

SEGURIDAD HÍDRICA



JOAQUÍN MELGAREJO MORENO
M^a INMACULADA LÓPEZ ORTIZ
PATRICIA FERNÁNDEZ ARACIL

SEGURIDAD HÍDRICA

© los autores, 2023
© de esta edición: Universitat d'Alacant
ISBN: 978-84-1302-234-5

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etcétera-, sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual.

TABLA DE CONTENIDO

BLOQUE I - PLANIFICACIÓN

Consideraciones ambientales con relación a la aprobación del Plan Hidrológico del Tajo de Tercer Ciclo 2022-2027 y el Traspase Tajo-Segura José Navarro Pedreño.....	19
Planificación Hidrológica: información, participación y evaluación ambiental estratégica Ángel Ruiz de Apodaca Espinosa	39
Representación espacio-temporal del riesgo de inundación a partir de las indemnizaciones del seguro de riesgos extraordinarios Francisco Espejo Gil, Urko Elozegi Gurmendi.....	59
La desalación en la estrategia de seguridad hídrica. Implicaciones económicas y ambientales Alberto del Villar García.....	73
La desalación en la provincia de Almería: garantía para el abastecimiento y el regadío Francisco Javier Alcántara Pérez	93
Mejorar la resiliencia ante las inundaciones en la Vega Baja (España). Propuesta didáctica en bachillerato Ángela del Carmen Zaragoza, Álvaro-Francisco Morote, María Hernández Hernández.....	105
Resignificando la ciudad como biotopo humano Javier Eduardo Parada Rodríguez, Liliana Romero Guzmán, Jesús Enrique De Hoyos Martínez	117
Gestión del agua y saneamiento básico en una reserva de desarrollo sostenible: comunidad de Nossa Senhora do Livramento do Tupé, Brasil Antonio Jorge Barbosa da Silva Maria Claudia da Silva Antunes de Souza	133
Proposición de una metodología para estimar la erosión del suelo en viticultura mediante ISUM (Improved Stock Unearthing Method). Un caso en el viñedo leonés Antonio Jódar-Abellán, Marta García-Fernández, Susana García-Pisabarro, Jesús Rodrigo-Comino	141
Estimación de la disponibilidad y seguridad hídrica bajo escenarios de cambio climático en una cuenca hidrológica agro-forestal del sureste de España Antonio Jódar-Abellán, Dámaris Núñez-Gómez, Efraín Carrillo-López, Ryan T. Bailey, Pablo Melgarejo	151
Determinación del umbral de escorrentía y disponibilidad hídrica de la cuenca hidrográfica del río Jubones, Ecuador Paolo Brazales Cervantes, Seyed Babak Haji Seyed Asadollah, Antonio Jódar-Abellán.....	163
Análisis del umbral de escorrentía de la cuenca del río Obispo, en la provincia del Carchi (Ecuador) Pablo David Viera Ríos, Derdour Abdessamed, Antonio Jódar-Abellán.....	175
El acuífero del Peñón (Alicante): un pequeño acuífero kárstico Víctor Sala Sala, José Miguel Andreu Rodes, Miguel Fernández Mejuto, Ernesto García Sánchez.....	185

¿Se observan cambios en la precipitación que afecten al Acuífero del Ventós (provincia de Alicante)?

José Miguel Andreu Rodes, Igor Gómez Domenech, Miguel Fernández-Mejuto, Juan Bellot Abad197

Revisión de las políticas de modernización de regadíos en la Comunidad Valenciana. La estrategia valenciana de regadíos 2020-2040

David Sancho-Vila, Marta García-Mollá207

El impacto del proyecto europeo ARSINOE en la gestión del acuífero de la isla de El Hierro (Canarias)

Juan C. Santamarta, Noelia Cruz-Pérez, Joselin S. Rodríguez-Alcántara, Alejandro García-Gil, Miguel Á. Marazuela, Carlos Baquedano, Jesica Rodríguez Martín, Luis Fernando Martín Rodríguez 219

BLOQUE II - INFRAESTRUCTURAS

Reutilización de aguas regeneradas en la cuenca del seguro. Adaptación al reglamento (UE) 2020/741: retos y oportunidades

