo ocurren a nivel local, entre diferentes grupos de usuarios, comunidades o regiones dentro de un país. Los problemas del agua son a menudo uno de los muchos factores que contribuyen a disputas políticas, territoriales o étnicas más amplias (Matthews, 2023).

Cada cuenca presenta dinámicas diferentes debido a sus intereses geopolíticos de los países integrantes que pueden conducir o no a un mayor riesgo de aparición de conflictos. La falta de marcos de cooperación entre los países que comparten la cuenca, los intereses geopolíticos ajenos a la propia gestión de agua y la participación de potencias extranjeras, que ejercen de mediadores, son factores que influyen en la aparición o el agravamiento de los

² Véase: <https://powermin.gov.in/en/content/500gw-nonfossil-fuel-target>

conflictos cuando se llevan a cabo la construcción de presas, en especial los megaproyectos hidroeléctricos.

De acuerdo con el derecho internacional consuetudinario basado en las Reglas de Helsinki de 1968 y la Convención de las Naciones Unidas sobre los Usos de los Cursos de Agua Internacionales para Fines Distintos de la Navegación, un ribereño inferior no puede vetar las intervenciones en un río por parte del ribereño superior. Sin embargo, un ribereño inferior puede pedir que se le notifique previamente su intención de intervenir, que se le facilite información técnica completa y detallada, que se tengan debidamente en cuenta las preocupaciones del ribereño inferior, que se celebren consultas previas y que se acepte el principio de evitar el «daño sustancial» o el «daño sensible» al ribereño inferior. Sin embargo, en ocasiones, estas condiciones no se cumplen y se generan complejas disputas geopolíticas.

A continuación, se describen algunos ejemplos de cuencas en las que la construcción de proyectos hidrológicos está causando tensiones que corren el riesgo de agravarse.

1 Asia-Pacífico y las crisis de agua

La región de Asia-Pacífico alberga algunas de las zonas con mayor escasez de agua del mundo (FAO, 2023). El crecimiento demográfico y los elevados patrones de consumo, la contaminación y la mala gestión agravan esta crisis hídrica.

La construcción de presas para solventar los problemas hídricos, derivados del uso ineficiente e insostenible del agua y de las consecuencias del cambio climático, están originando situaciones de enfrentamiento diplomático que, si bien hasta la fecha no han evolucionado hacia conflictos armados, están teniendo consecuencias en la estabilidad de la región. El carácter económico-político de su construcción puede constituir una herramienta de presión muy útil para el equilibrio de poder regional.

1.1 Río Kunar (Afganistán y Pakistán)

El río Kunar, de 480 kilómetros de largo, nace en las montañas del Hindu Kush de Afganistán y desempeña un papel crucial en el suministro de agua de la región. Siguiendo su cauce hacia el sur, el río finalmente converge con el río Kabul en la provincia afgana de Nangarhar, que a su vez contribuye al río Indo.

El desplome de los niveles de agua subterránea en varias provincias de Afganistán ha provocado una falta de agua potable. Con más de dos tercios de los afganos afectados por la sequía y solo alrededor de 600 megavatios (MW) de la producción actual de electricidad con un potencial para producir más de 23 000 MW de hidroelectricidad, la expansión de las centrales hidroeléctricas es crucial para Afganistán³.



Figura 1. Localización del río Kunar

Afganistán, bajo el régimen talibán, pretende construir una presa hidroeléctrica en el río Kunar con una capacidad para producir 45 megavatios de electricidad e irrigar 34 000 hectáreas de tierras agrícolas⁴. Esta decisión ha aumentado significativamente las tensiones con Pakistán, un país vecino que depende en gran medida del agua de los ríos que se originan en Afganistán. Si los talibanes afganos siguen adelante con esta represa sin involucrar a Pakistán, se pueden generar tensiones que den lugar a un posible conflicto entre ambos países. No existe ningún tratado

³ Véase: <https://www.eurasiantimes.com/afghanistan-unleashes-hydro-power-on-pakistan-dam/>

⁴ Véase: <https://amu.tv/76296/>

de aguas entre Pakistán y Afganistán, y el uso actual del agua se rige por prácticas consuetudinarias⁵.

Según los expertos, el grupo extremista carece de la experiencia y las finanzas para llevar a cabo el proyecto ya que la construcción de represas requiere conocimientos técnicos y una cadena de suministro sólida⁶.

Los planes de construcción de la represa de Kunar ya están afectando a las fluctuantes relaciones políticas y de seguridad entre Afganistán y Pakistán. La decisión de Kabul de poner remedio a la escasez de agua ha sido motivo de alarma para Pakistán, que considera que la decisión unilateral del Emirato Islámico de construir una presa en el río Kunar equivale a un acto hostil⁷. Sin embargo, las autoridades afganas acusan a Pakistán de exagerar el impacto de la presa ya que esta no será de gran tamaño, se almacenará poca agua y estará destinada a generar electricidad⁸. Para Pakistán, la reducción del caudal de agua del río Kunar podría tener consecuencias de gran alcance para su sector agrícola, lo que podría afectar a la seguridad alimentaria y la estabilidad económica. Desde la perspectiva de Afganistán, la represa se considera un paso crucial hacia la autosuficiencia, particularmente en términos de control y utilización de sus recursos hídricos para las necesidades domésticas⁹.

Por otro lado, la inversión de la empresa china en los proyectos hidroeléctricos de Kunar representa un paso significativo hacia la mejora de la infraestructura energética de Afganistán. Se espera que estas represas refuercen el suministro de energía de la región, lo que podría permitir a Afganistán exportar electricidad a los países vecinos en el futuro¹⁰.

Sin embargo, si Afganistán insiste en la soberanía absoluta del río Kunar, podría plantear amenazas para el conjunto de la región. Pakistán, situado río arriba en Chitral, podría desviar el agua hacia el río Swat en respuesta. La mejor solución sería que ambos

⁵ Véase: <https://tribune.com.pk/story/2452399/the-kunar-river-rift>

⁶ Véase: <https://www.rferl.org/a/azadi-pakistan-taliban-hydroelectric-dam-afghanistan-siddique-briefing/32743288.html>

⁷ Véase: <https://www.eurasiantimes.com/afghanistan-unleashes-hydro-power-on-pakistan-dam/>

⁸ Ibid

⁹ Véase: <https://daryo.uz/en/2024/01/14/tensions-rise-as-afghanistan-plans-hydroelectric-dam-on-kunar-river-in-pakistan>

¹⁰ Véase: <https://www.khaama.com/chinese-firm-to-construct-three-hydroelectric-dams-in-kunar-afghanistan/>

países evitaran utilizar este tema para obtener influencia política y, en cambio, adoptaran una fórmula mutuamente beneficiosa que sirviera a ambas partes¹¹.

1.2 Río Helmand (Irán y Afganistán)

El problema del río Helmand pone de relieve los desafíos de compartir los escasos recursos hídricos entre Afganistán e Irán, exacerbados por la escasez de agua, la inestabilidad socioeconómica y el cambio climático. Es el río más largo de Afganistán y desemboca en el lago Hamún, en el límite entre ambos países.

La disputa del río Helmand sigue siendo un foco de tensión, ya que la gestión de las aguas arriba de Afganistán afecta significativamente la seguridad hídrica de Irán. Irán acusa desde hace años a Afganistán de retener agua del río Helmand, violando un tratado de 1973 que asignaba 820 millones de metros cúbicos



Figura 2. Cuenca del río Helmand. Fuente: Knusser CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10323588>

¹¹ Véase: <https://tribune.com.pk/story/2452399/the-kunar-river-rift>

anuales a Irán¹². Los afganos lo niegan argumentado que la causa de que el río lleve menos agua es la falta de lluvias. Sin embargo, Afganistán construyó, justo antes de la frontera, la represa de Kamal Khan, que se inauguró en 2021. Teherán sostiene que esa es la causa de que no fluya el volumen de agua acordado en el tratado (Kocatepe, 2024).

1.3 La cuenca del Indo (Pakistán e India)

Para entender la rivalidad hidroestratégica entre la India y Pakistán, hay que remontarse décadas atrás, en concreto, en la formación de los dos estados tras la independencia colonial. Las líneas fronterizas entre India y Pakistán se trazaron siguiendo la llamada «cuenca del Indo». La colocación de estas líneas beneficiaba a la India para la gestión de las presas que regulan el flujo de agua hacia Pakistán, como lo demuestra el bloqueo de agua de la India en 1948 y la queja de Pakistán ante las Naciones Unidas en 1951. A diferencia de la India, Pakistán depende casi exclusivamente del Indo, y las zonas del sur río abajo son especialmente vulnerables a las tensiones en el suministro de agua de la cuenca. Esto convierte a Pakistán en uno de los países con mayor estrés hídrico del mundo¹³.

En 1960, India y Pakistán firmaron el Tratado de Aguas del Indo (TII) con el Banco Mundial como signatario del pacto. El acuerdo tuvo lugar después de nueve años de negociaciones y dividió el control de seis ríos entre los dos países. En virtud del tratado, India obtuvo el control de los ríos Beas, Ravi y Sutlej, mientras que Pakistán obtuvo el control del Indo, Chenab y Jhelum.

En la cuenca del Indo, las tensiones entre India y Pakistán muestran una tendencia creciente. Ambos países llevan años en desacuerdo por las dos centrales hidroeléctricas planeadas por India en Jammu y Cachemira: Kishanganga de 330 megavatios y Ratle de 850 megavatios¹⁴.

¹² Véase: <https://www.specialeurasia.com/2025/01/30/helmand-river-iran-afghanistan/#:~:text=The%20Helmand%20River%20dispute%20remains,sustainable%20solutions%20with%20Afghanistan%27s%20cooperation>

¹³ Véase: <https://climate-diplomacy.org/case-studies/water-conflict-and-cooperation-between-india-and-pakistan>

¹⁴ Véase: <https://www.indianewsnetwork.com/es/20250121/upholds-and-vindicates-our-stand-india-welcomes-neutral-expert-s-stand-on-indus-water-treaty-with-pakistan>

Pakistán considera que la construcción de la represa en el río Kishanganga —un afluente del Jhelum y situado en la Cachemira controlada por la India— es una violación del Tratado de Aguas del Indo de 1960, ya que no solo alterará el curso del río, sino que también agotará el nivel del agua de los ríos que fluyen hacia Pakistán.



Figura 3. Cuenca del Indo. Fuente: Kmhmh, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=51835800>

De acuerdo con el tratado, la India tiene el derecho de generar hidroelectricidad a través de proyectos de corriente en los ríos occidentales que, sujeto a criterios específicos de diseño y operación, no está restringido.

Pakistán se opone a este proyecto de presa de Kishanganga porque reduciría los caudales del río Jhelum. En 2017, el Banco Mundial dijo que India tiene permiso para construir instalaciones de energía hidroeléctrica en los afluentes de los ríos Jhelum y Chenab con ciertas restricciones bajo el tratado de 1960.

Los dos países discrepan sobre si las características técnicas de diseño de estas dos centrales hidroeléctricas contravienen el Tratado. Pakistán pidió al Banco Mundial que facilitara el establecimiento de un tribunal de arbitraje para examinar sus preocupaciones sobre los diseños de los dos proyectos de energía hidroeléctrica, mientras que la India pidió el nombramiento de un experto neutral para examinar preocupaciones similares sobre los dos proyectos.

En mayo de 2018, el primer ministro Narendra Modi inauguró el proyecto Kishanganga a pesar de las objeciones de Pakistán. Los expertos son cautelosos y advierten que estos proyectos a lo largo de la parte alta de la India darían a este país la capacidad de almacenar suficiente agua para controlar o limitar el suministro de agua a Pakistán en un período crucial de producción agrícola¹⁵.