Sonia M. Hernández López, José Carlos González Martínez231

Caracterización hidrológica de los caudales ecológicos mínimos en España

Luis Garrote de Marcos 249

Sobrevvertido en presas de hormigón. Evaluación de las acciones hidrodinámicas

Luis G. Castillo Elsitdié, José M. Carrillo Sánchez, Juan T. García Bermejo 269

Consideraciones sobre la estimación de hidrogramas de rotura de presas

Luis Altarejos García 295

La seguridad de las infraestructuras hidráulicas

Francisco Javier Flores Montoya315

La ordenación del territorio y la planificación hidrológica al servicio de la seguridad hidráulica y energética

Francisco Javier Flores Montoya325

La evolución de los servicios urbanos del agua en Madrid: un servicio de alta calidad

Ignacio Lozano Colmenarejo345

BALTEN: el agua regenerada como garantía de suministro de agua de riego en Tenerife

Ana Sánchez Espadas, Jesús Rodríguez Martí363

El sector del agua urbana frente a las nuevas exigencias legislativas para mantener la seguridad hídrica

Carmen Hernández de Vega, Alicia Ayuso Solís381

El abastecimiento de la ciudad de Ávila: retos y soluciones científico-técnicas

José Luis Molina González, Jorge Mongil Manso 399

El Consorcio de Aguas de la Marina Baja: un ejemplo de economía circular en la garantía del abastecimiento urbano ante el reto continuo de las sequías

Jaime Berenguer Ponsoda409

Gestión activa de sistemas de abastecimiento mediante el empleo de sistemas multiagente (MAS) para la sostenibilidad

Carlos Calatayud Asensi, José Vicente Berná Martínez, Vicente Javier Macián Cervera, Lucía Arnau Muñoz439

La gestión municipal del ciclo urbano del agua digitalizado

Rosa Rozas Torrente, M^a José Moya Llamas, Arturo Trapote Jaime451

Microsectorización dinámica redes de distribución de agua	
Arturo Albaladejo Ruiz.....	463
Uso de compuertas en redes de drenaje para reducir inundaciones	
Leonardo Bayas-Jiménez	477
Detección y monitoreo de aguas superficiales en la región semiárida brasileña a partir de datos orbitales de sensores remotos	
Izaias de Souza Silva.....	487

BLOQUE III - EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y JURÍDICA

La inseguridad hídrica del informe del Consejo Nacional del Agua sobre el recorte del travase Tajo-Segura	
Miguel Ángel Blanes Climent.....	499
El necesario impulso a las centrales hidroeléctricas reversibles como contribución a la seguridad energética nacional: algunas cuestiones jurídicas	
Estanislao Arana García	511
Políticas públicas para la mitigación del impacto del cambio climático sobre los aprovechamientos energéticos	
Jesús Conde Antequera	529
La legislación contra el cambio climático y la transición a una economía descarbonizada desde una doble perspectiva: ambiental y social	
José Esteve Pardo.....	549
Huella hídrica y financiación sostenible	
Domingo Zarzo Martínez, Mercedes Calzada Garzón, Patricia Terrero Rodríguez.....	559
¿Estamos sobreestimando los recursos de agua regenerada? Una ducha fría con la realidad hidro-económica	
Julio Berbel, Esther Díaz-Cano, Alfonso Expósito	577
Taxonomía de los instrumentos económicos aplicados para la gestión sostenible del agua	
Nazaret M ^a Montilla López, Esther Díaz-Cano y Julio Berbel.....	597
Seguridad hídrica y objetivos del PNIEC desde una perspectiva jurídica	
José Antonio Blanco Moa	613
SIAGES: un innovador sistema integrado de apoyo a la gestión del agua	
Alberto Esteban Barrera García, Álvaro Rodríguez García, Ramón Bella Piñeiro, Jose Pablo Ormaechea, Luis José Ruiz Aznar, Abel Solera Solera et al., Manuel Argamasilla Ruiz, Lupicino García Ortiz.....	631
Crisis energética y equilibrio económico financiero en la contratación pública	
Esteban Arimany Lamoglia	643
Garantía del abastecimiento en el Sureste español: la Mancomunidad de los Canales del Taibilla	
Patricia Fernández Aracil, M ^a Inmaculada López Ortiz, Joaquín Melgarejo Moreno.....	655
La evaluación de impacto ambiental de proyectos hidráulicos ¿lo estamos haciendo bien?	
Carlos Martín Cantarino.....	677

La seguridad energética y el autoconsumo fotovoltaico como herramienta para la seguridad hídrica	
Marcos García-López, Joaquín Melgarejo	695
Seguridad hídrica y equilibrio ecológico en el parque natural «El Hondo»: visión histórico-jurídica	
Francisco José Abellán Contreras	709
Los trasvases en tiempos de seguridad hídrica	
Paul Villegas Vega	723
Vulnerabilidad e incidencia de la pobreza hídrica en Alicante	
Ricardo Abad Coloma	735
Asequibilidad al agua urbana y pobreza hídrica en ciudades del Norte global: el caso de Alicante	
Luis E. Zapana Churata, Rubén A. Villar Navascués, María Hernández Hernández, Antonio M. Rico Amorós	745
Políticas públicas de ayudas para la mejora, modernización e innovación en el regadío de la Región de Murcia	
Ramón Martínez Medina, Encarnación Gil Meseguer, José María Gómez-Gil, José María Gómez Espín	759
O reflexo das <i>fake news</i> frente a crise ambiental: uma reflexão necessária nos dias atuais	
Aline Hoffmann, Liton Lanes Pilau Sobrinho	773
Apontamentos sobre o pagamento por serviços ambientais	
André Luiz Anrain Trentini	783
Constitucionalismo das águas – o “aguar” das constituições	
Luciana Pelisser Gottardi Trentini	795
Uso sustentável da água: uma definição a partir dos conceitos de segurança hídrica, de eficiência e de sustentabilidade	
Ana Luisa Schmidt Ramos, Alexandre Morais da Rosa	805
O regime de responsabilidade penal pela poluição hídrica no Brasil	
Jefferson Zanini, Luiz Antônio Zanini Fornerolli	815
Segurança hídrica e seu tratamento jurídico no o regime de responsabilidade penal pela poluição hídrica no Brasil e na Espanha	
Leandro Katscharowski Aguiar	827
Debatendo os ODS com base na sustentabilidade e no desenvolvimento sustentável.....	
Denise Schmitt Siqueira Garcia, Heloise Siqueira Garcia	837
A falta de efetividade no planejamento da segurança hídrica do Brasil	
Denise Schmitt Siqueira Garcia, Alexandre Waltrick Rates	851
Do constitucionalismo ao constitucionalismo global: por uma constituição mundial em defesa de bens fundamentais	
Vanessa Ramos Casagrande	863
A dessalinização da água como instrumento de segurança hídrica	
Anaxágora Alves Machado Rates	875
A canção dos oceanos	
Paola Fava Saikoski	885

Análise da lei de recursos hídricos à luz da responsabilidade do Brasil para com a sustentabilidade e a conscientização ambiental	
Adilor Danieli	895
Investigación sobre el río Amarillo en las dinastías Ming y Qing. Comentario sobre la Ley de protección del río Amarillo	
Yang Yang.....	907
Propuesta metodológica para la recolección del etnoconocimiento en la gestión del riesgo de desastre	
Isaleimi Quiguapumbo Valencia, Antonio Aledo Tur.....	919