Aunque en los sesenta años de vigencia del Tratado del Indo no había surgido ningún conflicto importante entre las dos naciones, estos proyectos en curso podrían convertirse en una fuente de conflictos hídricos inmanejables, sobre todo a raíz de la retirada del India del Tratado sobre aguas del Indo, como represalia contra Pakistán tras el ataque terrorista ocurrido el 22 de abril de 2025 en las praderas de Baisaran de Pahalgam en el que murieron veintiséis personas, la mayoría turistas¹⁶.

El TII estaba considerado como uno de los acuerdos de reparto de agua de los más exitosos, ya que había sido capaz de superar tensiones geopolíticas entre India y Pakistán. Sin embargo, la suspensión del acuerdo indica un endurecimiento de la postura de India con relación al terrorismo transfronterizo y una posible escala militar entre los dos países especialmente preocupante, ya que ambos disponen de armas nucleares.

¹⁵ Véase: <https://www.dawn.com/news/1320850>

¹⁶ Véase: <https://newsable.asianetnews.com/india/pahalgam-terror-attack-names-of-all-26-victims-released-check-full-list-here-snt/articleshow-pce1extr>

1.4 Asia Central (Kirguistán, Tayikistán, Kazajstán, Uzbekistán, Turkmenistán)

El problema de la escasez de agua en Asia Central se ha vuelto agudo e irreversible y solo empeorará en el futuro¹⁷.

La gestión del agua en Asia Central ha sido motivo de discordia entre los cinco países vecinos, lo que a menudo ha generado un tenso clima político en la región. Las Repúblicas de Asia Central (RCA) comprenden los Estados «pobres en energía, pero ricos en agua» aguas arriba (Kirguistán y Tayikistán) y los Estados «ricos en energía, pero pobres en agua» aguas abajo (Kazajstán, Uzbekistán y Turkmenistán). Los Estados río arriba utilizan los recursos hídricos dentro de sus fronteras para generar enormes cantidades de energía a través de la hidroeléctrica. Al mismo tiempo, los cultivos intensivos en agua, como el trigo y el algodón, contribuyen significativamente al PIB de los países situados aguas abajo. Esta situación se ve deteriorada por las sequías debidas al cambio climático que están costando a Asia Central más del 5 % de su PIB regional¹⁸.



Figura 4. Cuenca del Amu Darya y del Syr Darya. Fuente: [Theglobalobservatory.org](https://theglobalobservatory.org)

¹⁷ Véase: <https://eurasianet.org/unexplained-spill-fuels-concern-about-afghan-canal-project>

¹⁸ Véase: <https://climateadaptationplatform.com/central-asias-response-to-water-scarcity-and-climate-change/>

Las principales fuentes de agua en Asia Central son los dos ríos, Amu Darya y Syr Darya, que conectan estrechamente los estados ribereños. Los cinco países de la región consumen colectivamente casi 127 000 millones de metros cúbicos de agua cada año, de los cuales la agricultura representa más del 80 %¹⁹.

Desde que obtuvo la independencia en 1991, el reparto del agua se ha convertido en uno de los temas más sensibles de la región. Los problemas relacionados con el uso y la gestión del agua adquirieron una dimensión interestatal a medida que las naciones recién independizadas fueron testigos de la fragmentación del sistema unificado de gestión del agua en Asia Central.

En virtud del acuerdo de 1992, se creó la Comisión Interestatal para la Cooperación en materia de Agua (ICWC, por sus siglas en inglés) para tratar las cuestiones relacionadas con la regulación, el uso racional y la protección de los recursos hídricos procedentes de fuentes interestatales. Además, las cinco repúblicas firmaron en 1993 un acuerdo sobre acciones conjuntas para resolver el problema del Mar de Aral con el objeto de promover la rehabilitación ambiental y garantizar el desarrollo socioeconómico de la región²⁰.

Sin embargo, estos acuerdos se vieron socavados, ya que los países no lograron equilibrar la cooperación regional en materia de agua con las necesidades del sector energético. Esto alienó a los países río arriba, cuyos intereses están enfocados en la generación de energía hidroeléctrica.

En 1998, las repúblicas de Asia Central, excepto Turkmenistán, firmaron un acuerdo sobre el «Uso de los recursos hídricos y energéticos de la cuenca del río Syr Darya». El acuerdo se refería al uso sostenible de los recursos energéticos e hídricos en la cuenca del río Syr Darya, con el objetivo de resolver las disputas sobre el agua y la energía (OECD, 2021).

En 2009, se puso en marcha el Programa de Agua y Energía de Asia Central (CAWEP) por el Banco Mundial, en colaboración con la Unión Europea, Suiza y el Reino Unido. Su objetivo era fortalecer el entorno propicio para promover la seguridad energética e hídrica a nivel regional y en los países beneficiarios.

¹⁹ Véase: <https://www.idsa.in/publisher/issuebrief/the-future-of-water-management-in-central-asia>

²⁰ Véase: <https://www.mfa.gov.tm/en/articles/56?breadcrumbs=no&title=aral>

Un informe de 2017 de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación afirma que la intensa competencia por los recursos hídricos y su uso para el riego y la generación de energía hidroeléctrica se debe principalmente a estrategias nacionales descoordinadas. El informe estimó que el costo de la inacción para mejorar la gestión del agua en Asia Central es de hasta 4500 millones de dólares anuales. Una combinación de baja eficiencia hídrica, externalidades negativas causadas por acciones unilaterales y prioridades nacionales contrapuestas han causado desacuerdos y contribuido a las disputas políticas y diplomáticas entre Kazajistán, Kirguistán, Tayikistán, Turkmenistán y Uzbekistán a pesar de un compromiso general con la cooperación²¹.

En la cuenca del río Amu Darya, en Asia Central, la presa Rogun propuesta a lo largo del río Vakhsh en el sur de Tayikistán se convierte en una fuente de tensión entre Uzbekistán y Tayikistán que causa preocupación por la escalada hacia una desestabilización regional más amplia e incluso por la violencia interestatal.

El río Vakhsh aporta, aproximadamente, el 25 % del agua al Amu Darya y Uzbekistán está preocupado por la pérdida de agua río abajo debido a la presa Rogun río arriba. A pesar de que esta presa se encuentra dentro de Tayikistán y lejos de las fronteras internacionales, el desvío de agua de la cuenca podría afectar negativamente a la industria algodonera de Uzbekistán.

La construcción de la central hidroeléctrica de Rogun comenzó en 1976, cuando Tayikistán formaba parte de la URSS²². El proyecto se relanzó en 2006. Si se completa, con sus 335 metros de altura y trece kilómetros cúbicos de almacenamiento, Rogun se convertirá en la estructura más grande de este tipo en el mundo²³. Con décadas de trabajo, la central hidroeléctrica cerca de la ciudad de Rogun tendrá su tercer y último generador en funcionamiento a finales de 2025.

El proyecto hidroeléctrico de Rogun no solo promete mejorar significativamente la capacidad energética de Tayikistán —un

²¹ Véase: <https://www.eda.admin.ch/countries/uzbekistan/en/home/international-cooperation/strategy-uzbekistan/looking-back.html>

²² Véase: <https://uwecworkgroup.info/%D0%B0-la-guerre-comme-a-la-guerre-military-geopolitics-see-return-of-controversial-megaprojects/>

²³ Estará equipada con seis turbinas de 600 megavatios, lo que equivale a una capacidad instalada total de 3600 megavatios, el equivalente a tres plantas de energía nuclear. Véase: <https://www.webuildvalue.com/en/stories-behind-projects/dam-tajikistan-green-future.html>

país donde más del 90 % de su electricidad proviene de fuentes hidroeléctricas—, sino que también desempeña un papel crucial en la cooperación energética y la seguridad regionales²⁴. La presa no solo conduce a Tayikistán hacia la independencia energética, sino que también supone una herramienta de negociación para las políticas comerciales energéticas con sus vecinos Uzbekistán y Kazajistán, que están dispuestos a intercambiar gas por electricidad. Se estima que aproximadamente el 70 % de la electricidad generada por la central hidroeléctrica de Rogun se exportará a los países de Asia Central una vez que la planta alcance su plena capacidad²⁵.

En la actualidad, la presa presenta varios problemas. El primero es que los costos se están disparando a un nivel que hace difícil ver dónde el Gobierno va a encontrar los fondos necesarios para terminar el trabajo²⁶. Según datos del Banco Mundial, Tayikistán está gastando el 80 % de la inversión en infraestructura del presupuesto estatal para completar la represa de Rogun en detrimento de los proyectos de educación y salud. La población empobrecida incluso se ha visto obligada a comprar bonos en el proyecto Rogun. Mientras tanto, sufren apagones continuos, ya que el 95 % de la energía del país es generada por centrales hidroeléctricas, y en invierno una reducción natural de la escorrentía de los glaciares crea una escasez de agua para la generación hidroeléctrica. No queda nada en las arcas para invertir en la diversificación de las fuentes de energía: todo el dinero se gasta en el Rogun, que se ha convertido en un fetiche nacional²⁷.

Con su potencial hidroeléctrico, Tayikistán pronto podría convertirse en un importante productor de energía, lo que le permitiría superar su peso en la geopolítica regional. Los beneficios en esta área superan los costos exorbitantes del proyecto de la represa de Rogun²⁸. Tayikistán ya ha gastado 3300 millones de dólares en ella, pero le faltan al menos 6100 millones de dólares para terminar de construir la presa. Durante la última década, los costos

²⁴ Véase: <https://www.isdb.org/news/isdb-and-tajikistan-consolidate-cooperation-in-hydropower-sector-with-us150-million-financing-agreement>

²⁵ Véase: <https://daryo.uz/en/2024/06/21/tajikistan-to-export-70-of-rogun-hpp-electricity-to-central-asia>

²⁶ Véase: <https://eurasianet.org/tajikistan-roghun-dam-budget-spiral-to-make-authorities-sweat>

²⁷ Véase: <https://uwecworkgroup.info/%D0%B0-la-guerre-comme-a-la-guerre-military-geopolitics-see-return-of-cont>

²⁸ Véase: <https://www.geopoliticalmonitor.com/rogun-hydropower-plant-nears-completion-in-tajikistan/>

proyectados de la terminación de la represa Rogun han aumentado en un 15 % anual²⁹.

Por otro lado, la evaluación ambiental es escasa y los posibles impactos económicos y sociales transfronterizos de la central hidroeléctrica son muy elevados. Se espera que la presa de Rogun desplace al menos a cuarenta mil personas. Además, se corre el riesgo de que ecosistemas tan valiosos como los bosques Tugay de Tigrovaya Balka —pertenecientes al Patrimonio Mundial de la Unesco— puedan verse gravemente afectados. Y, dado que el caudal del río hacia el mar de Aral se reducirá drásticamente, también habrá repercusiones para los países vecinos aguas abajo: Afganistán, Turkmenistán y Uzbekistán³⁰.

A pesar de las preocupaciones en torno al proyecto y el aumento de los costos, Rogun sigue atrayendo inversiones de todo el mundo (incluidos Europa, China e Irán), ya que Tayikistán se encuentra en la encrucijada de importantes intereses geopolíticos —limita con Afganistán y China y en las últimas décadas ha estado principalmente bajo la esfera de interés rusa—. Recientemente, sin embargo, Europa también ha estado tratando de expandir su influencia aquí, para reducir la dependencia de los países de Asia Central de Rusia y para contrarrestar la Iniciativa de la Franja y la Ruta de China³¹.

La magnitud de este proyecto de Rogun es impresionante, pero su importancia estratégica para esta zona de extrema pobreza y alta sensibilidad política es de importancia mundial. Tayikistán comparte una frontera de 1300 km (830 millas) con Afganistán. Un suministro seguro de electricidad procedente de Tayikistán podría transformar las economías de estas regiones y proporcionar nuevas fuentes de empleo y oportunidades a sus ciudadanos empobrecidos y cansados de la guerra. Por lo tanto, la puesta en funcionamiento de la presa de Rogun podría contribuir a la estabilidad a largo plazo de Tayikistán y Asia Central³².

²⁹ Véase: <https://www.internationalrivers.org/news/civil-society-organizations-urge-international-banks-and-funds-to-rethink-the-approach-to-the-rogun-hydropower-dam-in-tajikistan/>

³⁰ Véase: <https://www.internationalrivers.org/news/civil-society-organizations-urge-international-banks-and-funds-to-rethink-the-approach-to-the-rogun-hydropower-dam-in-tajikistan/>

³¹ Véase: <https://www.internationalrivers.org/news/civil-society-organizations-urge-international-banks-and-funds-to-rethink-the-approach-to-the-rogun-hydropower-dam-in-tajikistan/>

³² Véase: <https://thinkscotland.org/2024/05/building-rogun-harnessing-the-waters-of-tajikistan/>

1.5 Cuenca del Yarlung Tsangpo-Bramaputra (China e India)

China es una potencia hidroeléctrica mundial, con más grandes represas en servicio que cualquier otro país. La hidroelectricidad es la segunda mayor fuente de energía de China, después del carbón y representa casi una quinta parte de la producción de energía del país³³.

China tiene planes para construir alrededor de cien represas para generar energía hidroeléctrica a partir de los principales ríos que nacen en el Tíbet, lo que puede suponer el mayor acaparamiento de agua de la historia³⁴.

Esta rápida construcción de presas en China, que incluye, al menos, ocho nuevas en el río Brahmaputra en el Tíbet, ha provocado preocupaciones sobre el intento de los chinos de controlar el suministro de agua de la India. Las represas propuestas en el río Yarlung Tsangpo en el Tíbet están cerca de la frontera india en Arunachal Pradesh. En esta región, los chinos han logrado construir tres represas en una distancia de 24 km en el



Figura 5. Cuenca del Yarlung Tsangpo-Bramaputra. Fuente: <https://www.drishtias.com/daily-news-analysis/india-china-on-brahmaputra>

³³ Véase: <https://www.abc.net.au/news/2021-05-25/chinas-plan-to-build-mega-dam-on-yarlung-tsangpo-brahmaputra/100146344>

³⁴ Véase: <https://www.eurasiantimes.com/new-boiling-lac-chinas-constructing-of-worlds-largest-dam/>

río Brahmaputra en un período de diez años. Esta construcción de presas se desarrolla a un ritmo y escala sin precedentes³⁵.

La meseta tibetana es la mayor fuente de agua dulce de la región del Indo-Pacífico, en donde residen 1350 millones de personas, una quinta parte de la población mundial. China tiene el control de los seis principales sistemas fluviales que drenan el este y el sur de Asia. Controla todo el tramo del Huanghe (río Amarillo) y el Yangtsé, así como los tramos superiores de los otros cuatro grandes ríos: el Lancang (Mekong), el Salween, el Yarlong Tsangpo (Brahmaputra) y el Indo, ya que los cuatro tienen sus fuentes en la meseta tibetana. Tres de ellos atraviesan desfiladeros de hasta dos mil metros de profundidad. Estos ríos descienden desde una altitud de más de cinco mil metros hasta menos de dos mil metros en territorio chino. A medida que caen en cascada desde sus alturas tibetanas, han sido casi inaccesibles durante mucho tiempo.

De los cinco ríos principales que fluyen desde la meseta, China ha establecido un sistema de represas hidroeléctricas en los dos más grandes: el río Mekong, que fluye a través del sudeste asiático, y el río Brahmaputra, que fluye a través de India y, posteriormente hacia Bangladesh en donde recibe el nombre de Jamuna que constituye su mayor fuente de agua dulce³⁶. Hasta ahora, los tres países ribereños interesados no han firmado ningún acuerdo que regule la gestión de la cuenca del Brahmaputra, lo que ha ocasionado preocupaciones en torno a las actividades de construcción de represas de China³⁷.

Esta falta de acuerdo de gestión de la cuenca del Brahmaputra se ha suplido con la firma de una serie de memorandos de entendimiento (MoU) que se actualizan periódicamente. En 2002, se firmó un MoU sobre el suministro de información hidrológica sobre el río Brahmaputra durante la temporada de inundaciones, que se renovó en 2008, 2013 y 2018. Del mismo modo, en 2004, se firmó un MoU sobre el río Sutlej, que se renovó en 2010 y 2015. En virtud de estos MoUs, China proporcionaría a la India datos en tiempo real sobre los niveles de agua, la descarga y las precipitaciones de las estaciones hidrológicas de los dos ríos durante

³⁵ Véase: <https://arunachalobserver.org/2024/07/01/beware-of-chinas-dam-binge-chinas-dams-in-tibet-may-pose-threat-to-water-supply-of-india/>

³⁶ Véase: <https://ipdefenseforum.com/2024/03/prc-weaponizes-water/>

³⁷ Véase: <https://media.defense.gov/2024/Mar/11/2003410996/-1/-1/1/VIEW%20-%20MANHAS%20&%20LAD.PDF>

la temporada de inundaciones (junio-octubre). Estos datos son utilizados por la India para ayudar a gestionar sus recursos hídricos y mitigar el riesgo de inundaciones que a menudo ocurren cuando los ríos se desbordan como resultado de fuertes lluvias.

Sin embargo, tras el enfrentamiento de Doklam en la frontera entre India y China en 2017, esta última dejó de publicar datos hidrológicos sobre el Brahmaputra, alegando daños en los sitios de recopilación de datos³⁸. Sin embargo, a medida que las relaciones diplomáticas mejoraron en 2018, se reanudó el intercambio de datos entre los dos países, lo que demuestra que cuando las relaciones son positivas, es más probable que ambas partes trabajen en asuntos relacionados con el agua.

Ambos MoUs expiraron en 2023, pero los dos países se encuentran actualmente en el proceso de renovación. De momento, China ha seguido suministrando datos sobre el río Sutlej.

El principal problema de cooperación reside en que estos MoUs no son legalmente vinculantes y no existe un proceso para resolver los desacuerdos entre las partes. Por ello, India y China también cuentan con un Mecanismo de Nivel de Expertos (ELM, por sus siglas en inglés) para discutir cuestiones relacionadas con las aguas transfronterizas. El ELM se ha reunido regularmente desde 2006, pero no ha sido capaz de resolver ninguna de las principales disputas entre los dos países³⁹.

La mayoría de los proyectos hidroeléctricos a lo largo de la cuenca del Brahmaputra propuestos por India y China se encuentran en la zona fronteriza de la Región Autónoma del Tíbet y Arunachal Pradesh, un área que ya es volátil debido a las disputas en curso sobre reclamos territoriales de las dos naciones. Sin una frontera oficial mutuamente acordada entre los dos países, ambos hacen valer reclamaciones contrapuestas sobre este territorio. Estas reivindicaciones están relacionadas con la gestión de los recursos hídricos que realizan ambos países.

Si China abandona su reclamo sobre el estado de Tíbet del Sur/ Arunachal Pradesh, su reivindicación de soberanía sobre el Tíbet —fuente de los principales ríos de Asia— se debilitaría. La India, por su parte, no está dispuesta a ceder la tierra a su rival, ya

³⁸ Véase: <https://www.ndtv.com/india-news/china-upgradaing-data-collection-station-wont-share-info-on-brahmaputra-1749268>

³⁹ Véase: <https://www.natstrat.org/article/detail/publications/india-china-cooperation-in-water-resources-expert-level-mechanism-188.html>

que el territorio es el lugar de la victoria de China contra la India durante la Guerra Sino-India en 1962. Por su parte Bangladesh, al ser el país más aguas abajo de la cuenca del Brahmaputra, teme que cualquier desarrollo hídrico unilateral aguas arriba, ya sea en China o en India, reduciría el flujo dentro de Bangladesh y dañaría gravemente su desarrollo general, específicamente, en el sector agrícola.

De todos los proyectos hidrológicos que está realizando China en el Brahmaputra, entre los que se incluye el desvío de agua a las zonas áridas del norte de China, destaca el ambicioso proyecto en construcción de una superpresa en la denominada Gran Curva. Esta área presenta uno de los mayores recursos hidroeléctricos sin explotar del planeta⁴⁰, ya que el agua da un giro brusco y cae tres mil metros a través de un desfiladero antes de brotar a través de la frontera en Arunachal Pradesh en la India⁴¹.

Este proyecto forma parte del 14.^a Plan Quinquenal y ya fue aprobado en la Asamblea Popular Nacional en marzo de 2021. Sin embargo, poco se sabe sobre el estado del proyecto salvo que se ha construido la suficiente infraestructura para comenzar a transportar equipos pesados, materiales y trabajadores a través del cañón más profundo del mundo. Pekín tiene un historial de mantener en secreto el trabajo en grandes proyectos de represas en ríos internacionales hasta que la actividad ya no se puede ocultar en las imágenes satelitales disponibles comercialmente.

Este megaproyecto, con una capacidad prevista de sesenta gigavatios, generaría tres veces más electricidad que la presa de las Tres Gargantas, ahora la central hidroeléctrica más grande del mundo. El proyecto desempeñará un papel importante en la realización del objetivo de China de alcanzar un pico de emisiones de carbono antes de 2030 y la neutralidad de carbono en 2060⁴².

Sin embargo, mientras algunos promocionan la superpresa como una excelente solución de energía limpia, otros expresan su preocupación por los costos ambientales y sociales que rodean el proyecto. La propia presa de las Tres Gargantas provocó el desplazamiento de casi 1,5 millones de residentes de las riberas del

⁴⁰ Véase: <https://www.abc.net.au/news/2021-05-25/chinas-plan-to-build-mega-dam-on-yarlung-tsangpo-brahmaputra/100146344>

⁴¹ Véase: <https://www.aspistrategist.org.au/how-the-brahmaputra-river-could-shape-india-china-security-competition/>

⁴² Véase: <https://www.tbsnews.net/environment/china-dam-brahmaputra-wont-be-harmless-if-water-not-diverted-165307>

río y creó importantes trastornos ecológicos regionales⁴³. Otro factor importante es que la mega represa se está construyendo en Pemako, considerado el lugar más sagrado del Tíbet⁴⁴.

Pero lo que más preocupa a los estados ribereños es el alto riesgo sísmico de la zona en donde tiene previsto construirse la presa, ya que la parte sureste de la meseta tibetana se encuentra en la línea de falla geológica donde chocan las placas india y euroasiática. Un terremoto podría provocar el colapso de la presa y convertirla en una bomba de agua para las comunidades río abajo en India y Bangladesh⁴⁵.

Desde el punto de vista geopolítico, para India la intención de China de construir la megapresa sigue siendo motivo de preocupación. El almacenamiento podría producir un debilitamiento del caudal en la temporada de invierno de agua por lo que la India podría enfrentarse a una escasez hídrica. Por el contrario, si China libera el exceso de agua de la estructura durante sus monzones, la India y Bangladés correrían el riesgo de inundaciones⁴⁶.

Desde este punto de vista, la megapresa dotará a China de influencia sobre la India e incluso se sospecha que podría utilizar como arma las aguas transfronterizas para posiblemente «asfixiar la economía india»⁴⁷. No sería la primera vez que India acusa a China de utilizar el agua de forma coercitiva e incluso de utilizar el agua a modo de «bombas líquidas»⁴⁸.