BLOQUE IV - TECNOLOGÍAS

Nuevo sistema de riego con recuperación de agua y nutrientes	
Pablo Melgarejo, Dámaris Núñez-Gómez, Pilar Legua, Vicente Lidón, Agustín Conesa, Antonio Marhuenda, Juan José Martínez-Nicolás.....	933
Dinapsis: transformación digital para la gestión sostenible del agua y la salud ambiental	
María Tuesta San Miguel.....	953
Los contaminantes emergentes en la reforma de la directiva de aguas residuales	
Daniel Prats Rico.....	959
Fertirrigación y nuevas estrategias como garantía de seguridad hídrica en el regadío	
Alejandro Pérez Pastor y Elisa Pagán Rubio.....	985
La desalación y el hidrógeno	
Alejandro Zarzuela López.....	1005
Análisis regional de la reducción de boro en agua marina desalinizada para el riego agrícola en el sureste español	
Alberto Imbernón Mulero, José Francisco Maestre Valero, Saker Ben Abdallah, Victoriano Martínez Álvarez, Belén Gallego Elvira.....	1021
Impacto ambiental de la reducción del boro del agua de mar desalinizada para el riego en parcela	
Saker Ben Abdallah, Belén Gallego-Elvira, Alberto Imbernón-Mulero, Victoriano Martínez-Alvarez, José Francisco Maestre Valero.....	1031
Modelado cinético del consumo de CO₂ para la cepa Spirulina platensis	
Antonio F. Marcilla Gomis, Inmaculada Blasco López.....	1041
Empleo de filtro verde construido con residuos para reducir el contenido en fósforo en aguas de riego	
Teresa Rodríguez Espinosa, María Belén Almendro Candel, Ana Pérez Gimeno, Iliana Papamichael.....	1055
Tecnologías de oxidación avanzada para la degradación del fármaco carbamazepina: la ozonización	
María José Moya-Llamas, Marta Ferre Martínez, Elizabetha Domínguez Chabaliná, Arturo Trapote Jaime, Daniel Prats Rico.....	1067
Aprendizaje basado en proyectos colaborativos globales en formación profesional: banco de ensayos hidráulicos para la digitalización del agua	
Albert Canut Montalvã, Joaquín Martínez López, Maties Roma mayor, Antonio Oliva Sánchez.....	1079

Reutilización de agua para riego en la ciudad de Murcia. Proyecto LIFE CONQUER Eva Mena Gil, Simón Nevado Santos, Elena de Vicente Aguilar, Adriana Romero Lestido Benoît Fabien Claude Lefèvre.....	1091
Eliminación de microcontaminantes emergentes en lodos de depuradora mediante procesos de oxidación avanzada: peróxido de hidrógeno y ozono Clara Calvo Barahona, Adrián Rodríguez Montoya, María José Moya-Llamas, Arturo Trapote Jaume, Daniel Prats Rico.....	1103
Vigilancia y protección de las aguas superficiales mediante el proyecto WQeMS y los servicios del Copernicus Pablo Cascales de Paz, Eva Mena Gil, Isabel Hurtado Melgar, Laurent Pouget.....	1115
Tratamiento ecológico para la eutrofización y la anoxia en las masas de agua Ricardo Mateos-Aparicio Baixauli.....	1125
Modelado de descarga submarina de salmuera antes y después de la instalación de un difusor Silvano Porto Pereira, José Luís Sánchez-Lizaso, Paulo César Colonna Rosman. Ángel Loya, Iran Eduardo Lima Neto.....	1137
Las sequías en España en el siglo XXI: su influencia en la disminución y cierre de transferencias de agua del acueducto Tajo-Segura y de la conexión Negratín-Almanzora Encarnación Gil Meseguer, Ramón Martínez Medina, José María Gómez-Gil, José María Gómez Espín.....	1147

La gestión municipal del ciclo urbano del agua digitalizado

Rosa Rozas Torrente

rrt10@alu.ua.es

<https://orcid.org/0009-0002-2529-6410>

M^a José Moya Llamas

mjmoya@ua.es

<https://orcid.org/0000-0002-3461-6992>

Arturo Trapote Jaime

atj@ua.es

<https://orcid.org/0000-0003-2084-270X>

Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales,
Universidad de Alicante, España

RESUMEN

La seguridad hídrica de una población es el objetivo principal de la correcta gestión municipal de los servicios públicos y recursos naturales relacionados con el agua. El presente trabajo introduce como novedad un modelo de gestión circular del ciclo urbano del agua (CUA) digitalizado, o en vías de digitalización, integrando las aguas pluviales en la gestión. El trabajo se desarrolla bajo el enfoque del “gestor municipal” por ser obligación de los municipios ejercer las competencias propias en materia de abastecimiento de agua potable a domicilio y evacuación y tratamiento de aguas residuales. El principal objetivo de este trabajo es describir y modelizar el CUA mediante el diagrama de flujo de los caudales entrantes (inputs) y salientes (outputs) de los distintos elementos del sistema, constituyendo la base de la metodología que se ha de implementar para poder llevar a cabo una gestión municipal una vez digitalizado dicho ciclo. Estos caudales se caracterizarán no sólo desde un punto de vista cuantitativo (valores de los caudales), sino también cualitativo (contaminación: concentraciones y cargas contaminantes), todo ello desde el punto de vista de la sostenibilidad y el cumplimiento de normativas ambientales. Con la información obtenida se van a poder identificar tipos de comportamiento o tendencias de consumos y calidad del agua vertida, que van a permitir desarrollar teorías e hipótesis para obtener el análisis de comportamiento predictivo y la toma de decisiones acertadas.

1. OBJETO Y ALCANCE DEL TRABAJO

La demanda de agua a nivel mundial ha sufrido un aumento significativo en el último siglo, como consecuencia del crecimiento demográfico y del desarrollo económico y urbanístico. Además, este problema se ve agravado con el cambio climático y fenómenos meteorológicos extremos, que originan con mayor frecuencia períodos de sequías e inundaciones. Un ejemplo de ello lo encontramos en noticias de actualidad como la del 29 de marzo de 2023, publicada en el Diario Información: *“Alicante se seca: el Gobierno podría decretar la emergencia en abril. La provincia registra un 40% menos de precipitaciones entre octubre y marzo que en la media del periodo de 1991 a 2020”* (Pérez Gil, 2023).

Este escenario pone en riesgo la seguridad hídrica actual y futura, entendiendo por seguridad hídrica *«la capacidad de una población para salvaguardar a nivel de cuenca el acceso al agua en cantidades adecuadas y con la calidad apropiada para sostener la salud de la gente y de los ecosistemas, así como para asegurar la protección eficaz de vidas y bienes durante desastres hídricos (inundaciones, deslizamientos y hundimientos de terrenos y sequías»*. Esta definición es la facilitada por el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO, siendo la única aprobada por todos los Gobiernos (Jimenez-Cisneros, 2015; IMTA, 2018).

Con el fin de dar solución a esta amenaza y al resto de amenazas mundiales a las que nos enfrentamos, en 2015 se celebró la Asamblea General de las Naciones Unidas, en la que se adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos, fijando una nueva agenda de desarrollo sostenible con plazo horizonte el año 2030 para su logro, denominándose “Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” y estableciendo 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

El presente trabajo se enmarca en el “ODS 6. Agua Limpia y Saneamiento, para Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”, proponiendo mecanismos y herramientas técnicas para la consecución de las metas 6.3 y 6.5 del ODS 6. La meta 6.3 establece: *“de aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar, y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial”* (Pacto Mundial ONU, 2015). De forma paralela, la meta 6.5 marca: *“de aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza según proceda”*.

Así, este análisis constituye la base de una investigación en curso con la que se pretende establecer una metodología para la gestión del ciclo urbano del agua digitalizado en cualquier población, que sirva como instrumento de ayuda a la decisión y permita una gestión municipal más eficiente y sostenible de los servicios urbanos relacionados con el agua, lo cual cobra especial relevancia en aquellos municipios pequeños o medianos que dispongan de escasos recursos económicos y, en consecuencia, tecnológicos. La gestión del CUA digitalizado ayuda a los *stakeholders* y/o administraciones públicas y privadas, a tener un mayor control sobre el agua urbana, facilitando la detección de pérdidas o fugas en las redes de captación y distribución, y vertidos, lo que redundará en beneficio de la sociedad y del propio municipio y, a su vez, ayuda a mejorar la eficiencia de las redes para alcanzar el cumplimiento de los objetivos marcados en la agenda internacional denominada “Agenda 2030”.

2. CONCEPTOS PREVIOS

2.1. Ciclo urbano del agua (CUA)

Se define como ciclo urbano del agua (CUA), el conjunto de procesos por los que pasa el agua en las ciudades para su uso hasta la devolución al medio ambiente, incluyendo entre estos procesos, el modelo de gestión integral necesario para proporcionar garantías de suministro y calidad en cada una de las etapas.