En respuesta a la construcción de la superpresa, India ha anunciado planes para construir su propia presa en Yingkióng en Arunachal Pradesh para compensar el impacto adverso de la represa china y poder controlar las inundaciones además de generar 10GW⁴⁹. Esta propuesta aumenta las tensiones y genera

⁴³ Véase: <https://weather.com/en-IN/india/news/news/2024-03-08-could-china-brahmaputra-super-dam-create-indian-water-disaster>

⁴⁴ Véase: <https://ipdefenseforum.com/2024/03/prc-weaponizes-water/>

⁴⁵ Véase: <https://internationalaffairsreview.com/2024/02/19/chinas-new-dam-on-the-brahmaputra-a-threat-to-bangladesh-india/>

⁴⁶ Véase: <https://www.indiatodayne.in/opinion/story/opinion-china-plans-mega-dam-at-yarlung-tsangpo-canyon-pose-threat-to-other-countries-1047023-2024-07-11>

⁴⁷ Véase: <https://ipdefenseforum.com/2024/03/prc-weaponizes-water/>

⁴⁸ Véase: <https://www.thehindu.com/sci-tech/energy-and-environment/chinas-mega-dam-will-be-water-bomb-arunachal-mp/article69426788.ece>

⁴⁹ Véase: <https://timesofindia.indiatimes.com/india/explainer-how-india-plans-to-counter-chinas-mega-dam-in-tibet/articleshow/103450052.cms>

un escenario de «guerras por el agua» por los recursos compartidos entre las naciones involucradas⁵⁰.

Los planes de la India para sus propios proyectos hidroeléctricos cerca de la frontera con China subrayan la importancia estratégica de estas construcciones. Ambas naciones utilizan la infraestructura hídrica para hacer valer sus reclamaciones territoriales e influir en la geopolítica regional.

Por otro lado, China aprovecha la intransigencia percibida de la India en temas de agua con sus vecinos para construir lazos más fuertes con países como Bangladesh y Nepal⁵¹. Por ejemplo, China se ha ofrecido a financiar proyectos de agua en Bangladesh y proporciona sistemáticamente datos sobre el agua a Bangladesh sin costo alguno, a diferencia de su enfoque con la India⁵².

Por lo tanto, la propuesta de la superpresa de la Gran Curva en el río Brahmaputra simboliza algo más que un proyecto hidroeléctrico, ya que representa una herramienta estratégica en el complejo panorama geopolítico del sur de Asia. Si bien el riesgo de un conflicto directo por el agua puede ser bajo, la construcción de la represa y sus implicaciones para la gestión del agua y la dinámica de poder regional ponen de relieve la intrincada interacción entre el desarrollo de la infraestructura y las relaciones internacionales⁵³. En medio de un entorno geopolítico cada vez más complejo y fracturado, las continuas tensiones chino-indias sobre la gobernanza fluvial podrían convertirse en un importante impulsor de tensiones más amplias en la región.

1.6 Cuenca del Mekong (China, Myanmar, Laos, Camboya, Vietnam y Tailandia)

El río Mekong, con una extensión de 4350 km, tiene su origen en la meseta tibetana y fluye a través de China hacia Myanmar, Laos, Camboya, Vietnam y Tailandia. El río ofrece sustento a aproximadamente sesenta millones de personas que viven en su

⁵⁰ Véase: <https://weather.com/en-IN/india/news/news/2024-03-08-could-china-brahmaputra-super-dam-create-indian-water-disaster>

⁵¹ Véase: <https://nepaleconomicforum.org/unlocking-the-geopolitics-of-hydro-power-in-nepal/>

⁵² Véase: <https://www.thinkchina.sg/politics/can-bangladesh-secure-its-water-future-china-and-india>

⁵³ Véase: <https://connectingnations.com/2024/08/brahmaputra-dam-dispute-escalates-water-war-between-india-and-china/>



Figura 6. Cuenca del Mekong. Fuente: Shannon. CC BY-SA 4.0

cuenca baja, siendo esta una zona muy fértil para el cultivo del arroz. El delta del Mekong produce alrededor del 50 % del arroz de Vietnam y representa el 31,3 % del PIB del país⁵⁴. Esta cuenca

⁵⁴ Véase: <https://es.vietnamplus.vn/desarrollan-economia-circular-en-delta-del-mekong-de-vietnam-post200097.vnp#:~:text=El%20Delta%20del%20Mekong%20es,del%20sector%20agr%C3%ADcola%20de%20Vietnam>

se enfrenta a dos grandes desafíos para sus recursos hídricos en el siglo XXI: los efectos del cambio climático y las construcciones de presas.

Algunos países de las zonas aguas arriba del río han construido varias presas, para generar energía. Estas instalaciones hidroeléctricas en el río Mekong pueden provocar una disminución en el flujo del río y los sedimentos que llegan a las áreas río abajo, lo que afectaría al cultivo de arroz, la principal fuente de alimento de decenas de millones de personas en la región. Esta disminución en la cantidad de agua podría contribuir a la intrusión de sal y la erosión en el delta del Mekong. El cambio en el flujo de agua del Mekong también aumentaría la erosión de la ribera del río⁵⁵.

Las represas también pueden evitar que los peces migren y alterar el caudal del río. La Comisión del Río Mekong dijo que el sector pesquero en el río Mekong puede sufrir pérdidas de 23 000 millones de dólares para 2030, y los impactos de la deforestación pueden resultar en una pérdida adicional de 145 000 millones de dólares⁵⁶.

En términos del negocio de la energía, el río Mekong se ha convertido en una oportunidad para que los inversores construyan represas hidroeléctricas para vender energía a los gobiernos que están tratando de reducir las emisiones. Por ejemplo, los tailandeses han invertido en importantes presas que venden electricidad. Un ejemplo de ello lo constituye la represa de Pak Beng, en la provincia de Bokeo, que es la cuarta represa más grande que el Gobierno de Laos ha planeado para el río Mekong. La represa, de 912 megavatios y 1880 millones de dólares, es una inversión conjunta entre Datang Overseas Investment de China y Gulf Energy Development de Tailandia. El 95 % de la electricidad generada se venderá a Tailandia, mientras que el resto se destinará a Laos⁵⁷. Esta presa es una parte integral del objetivo de Laos de convertirse en la «batería del sudeste asiático»⁵⁸, mediante el uso del Mekong para generar electricidad y venderla a los países vecinos. Sin embargo, la presa está presentando problemas para Laos. Por un lado, la financiación china que ha provocado que tenga

⁵⁵ Véase: <https://www.mekongeye.com/2024/06/03/dams-truly-green/>

⁵⁶ Véase: <https://e.vnexpress.net/news/news/environment/vietnam-cares-about-impacts-of-mekong-river-dams-4749868.html>

⁵⁷ Véase: <https://www.benarnews.org/english/news/thai/laos-dam-mekong-thai-power-deal-09212023151235.html>

⁵⁸ Véase: <https://apnews.com/article/luang-prabang-laos-unesco-world-heritage-9370038fe4d133f2388ce3cd92efb9af#>

una importante deuda que le cuesta saldar⁵⁹ y, por otro, la rapidez en la aprobación de proyectos de represas que, a menudo, se realiza sin una consideración exhaustiva de su impacto.



Figura 7. Construcción de represas en Laos. Fuente: <https://chinaglobalsouth.com/analysis/china-thailand-flock-to-laos-rivers-for-electricity/>

Otro proyecto que suscita preocupación es la presa de Luang Prabang, una de las nueve⁶⁰ que Laos tiene previsto construir en el Mekong. Según las previsiones, la presa de Luang Prabang — de ochenta metros de altura y 275 de ancho—, estará terminada en 2030 y generará 1460 megavatios de energía, la mayor parte de la cual se exportará a Tailandia y Vietnam⁶¹.

La población local ha expresado su desacuerdo, ya que consideran que la presa no generará mucha energía para Laos, sino que abastecerá a nuevos centros comerciales en Bangkok, y, por lo tanto, existe un desajuste entre los que se ven afectados negativamente y los que se benefician⁶². De hecho, la presa de

⁵⁹ Véase: <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Coronavirus/Laos-debt-woes-worsen-as-bills-for-China-funded-dams-loom>

⁶⁰ La represa Phou Ngoy de 728 megavatios, con una fecha de finalización prevista para 2029, se unirá a las represas operativas de Xayaburi y Don Sahong, así como a las represas de Pak Beng, Pak Lay, Luang Prabang y Sanakham, en varias etapas de planificación. Le seguirán otros dos, Pak Chom y Ban Koum.

⁶¹ Véase: <https://www.france24.com/en/live-news/20240221-you-can-t-imagine-the-damage-dam-threatens-historic-laos-town>

⁶² Véase: <https://ny1.com/nyc/all-boroughs/ap-top-news/2024/02/01/fears-grow-that-dam-across-mekong-river-in-laos-could-harm-world-heritage-site-of-luang-prabang>

Xayaburi situada aguas debajo de Luang Prabang, que comenzó a funcionar en 2019, ya ha afectado a esta ciudad al transformar el cauce del río Mekong en un lago por la pérdida de fluidez⁶³. Además, la presa estará construida cerca de una falla activa, por lo que un terremoto tendría consecuencias catastróficas para la ciudad de Luang Prabang y alrededores⁶⁴.

La Unesco también ha comunicado sus preocupaciones ya que con la construcción de la presa se corre el riesgo de que Luang Prabang pueda perder el estatus de ser considerada Patrimonio de la Humanidad⁶⁵.

Este auge en la construcción de presas en el Mekong en Laos no está exento de críticas. Un estudio sobre el potencial hidroeléctrico y el comercio transfronterizo de energía existente entre Laos, Camboya y Tailandia muestra que, durante el período comprendido entre 2016 y 2037, la demanda regional de electricidad y la reducción de las emisiones de CO₂ se pueden satisfacer construyendo solo el 82 % de las represas planificadas⁶⁶. Incluso se llega a proponer la implantación de una moratoria en la construcción de presas en Laos⁶⁷ como ya ha hecho Camboya⁶⁸.

Los países de la cuenca del Mekong reconocen el papel indispensable de la energía hidroeléctrica para satisfacer la demanda de energía e impulsar el crecimiento económico, pero también son conscientes de los posibles impactos transfronterizos del desarrollo de la energía hidroeléctrica⁶⁹.

La Comisión del Río Mekong (MRC⁷⁰) intenta resolver las disputas sobre el uso simultáneo del Mekong, pero excluye a algunas

⁶³ Véase: <https://apnews.com/article/luang-prabang-laos-unesco-world-heritage-9370038fe4d133f2388ce3cd92efb9af>

⁶⁴ Véase: <https://news.mongabay.com/2021/12/in-laos-a-very-dangerous-dam-threatens-an-ancient-world-heritage-site/>

⁶⁵ Véase: <https://ny1.com/nyc/all-boroughs/ap-top-news/2024/02/01/fears-grow-that-dam-across-mekong-river-in-laos-could-harm-world-heritage-site-of-luang-prabang>

⁶⁶ Véase: https://scholarship.claremont.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4777&context=cmc_theses

⁶⁷ Véase: <https://bkktribune.com/the-last-days-of-beautiful-luang-prabang/>

⁶⁸ Véase: <https://www.internationalrivers.org/news/sites-of-struggle-sacrifice-mapping-destructive-dam-projects-along-the-mekong-river/>

⁶⁹ Véase: <https://www.mrcmekong.org/media-releases/building-transparency-and-trust-mrcs-14th-regional-stakeholder-forum-set-course-for-sustainable-mekong-development/2024/>

⁷⁰ El MRC es una organización intergubernamental establecida en 1995 para impulsar el diálogo y la cooperación regional en la cuenca baja del río Mekong. Sobre la base del

partes, principalmente a China. La MRC tiene pocas formas de evitar que las empresas privadas de infraestructura construyan represas. Un país que se oponga puede ser desautorizado si la mayoría de la comisión ve valor en una represa que se encuentra claramente dentro de la jurisdicción de una nación, incluso si la represa afecta a los vecinos río abajo. Sin embargo, a pesar de esta posibilidad, el diálogo y la búsqueda de entendimiento suelen ser la guía que siguen los países pertenecientes a la comisión. Por ejemplo, en el 14.º Foro Regional se presentaron cambios en el diseño para los proyectos hidroeléctricos de Pak Beng, Pak Lai y Don Sahong. Estos cambios tienen como objetivo mejorar la gestión de los sedimentos, el transporte y mejorar la migración de los peces⁷¹, cuestiones que tienen una importancia vital, ya que el Mekong constituye la mayor pesquería continental del mundo⁷².

2 África

Para impulsar el desarrollo sostenible y el crecimiento económico a través de una transición hacia la energía limpia, el continente africano pretende acelerar de forma urgente el desarrollo de las energías renovables. En la actualidad, la energía eólica aporta el 0,01 % a la energía del subcontinente, la energía solar proporciona el 2 %, la energía geotérmica representa el 4-5 %, la energía hidroeléctrica contribuye con el 17 %, mientras que los combustibles fósiles dominan el panorama energético con un sustancial 77 %⁷³.

En 2023, se instalaron 2 GW de energía hidroeléctrica en todo el continente. Los países que contribuyeron en gran medida al desarrollo fueron Nigeria (740 MW), Uganda (408,2 MW), República Democrática del Congo (381,7 MW) y Tanzania (261,7 MW)⁷⁴.

Acuerdo del Mekong entre Camboya, la República Democrática Popular Lao, Tailandia y Viet Nam, el MRC sirve tanto de plataforma regional para la diplomacia del agua como de centro de conocimientos para gestionar los recursos hídricos y apoyar el desarrollo sostenible de la región.

⁷¹ Véase: <https://www.mrcmekong.org/media-releases/building-transparency-and-trust-mrcs-14th-regional-stakeholder-forum-set-course-for-sustainable-mekong-development/2024/>

⁷² Véase: <https://apnews.com/article/science-thailand-southeast-asia-united-states-cb2d4c4b1420b91db3d9ed3ca700d787>

⁷³ Véase: <https://www.nepad.org/blog/empowering-africa-enhancing-access-electricity-through-renewable-energy>

⁷⁴ Véase: <https://elperiodicodelaenergia.com/afrika-anade-2-gw-capacidad-hidroelectrica-2023-aprovecha-10-potencial-continente/>

2.1 La cuenca del Nilo (Egipto, Etiopía y Sudán)

De todos los proyectos hidroeléctricos que se están desarrollando en el continente africano, destaca, por su magnitud, la Gran Presa del Renacimiento (GERD, por sus siglas en inglés). Las negociaciones en las que participan Etiopía, Sudán y Egipto sobre este proyecto etíope ejemplifican las dificultades asociadas con la gestión eficaz de los recursos hídricos compartidos.

La Gran Presa del Renacimiento Etíope se encuentra en el afluente del Nilo Azul en las tierras altas del norte de Etiopía, desde donde fluye el 85 % de las aguas del Nilo. Se encuentra a treinta kilómetros al sur de la frontera con Sudán y es el proyecto de represa hidroeléctrica más grande de África. Tiene una longitud de unos 1780 m de largo y 145 m de altura⁷⁵.

Con este proyecto, Etiopía duplicar la producción de electricidad para poder proporcionar suministro al 60 % de la población que actualmente carece de ella y también proporcionar a las empresas un suministro constante eléctrico para impulsar el desarrollo. Además, también podría proporcionar electricidad a países vecinos como Sudán, Sudán del Sur, Kenia, Yibuti y Eritrea⁷⁶.

A pesar de estar aguas abajo, Egipto ha sido la potencia hidrohegemónica del Nilo. Prácticamente todo el consumo de agua dulce de Egipto depende del Nilo, tanto para el consumo de la población como para su producción agrícola. Además, el agua del Nilo también se utiliza para la producción de electricidad gracias al desarrollo de proyectos hidroeléctricos entre los que destaca la presa alta de Asuán.

La represa ha sido una fuente de desacuerdo entre Egipto, Sudán y Etiopía desde que comenzó su construcción en 2011. Los tratados de 1929 y de 1959 otorgaban a Egipto y Sudán derechos sobre el agua del Nilo con posibilidad de vetar proyectos de países río arriba —como Etiopía— si se consideraba que dichos proyectos podrían privarles de su cuota de agua.

Antes de comenzar la construcción de la presa, Etiopía manifestó su desacuerdo con los tratados firmados vigentes al considerarlo

⁷⁵ Véase: <https://www.webuildgroup.com/en/projects/dams-hydroelectric-plants/grand-ethiopian-renaissance-dam-project/>

⁷⁶ Véase: <https://climate-diplomacy.org/magazine/conflict/politics-grand-ethiopian-renaissance-dam>



Figura 8. Cuenca del Nilo. Fuente: CC BY-SA 4.0

antiguos e injustos, máxime cuando impedían el desarrollo económico y el acceso de la electricidad a gran parte de su población⁷⁷.

Egipto, Sudán y Etiopía firmaron un nuevo tratado en 2015. Sin embargo, las conversaciones sobre cómo Etiopía debía utilizar el agua del Nilo para llenar la presa se han roto en múltiples ocasiones. Desde entonces, el riesgo de aparición de un conflicto armado originado por las discrepancias por el funcionamiento de la presa se mantiene moderado.

La presa comenzó a construirse en 2017, justo cuando tenían lugar la Primavera Árabe con el consecuente ambiente de inestabilidad política en Egipto. Estados Unidos intervino en 2019, para tratar de llegar a un acuerdo entre Egipto y Etiopía, pero con poco éxito.

Las partes no solo no pueden ponerse de acuerdo sobre un resultado, sino que ni siquiera coinciden en el método de mediación. Egipto prefiere internacionalizar la cuestión, mientras que Etiopía prefiere la mediación de la Unión Africana. Egipto y Sudán, quieren un acuerdo legalmente vinculante que tenga un impacto en la forma en que Etiopía llena la presa en tiempos de sequía. Etiopía considera que la propuesta es inaceptable.

A Egipto también le preocupa que, en tiempos de sequía, Etiopía pueda llenar de agua el embalse para aumentar su capacidad de generación eléctrica, en lugar de dejar que fluya río abajo. Sin un acuerdo, Etiopía podría adoptar un enfoque que maximice la generación de electricidad después de las sequías, recuperando primero el almacenamiento, lo que sería desfavorable. Por lo que respecta a Sudan y a pesar de que también es un país afectado por los niveles de agua en el Nilo como Egipto, su respuesta a la represa se ha visto limitada por el conflicto en el país.

Para Etiopía, la GERD es mucho más que un proyecto hidroeléctrico: es el logro de tener un mayor protagonismo regional y peso geopolítico en la zona. La GERD ha supuesto un coste de 4700 millones de dólares, lo que supone el 7 % de su país (Matthews, 2023). Para financiar la construcción de la represa, el Gobierno ha recurrido al *crowdfunding* para vender bonos, rechazando la ayuda financiera de El Cairo para garantizar el 100 % de la propiedad, pero aceptando fondos de China para cubrir la

⁷⁷ Véase: <https://www.dw.com/en/how-could-ethiopias-dam-dispute-escalate/a-66798628>

inversión en equipos de generación de electricidad asociados⁷⁸. La construcción de la presa del Renacimiento es probable que finalice en septiembre de 2025⁷⁹.

La acción unilateral de Etiopía de continuar con el funcionamiento de la presa ha provocado un aumento de la tensión regional y una mayor internalización del conflicto.

En primer lugar, la rivalidad entre Egipto y Etiopía se pone de manifiesto en el conflicto que vive Sudán. En la actual guerra civil sudanesa, Egipto, Eritrea, Sudán del Sur y Somalia apoyan al general Al Burhan, mientras que Etiopía y los Emiratos Árabes Unidos respaldan a su rival Hemedti.

En segundo lugar, mientras que Egipto busca el apoyo de los países de la Liga árabe al considerar que la seguridad hídrica de Egipto y Sudán es parte integral de la seguridad nacional árabe (Matthews, R., & Vivoda, V. (2023)). En contraposición, Etiopía prefiere que las disputas se lleven a cabo en el seno de la Unión Africana. El llamamiento a la mediación de la Unión Africana fue apoyado por China, que se había negado sistemáticamente a tomar partido y buscaba un delicado acto de equilibrio para proteger sus sustanciales inversiones tanto en Egipto como en Etiopía. Sin embargo, ni siquiera la UA, con el apoyo de China, han podido lograr que las dos partes llegaran a un acuerdo. Aunque las negociaciones tripartitas directas se han estancado, el Consejo de Seguridad de la ONU sigue alentando a los tres Estados a resolver la disputa.

En tercer lugar, la disputa por la GERD se enmarca en un contexto de intereses geopolíticos más amplios, en particular los de China y Estados Unidos, pero también los de Rusia.

Aunque todavía existen vías de cooperación y compromiso, sigue existiendo la posibilidad de un enfrentamiento militar. Egipto es una potencia militar importante en Oriente Medio, con una capacidad muy superior a la de Etiopía. Su escasez hídrica hace que cualquier disminución de su acceso a las aguas del Nilo pueda considerarse como una amenaza existencial, lo que supondría una justificación para la escalada bélica (Matthews, R., & Vivoda, V. (2023)).

⁷⁸ Véase: <https://www.disruptionbanking.com/2023/09/04/why-is-china-financing-the-grand-ethiopian-renaissance-dam-gerd>

⁷⁹ Véase: <https://www.egypttoday.com/Article/1/139164/Ethiopian-controversial-dam-to-be-inaugurated-by-September-2025-Abiy>

Una posibilidad que se contemplaba desde el comienzo de la construcción de la presa era su destrucción —idea apoyada hasta por el propio Trump⁸⁰—. Sin embargo, esta posibilidad parece descartada dado el nivel de llenado del embalse. Cualquier daño en la presa tendría consecuencias catastróficas, especialmente para Sudán.

El riesgo de algún tipo de intervención militar no es del todo descartable. Egipto podría considerar la posibilidad de llevar a cabo una operación de armas combinadas, tanto aéreas como terrestres, junto con sus aliados sudaneses. De hecho, los dos países han estado colaborando para fortalecer la capacidad militar mutua. En noviembre de 2020 y abril de 2021, llevaron a cabo ejercicios aéreos conjuntos denominados Águilas del Nilo, seguidos en mayo de 2021 por ejercicios militares conjuntos de tierra y aire, denominados Homat El-Nile⁸¹. Sin embargo, el estallido del conflicto interno en Sudán en la primavera de 2023 puede que haya desviado el centro de atención y los recursos para solucionar el problema dentro de sus fronteras en detrimento de su implicación en un conflicto por la presa del Renacimiento.

Actualmente, no hay un final claro a la vista, ni siquiera un camino claro hacia una resolución. En los próximos años, a medida que el GERD esté en pleno funcionamiento y las aguas del Nilo se vuelvan más susceptibles al cambio climático, la disputa podría ser aún más importante entre Egipto, Sudán y Etiopía y para la región en general⁸².

Ante el riesgo de conflicto armado, existen iniciativas que pretenden promover el uso sostenible y compartido del agua y la energía procedentes de la GERD. Por un lado, Etiopía podría, además de satisfacer su mercado interior, expandir sus exportaciones de electricidad en la región y convertirse en la «batería de la energía renovables de África Oriental (Matthews, 2023)». En cuanto a la gestión del agua, Egipto podría beneficiarse de la GERD, ya que, en lugar de almacenar agua en la presa de Asuán Alto, podría almacenarse río arriba en las tierras altas de Etiopía, donde la evaporación es menos intensa, lo que podría ahorrar cuatro

⁸⁰ Véase: <https://www.france24.com/en/live-news/20201023-trump-suggests-egypt-may-blow-up-ethiopia-dam>

⁸¹ Véase: <https://www.egypttoday.com/Article/1/100383/Egyptian-Sudanese-air-forces-hold-joint-exercises-dubbed-Nile-Eagles>

⁸² Véase: <https://climate-diplomacy.org/magazine/conflict/politics-grand-ethiopian-renaissance-dam>

millones de metros cúbicos de agua al año⁸³. Para ello, Egipto y Etiopía deberían firmar un acuerdo legalmente vinculante sobre la operación de la GERD que garantice el flujo continuo de agua a los estados río abajo⁸⁴.