Atendiendo a la definición proporcionada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en el CUA “se diferencian tres fases o etapas principales: abastecimiento, saneamiento y reutilización”, identificadas en la investigación en curso como subsistemas del ciclo integral del agua, que se analizan y estudian de forma detallada con su correspondiente diagrama de flujo.

2.2. Digitalización

La digitalización consiste en convertir información analógica procedente de un modelo original, físico y tangible, en información electrónica (bits), mediante el registro, transporte y almacenamiento de datos con la ayuda de dispositivos informáticos (adaptado de RAE, 2022).

El empleo de tecnologías digitales permite gestionar y monitorizar el ciclo completo del agua, desde su captación hasta su depuración y retorno al medio o su reutilización, creando un “gemelo digital”. Esto implica la utilización de herramientas digitales como sensores, medidores y sistemas de control que recopilan datos en tiempo real sobre el uso del agua, el consumo energético, las emisiones de gases de efecto invernadero y los principales parámetros relativos a la calidad del agua. Los datos obtenidos a través de la digitalización van a ser almacenados y analizados mediante herramientas informáticas especializadas que permitan identificar patrones y tendencias en el uso del agua. Para el estudio y análisis de estos datos, se lleva a cabo el empleo de algoritmos, entendiendo como algoritmo un “conjunto ordenado y finito de operaciones que permiten hallar la solución a un problema” (RAE, 2022).

2.3. PERTE

El Gobierno de España (2022), consciente de la importancia estratégica del agua y ante la necesidad de reforzar la respuesta sobre los efectos adversos del cambio climático, ha destinado fondos económicos a llevar a cabo el Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE) de Digitalización del ciclo del agua. Supone un desarrollo de la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible, dentro del ODS 6 sobre el acceso al agua de calidad, marcando como una de las metas a alcanzar para el 2030 la mejora del 10% en la eficiencia del uso del agua. Este PERTE incluye un conjunto de medidas transformadoras y facilitadoras que optimicen el potencial económico del sector y pongan fin a las ineficiencias detectadas, que muchas de ellas serán corregidas o eliminadas a través de la digitalización (*PERTE de digitalización del ciclo del agua*).

2.4. Gestión del CUA digitalizado

La gestión digitalizada del CUA es el conjunto de operaciones basadas en el empleo de herramientas informáticas que se implementan desde las administraciones públicas para permitir que el funcionamiento de dicho ciclo se lleve a cabo con las debidas garantías cualitativas y cuantitativas. Este cambio de paradigma supone la modernización de la gestión integral del recurso hídrico, permitiendo disponer de datos a tiempo real, recopilar datos precisos sobre su consumo, calidad, tratamiento y vertidos, así como poder analizar dicha información.

En España, la gestión de los servicios del agua es competencia de los municipios conforme a la Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local, de acuerdo con lo establecido en su apartado relativo a: Competencias, artículo 25, apartado 2.c. El Municipio ejercerá en todo caso como competencias propias, en los términos de la legislación del Estado y de las Comunidades Autónomas, en materia de abastecimiento de agua potable a domicilio y evacuación y tratamiento de aguas residuales. Atendiendo al artículo 26 de dicha Ley, en los municipios de población inferior a 20.000 habitantes será la Diputación provincial o entidad equivalente quien coordine la prestación de estos servicios (Gobierno de España, 1985).

La gestión municipal de los servicios de agua potable y saneamiento se ha llevado a cabo hasta la actualidad de forma independiente, sin cruzar la información obtenida de la explotación de los mismos. Este es el resultado de la dificultad de obtención de datos que, en muchos casos, se obtienen con anotaciones y lectura manuales, y de la forma de explotación de los servicios, ya que suele realizarse por distintas empresas que, incluso, suelen ser de la competencia.