Otra opción propuesta es reducir la capacidad del embalse para garantizar que tanto Sudán como Egipto van a disponer de la suficiente cantidad de agua. La diferencia se puede compensar a través del fomento de otros proyectos de energía renovables, como la solar o la eólica que también tienen un importante potencial de expansión en Etiopía, e incluso Egipto estaría dispuesto a ofrecer su apoyo⁸⁵.

Las propuestas para la gestión de la cuenca del Nilo y de la GERD para evitar el conflicto son variadas y son objeto de estudio desde el punto de vista de las interdependencias entre los ríos y los sistemas energéticos. Esta aproximación puede ayudar a los responsables de la toma de decisiones a encontrar soluciones prácticas multisectoriales para compartir los beneficios (Etichia, 2024).

3 Oriente Medio

Oriente Medio es una de las regiones con mayor escasez de agua del mundo, con un promedio anual de recursos hídricos per cápita de quinientos cincuenta metros cúbicos. Esto es la mitad del umbral de mil metros cúbicos per cápita para la escasez de agua según el Índice de Estrés Hídrico de la ONU⁸⁶.

Aunque los combustibles fósiles han configurado las relaciones geopolíticas en la región, el agua también ha sido un recurso natural que ha influido en el desarrollo de los conflictos que se viven en la zona y tendrá aún un mayor protagonismo por la situación de estrés hídrico que se esperan en la región.

3.1 Tigris y Éufrates (Turquía, Siria, Irak)

El río Éufrates nace en Turquía y sus aguas recorren parte de los territorios de Turquía, Siria e Irak. La cuenca del Tigris, el

⁸³ Véase: <https://natoassociation.ca/the-ethiopian-dam-and-its-impact-on-egypt-and-sudan/>

⁸⁴ Véase: <https://www.newarab.com/analysis/could-nile-dam-dispute-between-egypt-and-ethiopia-escalate>

⁸⁵ Véase: <https://www.dailynewsegypt.com/2023/07/26/renewable-energy-could-offer-a-win-win-solution-for-gerd-crisis/>

⁸⁶ Véase: <https://iraq.un.org/en/229713-finding-institutional-solutions-water-scarcity-mena>

la gestión de las aguas de la cuenca⁹⁰. Ni Turquía ni Irán han firmado la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho de los Usos de los Cursos de Agua Internacionales para Fines Distintos de la Navegación, de 1997, por lo que no están obligados a cumplir con derecho internacional en relación con la gestión de las cuencas transfronterizas⁹¹.

Durante la última década del siglo xx, el Gobierno turco construyó múltiples represas en los ríos Tigris y Éufrates como parte del Proyecto del Sudeste de Anatolia (GAP), que se considera uno de los proyectos de desarrollo económico de Turquía. Aunque el objetivo de este proyecto era aumentar la superficie agrícola y proporcionar energía hidroeléctrica⁹², su puesta en marcha ha provocado rivalidades y ha condicionado el desarrollo de los conflictos que se viven en la zona, especialmente en Siria e Iraq.

El caudal del Éufrates hacia Siria depende del agua liberada de la presa de Ataturk. Según el acuerdo de 1987 firmado entre Turquía, Siria e Irak bajo los auspicios de las Naciones Unidas, la parte de Siria en el río Éufrates tendría que ser de 500 m³/s, sin embargo, desde hace unos dos años, Turquía ha detenido el flujo de la cantidad de agua acordada⁹³.

En el río Tigris, la presa de Llisu también ha reducido el suministro de agua de Iraq en un 34 %⁹⁴, e incluso se han producido tormentas de arena en Irak debido a la escasez de agua⁹⁵. La construcción de esta presa se inició en 2006 como parte del Proyecto del Sudeste de Anatolia y su diseño estuvo rodeado de una gran polémica, ya que la ciudad de Hasankeyf —de 12 000 años de antigüedad— quedaría sumergida por completo provocando los desplazamientos de población y una importante pérdida cultural⁹⁶.

La presa de Llisu fue inaugurada en 2021 y con ella el Gobierno turco pretende suministrar un 4 % de la electricidad⁹⁷ en una

⁹⁰ Véase: <https://climate-diplomacy.org/case-studies/turkey-syria-and-iraq-conflict-over-euphrates-tigris>

⁹¹ Véase: <https://shafaq.com/en/Report/Water-War-looms-in-the-Middle-East-horizon>

⁹² Véase: https://www.researchgate.net/figure/The-dams-in-the-Euphrates-River-DSI-2015_fig2_303745464

⁹³ Véase: <https://npasyria.com/en/105448/>

⁹⁴ Véase: <https://es.euronews.com/2021/11/07/erdogan-inaugura-la-central-hidroelectrica-de-ilisu-la-megapresa-del-rio-tigris-en-turquia>

⁹⁵ Véase: <https://arvak.am/en/turkey-iraq-will-the-water-conflict-be-over/>

⁹⁶ Véase: <https://e360.yale.edu/features/turkeys-dam-building-sprees-continues-at-steep-ecological-cost>

⁹⁷ Véase: <https://es.euronews.com/2021/11/07/erdogan-inaugura-la-central-hidroelectrica-de-ilisu-la-megapresa-del-rio-tigris-en-turquia>

apuesta para fomentar las energías bajas en carbono⁹⁸. Sin embargo, en 2022 se observó una disminución del caudal del 60 % de los ríos Éufrates y Tigris en comparación con 2021, lo que condujo a que Irak amenazara con poner fin a las relaciones económicas y a los intercambios comerciales con Turquía⁹⁹.

Según el estudio realizado por Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la disponibilidad de agua en Irak disminuirá alrededor de un 20 % para 2050, amenazando la estabilidad a largo plazo de los sectores agrícola e industrial¹⁰⁰. En la actualidad, las reservas de agua de Irak están en su nivel más bajo en ochenta años después de una temporada de lluvias seca¹⁰¹.

Por lo tanto, la adecuada gestión del agua es clave para evitar una escalada de inestabilidad en la región. Cada vez hay más conciencia de que la colaboración es necesaria dado el estrés hídrico extremo que están experimentando naciones como Turquía, Siria e Irak. Tras años de confrontaciones por los recursos hídricos, en la actualidad existen más posibilidades de que se resuelva las disputas sobre los ríos Tigris y Éufrates. En abril de 2024, durante la visita que Erdogan realizó a Iraq se firmó el Acuerdo Marco entre el Gobierno de la República de Irak y la República de Turquía sobre Cooperación en el Ámbito del Agua¹⁰². Este acuerdo no se refiere a la gestión de los recursos hídricos por parte de Turquía, sino más bien a inversiones conjuntas destinadas a la utilización de los recursos hídricos dentro de las fronteras del Iraq y a la mejora de la infraestructura existente, así como del establecimiento de plantas de tratamiento de agua para usar el agua de manera eficiente y el tratamiento de aguas residuales y su uso para riego¹⁰³.

Estos contactos diplomáticos recientes indican que está dispuesto a llegar a acuerdos prácticos, haciendo hincapié en las ventajas para ambas partes, como los planes de distribución del agua y las

⁹⁸ Véase: <https://e360.yale.edu/features/turkeys-dam-building-sprees-continues-at-steep-ecological-cost>

⁹⁹ Véase: <https://hwarnews.com/es/167821764022862>

¹⁰⁰ Véase: <https://unsdg.un.org/latest/stories/call-action-building-sustainable-efficient-and-climate-resilient-agrifood-system>

¹⁰¹ Véase: <https://thepeninsulaqatar.com/article/25/05/2025/iraqs-water-reserves-lowest-in-80-years-official>

¹⁰² Véase: <https://www.rudaw.net/english/middleeast/iraq/220420244>

¹⁰³ Véase: <https://anlatilaninotesi.com.tr/20240425/turkiye-irak-arasinda-su-sorunu-nasil-cozulecek-1083148983.html>

iniciativas de cooperación en materia de infraestructura. Irak ha tomado la iniciativa en sus esfuerzos de mediación, lo que indica un movimiento hacia la cooperación y tal vez el establecimiento de un estándar para la futura gestión del agua en la zona. Si esta actitud colaborativa persiste, puede abrir la puerta a una gobernanza del agua más eficiente y duradera, mitigando los efectos adversos de la escasez de agua en Oriente Medio¹⁰⁴.

3.2 Afluentes del Tigris y el río Chat al-Arab (Irán e Iraq)

Irán e Irak están frecuentemente en desacuerdo por cuestiones de agua. Como resultado de las acciones de Irán, los caudales del Sirwan y del Pequeño Zab, ambos afluentes del río Tigris, han disminuido significativamente¹⁰⁵. Esta disminución ha acelerado el proceso de degradación de la tierra y el medioambiente, en



Figura 10. Localización del río Chat al-Arab. Fuente: elaboración propia

¹⁰⁴ Véase: <https://trendsresearch.org/insight/hydropolitics-and-water-disputes-in-the-mena-region/>

¹⁰⁵ Véase: <https://www.dw.com/en/dam-building-projects-could-fuel-water-stress-in-middle-east/a-55169989>

particular en las marismas¹⁰⁶. Por ejemplo, la presa de Kolsa, en la región iraní de Sardasht, ha provocado una caída del 80 % en los niveles de agua en el Pequeño Zab¹⁰⁷.

La historia del agua compartida entre Irak e Irán difiere de la situación con Turquía. Los dos países firmaron un acuerdo en 1975 para compartir el agua conjunta, conocido como el Acuerdo de Argel, sobre la frontera compartida del río Chat al-Arab. Sin embargo, después de la guerra que estalló entre los dos países, el expresidente iraquí Saddam Hussein se retiró del acuerdo en 1980, considerando que las aguas de Chat al-Arab pertenecían en su totalidad a Irak. Esta justificación es la que Irán utiliza hoy para no adherirse a la concesión de las cuotas de agua de Irak. Aunque la cantidad de agua que proporciona Irán a Irak es mucho menor que la que le proporciona Turquía, la crisis con Irán es más compleja¹⁰⁸.

El Chat al-Arab se forma por la confluencia de los ríos Tigris y Éufrates en la ciudad de al-Qurnah, en la provincia de Basora. Con unos doscientos kilómetros de longitud, el río desemboca en el golfo Pérsico en Faw, el punto más meridional de Irak. El río representa una importante arteria económica para Iraq, ya que sirve de canal de navegación para los buques que se dirigen a los puertos de Basora a través del golfo Pérsico¹⁰⁹. Además, dado el clima árido de esta parte de Oriente Medio, el agua del río es crucial para la agricultura.

A lo largo de los años, Irán ha represado el río Karun, un afluente del río Chat al-Arab en el sur de Irak, así como en los ríos que desembocan en la región del Kurdistán. Estas presas agravan los problemas de escasez de agua de Irak y se unen a los otros desafíos a los que se enfrenta el país para su seguridad hídrica, como son los originados también por la construcción de presas en Turquía, los bajos niveles de precipitación debido al cambio climático, la mala gestión del agua y la contaminación¹¹⁰.

Con Turquía e Irán controlando la mayoría de los recursos hídricos de la región, el Gobierno Federal iraquí y el Gobierno Regional del Kurdistán (GRK) GRK tienen opciones mínimas para mejorar el

¹⁰⁶ Véase: <https://1001iraqithoughts.com/2024/03/08/water-stress-threatens-national-security-in-iraq/>

¹⁰⁷ Véase: <https://www.mei.edu/publications/water-scarcity-could-lead-next-major-conflict-between-iran-and-iraq>

¹⁰⁸ Véase: <https://shafaq.com/en/Report/Water-War-looms-in-the-Middle-East-horizon>

¹⁰⁹ Véase: <https://savethetigris.org/will-iraq-lose-its-benefits-from-shatt-al-arab-river-to-iran/>

¹¹⁰ Véase: <https://www.rudaw.net/english/middleeast/iraq/290420242>

acceso al agua a nivel nacional. Estas autoridades han desarrollado diferentes estrategias para hacer frente a la creciente escasez de agua. Sin embargo, estas se complican por la deficiente infraestructura hídrica y los insostenibles sistemas de riego¹¹¹. Para hacer frente a estos desafíos, actores externos, en particular China, están desempeñando un papel cada vez más importante en el futuro de la seguridad hídrica iraquí¹¹². Para Irak el agua es una herramienta geopolítica utilizada tanto por Irán como por Turquía y considera que los proyectos de represas son esencialmente proyectos políticos¹¹³.

Conclusiones

Los países están respondiendo cada vez más a los desafíos relacionados con la seguridad hídrica, alimentaria y energética mediante la construcción de presas y embalses, y el desvío de agua de una zona a otra. La planificación, el desarrollo y la gestión de las represas en las cuencas transfronterizas deben regirse de manera eficaz y cooperativa para garantizar que se limiten los impactos ambientales y socioeconómicos negativos, y que se mitigue cualquier conflicto potencial.

A pesar de las crecientes tensiones entre los Estados, los conflictos armados por el agua dulce transfronteriza han sido relativamente limitados hasta la fecha. Sin embargo, las crecientes necesidades de agua y la disminución de los suministros, el cambio climático, los cambios en las prioridades ambientales y de desarrollo están tensando las relaciones hidroeléctricas transfronterizas. Cuando el agua pertenece a un sistema fluvial internacional, estas medidas pueden conducir a un conflicto ribereño interestatal.

Si bien las preocupaciones sobre la escasez de agua pueden provocar conflictos interestatales, también pueden desempeñar un papel importante en la construcción de la cooperación.

Debe reconocerse la necesidad de llegar a acuerdos viables para evitar un conflicto importante por el agua. En todo el mundo, la única manera de combatir las crecientes fricciones es crear y respetar marcos vinculantes y mutuamente aceptables con todos los vecinos, ya sea bilateral o multilateralmente, teniendo presente el derecho internacional. Sin embargo, a falta de estos acuerdos,

¹¹¹ Véase: <https://www.kurdishpeace.org/policy/dams-are-not-the-solution-to-water-scarcity-in-iraqi-kurdistan/>

¹¹² Véase: <https://www.thinkchina.sg/economy/can-china-save-iraq-its-water-crisis>

¹¹³ Véase: <https://shafaq.com/en/Report/Water-War-looms-in-the-Middle-East-horizon>

los países podrían utilizar sus recursos energéticos como moneda de cambio para establecer una simbiosis de intereses que reduzcan la tensión de los conflictos por el agua.

En cualquier caso, la negociación es el único camino viable para evitar una mayor escalada y garantizar la estabilidad regional en las cuencas internacionales compartidas.

Bibliografía

- Etichia, M., Basheer, M., Bravo, R. *et al.* (2024). Energy trade tempers Nile water conflict. *Nat Water*. 2, pp. 337-349. DOI: <https://doi.org/10.1038/s44221-024-00222-9>
- FAO and AWP. (2023). *Managing water scarcity in Asia and the Pacific - A Summary: Trends, experiences, and recommendations for a resilient future*. Rome and Canberra. DOI: <https://doi.org/10.4060/cc6083en>
- IAE. (2024). *Renewables 2024. Analysis and forecast to 2030* [en línea]. IEA. [Consulta: 27 junio 2025]. Disponible en: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/17033b62-07a5-4144-8dd0-651cdb6caa24/Renewables2024.pdf>
- IRENA. (2023). *The changing role of hydropower: Challenges and opportunities* [en línea]. IRENA. [Consulta: 27 junio 2025]. Disponible en: <https://www.irena.org/Publications/2023/Feb/The-changing-role-of-hydropower-Challenges-and-opportunities>
- Kocatepe, D. (2024). The Helmand River water dispute between Iran and Afghanistan: Historical background, potential risks and proposed solutions. *KAUJESF*. 15(29), pp. 308-333.
- Matthews, R. y Vivoda, V. (2023). «Water Wars»: strategic implications of the grand Ethiopian Renaissance Dam. *Conflict, Security & Development*. 23(4), pp. 333-366. DOI: <https://doi.org/10.1080/14678802.2023.2257137>
- OECD. (2021). *The use and management of water resources in Central Asia. A consultation on future directions* [en línea]. OECD. [Consulta: 27 junio 2025]. Disponible en: <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/programmes/water-energy-land-use-linkages/policy-perspectives-use-management-water-resources-central-asia.pdf>
- UN WATER. (2024). *UN World Water Development 2024* [en línea]. UN WATER. [Consulta: 27 junio 2025]. Disponible en: <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2024>

Componentes del Grupo de Trabajo

- Presidente:* **D. Alfonso Muñoz Martín**
Decano facultad de CC Geológicas. Universidad Complutense de Madrid (UCM).
- Vocal y coordinadora:* **Dña. María del Mar Hidalgo García**
Analista principal del Instituto Español de Estudios Estratégicos.
- Vocales:* **D. Javier del Valle Melendo**
Doctor en Geografía. Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza.
- D. Jesús Mateos Robledo**
Responsable de Instalaciones de Red. Área Conservación Sierra Norte. Canal de Isabel II.
- Dña. Esperanza Montero González**
Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.
- D. Jaime Lancho Cenamor**
Teniente coronel del Ejército de Tierra. Jefe del Departamento de Técnica Militar de Ingenieros. DIEN, Academia de Ingenieros del Ejército.

D. Pedro Martínez Santos

Catedrático de Universidad. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

D. Víctor Gómez-Escalonilla

Área de Geodinámica Externa. Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

D. Alberto Cique Moya

Coronel veterinario del Cuerpo Militar de Sanidad. Jefatura Conjunta de Sanidad, Estado Mayor Conjunto. Académico de número de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de España.

Cuadernos de Estrategia

- 01 La industria alimentaria civil como administradora de las FAS y su capacidad de defensa estratégica
- 02 La ingeniería militar de España ante el reto de la investigación y el desarrollo en la defensa nacional
- 03 La industria española de interés para la defensa ante la entrada en vigor del Acta Única
- 04 Túnez: su realidad y su influencia en el entorno internacional
- 05 La Unión Europea Occidental (UEO) (1955-1988)
- 06 Estrategia regional en el Mediterráneo Occidental
- 07 Los transportes en la raya de Portugal
- 08 Estado actual y evaluación económica del triángulo España-Portugal-Marruecos
- 09 Perestroika y nacionalismos periféricos en la Unión Soviética
- 10 El escenario espacial en la batalla del año 2000 (I)
- 11 La gestión de los programas de tecnologías avanzadas
- 12 El escenario espacial en la batalla del año 2000 (II)
- 13 Cobertura de la demanda tecnológica derivada de las necesidades de la defensa nacional
- 14 Ideas y tendencias en la economía internacional y española
- 15 Identidad y solidaridad nacional

- 16 Implicaciones económicas del Acta Única 1992
- 17 Investigación de fenómenos belígenos: método analítico factorial
- 18 Las telecomunicaciones en Europa, en la década de los años 90
- 19 La profesión militar desde la perspectiva social y ética
- 20 El equilibrio de fuerzas en el espacio sur europeo y mediterráneo
- 21 Efectos económicos de la unificación alemana y sus implicaciones estratégicas
- 22 La política española de armamento ante la nueva situación internacional
- 23 Estrategia finisecular española: México y Centroamérica
- 24 La Ley Reguladora del Régimen del Personal Militar Profesional (cuatro cuestiones concretas)
- 25 Consecuencias de la reducción de los arsenales militares negociados en Viena, 1989. Amenaza no compartida
- 26 Estrategia en el área iberoamericana del Atlántico Sur
- 27 El Espacio Económico Europeo. Fin de la Guerra Fría
- 28 Sistemas ofensivos y defensivos del espacio (I)
- 29 Sugerencias a la Ley de Ordenación de las Telecomunicaciones (LOT)
- 30 La configuración de Europa en el umbral del siglo XXI
- 31 Estudio de «inteligencia operacional»
- 32 Cambios y evolución de los hábitos alimenticios de la población española
- 33 Repercusiones en la estrategia naval española de aceptarse las propuestas del Este en la CSBM, dentro del proceso de la CSCE
- 34 La energía y el medio ambiente
- 35 Influencia de las economías de los países mediterráneos del norte de África en sus respectivas políticas de defensa
- 36 La evolución de la seguridad europea en la década de los 90
- 37 Análisis crítico de una bibliografía básica de sociología militar en España. 1980-1990
- 38 Recensiones de diversos libros de autores españoles, editados entre 1980-1990, relacionados con temas de las Fuerzas Armadas
- 39 Las fronteras del mundo hispánico
- 40 Los transportes y la barrera pirenaica
- 41 Estructura tecnológica e industrial de defensa, ante la evolución estratégica del fin del siglo XX
- 42 Las expectativas de la I+D de defensa en el nuevo marco estratégico

- 43 Costes de un ejército profesional de reclutamiento voluntario. Estudio sobre el Ejército profesional del Reino Unido y (III)
- 44 Sistemas ofensivos y defensivos del espacio (II)
- 45 Desequilibrios militares en el Mediterráneo Occidental
- 46 Seguimiento comparativo del presupuesto de gastos en la década 1982-1991 y su relación con el de Defensa
- 47 Factores de riesgo en el área mediterránea
- 48 Las Fuerzas Armadas en los procesos iberoamericanos de cambio democrático (1980-1990)
- 49 Factores de la estructura de seguridad europea
- 50 Algunos aspectos del régimen jurídico-económico de las FAS
- 51 Los transportes combinados
- 52 Presente y futuro de la conciencia nacional
- 53 Las corrientes fundamentalistas en el Magreb y su influencia en la política de defensa
- 54 Evolución y cambio del este europeo
- 55 Iberoamérica desde su propio sur. (La extensión del Acuerdo de Libre Comercio a Sudamérica)
- 56 La función de las Fuerzas Armadas ante el panorama internacional de conflictos
- 57 Simulación en las Fuerzas Armadas españolas, presente y futuro
- 58 La sociedad y la defensa civil
- 59 Aportación de España en las cumbres iberoamericanas: Guadalajara 1991-Madrid 1992
- 60 Presente y futuro de la política de armamentos y la I+D en España
- 61 El Consejo de Seguridad y la crisis de los países del Este
- 62 La economía de la defensa ante las vicisitudes actuales de las economías autonómicas
- 63 Los grandes maestros de la estrategia nuclear y espacial
- 64 Gasto militar y crecimiento económico. Aproximación al caso español
- 65 El futuro de la Comunidad Iberoamericana después del V Centenario
- 66 Los estudios estratégicos en España
- 67 Tecnologías de doble uso en la industria de la defensa
- 68 Aportación sociológica de la sociedad española a la defensa nacional
- 69 Análisis factorial de las causas que originan conflictos bélicos
- 70 Las conversaciones internacionales Norte-Sur sobre los problemas del Mediterráneo Occidental

- 71 Integración de la red ferroviaria de la península ibérica en el resto de la red europea
- 72 El equilibrio aeronaval en el área mediterránea. Zonas de irradiación de poder
- 73 Evolución del conflicto de Bosnia (1992-1993)
- 74 El entorno internacional de la Comunidad Iberoamericana
- 75 Gasto militar e industrialización
- 76 Obtención de los medios de defensa ante el entorno cambiante
- 77 La Política Exterior y de Seguridad Común (PESC) de la Unión Europea (UE)
- 78 La red de carreteras en la península ibérica, conexión con el resto de Europa mediante un sistema integrado de transportes
- 79 El derecho de intervención en los conflictos
- 80 Dependencias y vulnerabilidades de la economía española: su relación con la defensa nacional
- 81 La cooperación europea en las empresas de interés de la defensa
- 82 Los cascos azules en el conflicto de la ex-Yugoslavia
- 83 El sistema nacional de transportes en el escenario europeo al inicio del siglo XXI
- 84 El embargo y el bloqueo como formas de actuación de la comunidad internacional en los conflictos
- 85 La Política Exterior y de Seguridad Común (PESC) para Europa en el marco del Tratado de no Proliferación de Armas Nucleares (TNP)
- 86 Estrategia y futuro: la paz y seguridad en la Comunidad Iberoamericana
- 87 Sistema de información para la gestión de los transportes
- 88 El mar en la defensa económica de España
- 89 Fuerzas Armadas y sociedad civil. Conflicto de valores
- 90 Participación española en las fuerzas multinacionales
- 91 Ceuta y Melilla en las relaciones de España y Marruecos
- 92 Balance de las primeras cumbres iberoamericanas
- 93 La cooperación hispano-franco-italiana en el marco de la PESC
- 94 Consideraciones sobre los estatutos de las Fuerzas Armadas en actividades internacionales
- 95 La unión económica y monetaria: sus implicaciones
- 96 Panorama estratégico 1997/98
- 97 Las nuevas Españas del 98
- 98 Profesionalización de las Fuerzas Armadas: los problemas sociales

- 99 Las ideas estratégicas para el inicio del tercer milenio
- 100 Panorama estratégico 1998/99
- 100-B 1998/99 Strategic Panorama
- 101 La seguridad europea y Rusia
- 102 La recuperación de la memoria histórica: el nuevo modelo de democracia en Iberoamérica y España al cabo del siglo XX
- 103 La economía de los países del norte de África: potencialidades y debilidades en el momento actual
- 104 La profesionalización de las Fuerzas Armadas
- 105 Claves del pensamiento para la construcción de Europa
- 106 Magreb: percepción española de la estabilidad en el Mediterráneo, prospectiva hacia el 2010
- 106-B Maghreb: perception espagnole de la stabilité en Méditerranée, prospective en vue de L'année 2010
- 107 Panorama estratégico 1999/2000
- 107-B 1999/2000 Strategic Panorama
- 108 Hacia un nuevo orden de seguridad en Europa
- 109 Iberoamérica, análisis prospectivo de las políticas de defensa en curso
- 110 El concepto estratégico de la OTAN: un punto de vista español
- 111 Ideas sobre prevención de conflictos
- 112 Panorama Estratégico 2000/2001
- 112-B Strategic Panorama 2000/2001
- 113 Diálogo mediterráneo. Percepción española
- 113-B Le dialogue Méditerranéen. Une perception espagnole
- 114 Aportaciones a la relación sociedad - Fuerzas Armadas en Iberoamérica
- 115 La paz, un orden de seguridad, de libertad y de justicia
- 116 El marco jurídico de las misiones de las Fuerzas Armadas en tiempo de paz
- 117 Panorama Estratégico 2001/2002
- 117-B 2001/2002 Strategic Panorama
- 118 Análisis, estrategia y prospectiva de la Comunidad Iberoamericana
- 119 Seguridad y defensa en los medios de comunicación social
- 120 Nuevos riesgos para la sociedad del futuro
- 121 La industria europea de defensa: presente y futuro
- 122 La energía en el espacio euromediterráneo

Relación de Cuadernos de Estrategia

- 122-B L'énergie sur la scène euroméditerranéenne
- 123 Presente y futuro de las relaciones cívico-militares en Hispanoamérica
- 124 Nihilismo y terrorismo
- 125 El Mediterráneo en el nuevo entorno estratégico
- 125-B The Mediterranean in the New Strategic Environment
- 126 Valores, principios y seguridad en la comunidad iberoamericana de naciones
- 127 Estudios sobre inteligencia: fundamentos para la seguridad internacional
- 128 Comentarios de estrategia y política militar
- 129 La seguridad y la defensa de la Unión Europea: retos y oportunidades
- 130 El papel de la inteligencia ante los retos de la seguridad y defensa internacional
- 131 Crisis locales y seguridad internacional: El caso haitiano
- 132 Turquía a las puertas de Europa
- 133 Lucha contra el terrorismo y derecho internacional
- 134 Seguridad y defensa en Europa. Implicaciones estratégicas
- 135 La seguridad de la Unión Europea: nuevos factores de crisis
- 136 Iberoamérica: nuevas coordenadas, nuevas oportunidades, grandes desafíos
- 137 Irán, potencia emergente en Oriente Medio. Implicaciones en la estabilidad del Mediterráneo
- 138 La reforma del sector de seguridad: el nexo entre la seguridad, el desarrollo y el buen gobierno
- 139 Security Sector Reform: the Connection between Security, Development and Good Governance
- 140 Impacto de los riesgos emergentes en la seguridad marítima
- 141 La inteligencia, factor clave frente al terrorismo internacional
- 142 Del desencuentro entre culturas a la Alianza de Civilizaciones. Nuevas aportaciones para la seguridad en el Mediterráneo
- 143 El auge de Asia: implicaciones estratégicas
- 144 La cooperación multilateral en el Mediterráneo: un enfoque integral de la seguridad
- 145 La Política Europea de Seguridad y Defensa (PESD) tras la entrada en vigor del Tratado de Lisboa
- 145-B The European Security and Defense Policy (ESDP) after the entry into Force of the Lisbon Treaty
- 146 Respuesta europea y africana a los problemas de seguridad en África

- 146-B European and African Response to Security Problems in Africa
- 147 Los actores no estatales y la seguridad internacional: su papel en la resolución de conflictos y crisis
- 148 Conflictos, opinión pública y medios de comunicación. Análisis de una compleja interacción
- 149 Ciberseguridad. Retos y amenazas a la seguridad nacional en el ciberespacio
- 150 Seguridad, modelo energético y cambio climático
- 151 Las potencias emergentes hoy: hacia un nuevo orden mundial
- 152 Actores armados no estables: retos a la seguridad
- 153 Proliferación de ADM y de tecnología avanzada
- 154 La defensa del futuro: innovación, tecnología e industria
- 154-B The Defence of the Future: Innovation, Technology and Industry
- 155 La Cultura de Seguridad y Defensa. Un proyecto en marcha
- 156 El gran Cáucaso
- 157 El papel de la mujer y el género en los conflictos
- 157-B The role of woman and gender in conflicts
- 158 Los desafíos de la seguridad en Iberoamérica
- 159 Los potenciadores del riesgo
- 160 La respuesta del derecho internacional a los problemas actuales de la seguridad global
- 161 Seguridad alimentaria y seguridad global
- 161-B Food security and global security
- 162 La inteligencia económica en un mundo globalizado
- 162-B Economic intelligence in global world
- 163 Islamismo en (r)evolución: movilización social y cambio político
- 164 Afganistán después de la ISAF
- 165 España ante las emergencias y catástrofes. Las Fuerzas Armadas en colaboración con las autoridades civiles
- 166 Energía y Geoestrategia 2014
- 166-B Energy and Geostrategy 2014
- 167 Perspectivas de evolución futura de la política de seguridad y defensa de la UE. Escenarios de crisis
- 167-B Prospects for the future evolution of the EU's security and defence policy. Crisis scenarios
- 168 Evolución del mundo árabe: tendencias
- 169 Desarme y control de armamento en el siglo XXI: limitaciones al comercio y a las transferencias de tecnología

Relación de Cuadernos de Estrategia

- 170 El sector espacial en España. Evolución y perspectivas
- 171 Cooperación con Iberoamérica en materia de defensa
- 172 Cultura de Seguridad y Defensa: fundamentos y perspectivas de mejora
- 173 La internacional yihadista
- 174 Economía y geopolítica en un mundo globalizado
- 175 Industria Española de Defensa. Riqueza, tecnología y seguridad
- 176 Shael 2015, origen de desafíos y oportunidades
- 177 UE-EE.UU.: Una relación indispensable para la paz y la estabilidad mundiales
- 178 Rusia bajo el liderazgo de Putin. La nueva estrategia rusa a la búsqueda de su liderazgo regional y el reforzamiento como actor global
- 179 Análisis comparativo de las capacidades militares españolas con las de los países de su entorno
- 180 Estrategias para derrotar al DAESH y la reestabilización regional
- 181 América Latina: nuevos retos en seguridad y defensa
- 182 La colaboración tecnológica entre la universidad y las Fuerzas Armadas
- 183 Política y violencia: comprensión teórica y desarrollo en la acción colectiva
- 184 Una estrategia global de la Unión Europea para tiempos difíciles
- 185 Ciberseguridad: la cooperación público-privada
- 186 El agua: ¿fuente de conflicto o cooperación?
- 187 Geoeconomías del siglo XXI
- 188 Seguridad global y derechos fundamentales
- 189 El posconflicto colombiano: una perspectiva transversal
- 190 La evolución de la demografía y su incidencia en la defensa y seguridad nacional
- 190-B The evolution of demography and its impact on defense and national security
- 191 OTAN: presente y futuro
- 192 Hacia una estrategia de seguridad aeroespacial
- 193 El cambio climático y su repercusión en la Defensa
- 194 La gestión del conocimiento en la gestión de programas de defensa
- 195 El rol de las Fuerzas Armadas en operaciones posconflicto
- 196 Oriente medio tras el califato
- 197 La posverdad. Seguridad y defensa

- 198 Retos diversos a la seguridad. Una visión desde España
- 199 Gobernanza futura: hiperglobalización, mundo multipolar y Estados menguantes
- 200 Globalización e identidades. Dilemas del siglo XXI
- 201 Límites jurídicos de las operaciones actuales: nuevos desafíos
- 202 El SAHEL y G5: desafíos y oportunidades
- 203 Emergencias pandémicas en un mundo globalizado: amenazas a la seguridad
- 204 La dualidad económica Estados Unidos-China en el siglo XXI
- 205 La no proliferación y el control de armamentos nucleares en la encrucijada
- 206 Las ciudades: agentes críticos para una transformación sostenible del mundo
- 207 Repercusiones estratégicas del desarrollo tecnológico. Impacto de las tecnologías emergentes en el posicionamiento estratégico de los países
- 208 Los retos del espacio exterior: ciencia, industria, seguridad y aspectos legales
- 209 Minerales: una cuestión estratégica en el siglo XXI
- 210 Redes transeuropeas: vectores vertebradores de la España del siglo XXI
- 211 El futuro de la OTAN tras la Cumbre de Madrid 2022
- 211-B The future of NATO after the Madrid 2022 summit
- 212 China: el desafío de la nueva potencia global
- 213 El Mediterráneo: un espacio geopolítico de interés renovado
- 214 Terrorismo internacional: mutación y adaptación de un fenómeno global
- 215 La Unión Europea hacia la autonomía estratégica
- 215-B The European Union Towards Strategic Autonomy
- 216 Asia Central: de pivote a encrucijada
- 217 La amenaza biológica
- 218 El Ártico: la región para la colaboración (o las disputas)
- 219 Asia Oriental, la interdependencia como causa de conflicto
- 220 África: la ambición de las potencias sobre el continente
- 221 Irán en la encrucijada global
- 222 Crisis migratorias como elemento de coerción internacional
- 223 Retos y respuestas frente a la amenaza química
- 224 Geopolítica del poder militar

- 225 Potencias medias: transitando hacia un orden multipolar
- 226 La inteligencia artificial en la geopolítica y los conflictos
- 227 Geopolítica azul. Los océanos, espacios clave en el nuevo orden global
- 228 Política Común de Seguridad y Defensa de la UE. ¿Quo Vadis? Cómo entienden la PCSD las capitales europeas
- 228-B EU Common Security and Defense Policy. Quo Vadis? How European Capitals Understand CSDP
- 229 Panorama nuclear global
- 229-B Global Nuclear Panorama
- 230 India: claves en su ascenso a potencia global
- 230-B India: keys to its rise to global power
- 231 Los nuevos retos de seguridad y defensa en Iberoamérica ante los cambios globales
- 231-B New security and defence challenges in Ibero-America in the face of global changes
- 232 Panorama demográfico global: impacto de las migraciones y tendencias demográficas en el siglo XXI
- 232-B Global demographic outlook: impact of migration and demographic trends in the 21st century