La figura del gestor municipal adquiere una importancia relevante y necesaria en esta nueva gestión del CUA digitalizado, siendo el agente integrador de todos los servicios relacionados con el agua y teniendo como principal misión la de velar por una correcta gestión hídrica. La ventaja que ofrece que dicha gestión se lleve a cabo por un “gestor municipal” es que va a tener una visión global y objetiva, al no existir intereses comerciales en el desarrollo de su trabajo, por no pertenecer a la empresa privada, a diferencia de las empresas explotadoras que, si bien, velan por dar un servicio con las máximas garantías de cantidad y calidad, lo hacen por una contraprestación económica.

Como se ha indicado anteriormente, la Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local, establece las competencias municipales en materia de abastecimiento de agua potable a domicilio y evacuación y tratamiento de aguas residuales, dejando de lado la gestión de las aguas pluviales. En el desarrollo de la investigación en curso, se introduce como aspecto novedoso la inclusión de la gestión de las aguas pluviales en la gestión municipal de los servicios del agua con el objetivo principal de aumentar la seguridad hídrica.

2.5. Necesidad de gestionar el CUA digitalizado

Las normativas en materia de aguas están cambiando para que tengamos un nuevo concepto de visión global en la gestión de los servicios del agua y que esté basado en el modelo digital, siendo obligación de las Administraciones Públicas poner en marcha los mecanismos necesarios para lograr su cumplimiento.

El nuevo Real Decreto de modificación del actual Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por RD 849/1986 y del Reglamento de la Administración Pública del agua aprobado por RD 927/1988 (RDPH), es un ejemplo de este cambio normativo, presentando un enfoque diferente al que ha habido hasta ahora, ya que se implanta la obligatoriedad de englobar en el

ámbito de estudio del sistema depurativo el ciclo completo incluyendo: la cuenca hidrográfica, la superficie de escorrentía asociada, las características de los colectores, las infraestructuras de regulación, las estaciones depuradoras de aguas residuales y las características de las masas de agua receptoras. Respecto a estas últimas, tienen que cumplir el buen estado ecológico y químico para el año 2027 y, actualmente, el peso de contaminación por lluvias y escorrentías oscila entre el 20 y 40%; de ahí la necesidad de controlar los desbordamientos.

El nuevo RDPH obliga a definir cómo gestionar los puntos de vertido por desbordamientos de los sistemas de saneamiento (PVDSS) en episodios de lluvia, controlando no sólo las precipitaciones iniciales que producen un lavado de los contaminantes presentes en las superficies que acaban siendo vertidas a dominio público hidráulico (DPH) si no se adoptan las oportunas medidas, sino que también contempla los vertidos por desbordamiento de los sistemas de saneamiento (VDSS) en eventos de precipitación con lluvias habituales que sobrepasan el caudal del tratamiento primario de la EDAR en tiempo seco para los sistemas de saneamiento unitario o generen escorrentías urbanas en los sistemas de saneamiento o separativo pluvial. Aparece este nuevo criterio de diseño basado en la contaminación en el que los desbordamientos en episodios de lluvia que supongan más del 1% de la carga del sistema de saneamiento en época seca, serán un criterio a tener en cuenta en aglomeraciones urbanas de más de 10.000 habitantes equivalentes. Para realizar un control efectivo de los PVDSS, el nuevo RDPH obliga a disponer de un “Plan de medidas de gestión del sistema de saneamiento en episodios de lluvia”.

Con el fin de evitar la contaminación por VDSS en episodios de lluvia, se empleará un control mínimo exigible a través del indicador “rendimiento hidráulico del sistema de saneamiento”, tanto en sistemas unitarios como en sistemas separativos pluviales, entendiéndose por “rendimiento hidráulico del sistema de saneamiento”, al cociente del volumen de pluviales que es capaz de tratar el conjunto de las EDAR del sistema de saneamiento de la aglomeración urbana considerando el tratamiento primario, frente al volumen total de escorrentía generado en un episodio tipo de precipitación.

Algunas de las medidas a implantar para retener la gran cantidad de agua de lluvia consisten en el diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), la implantación de tanques de tormentas (actualmente denominados tanques antidesbordamientos) y estructuras de regulación; todos ellos, elementos que hasta la actualidad no se han tenido en cuenta en el diseño de las depuradoras, sobredimensionando las mismas y aumentando los consumos energéticos, dando lugar, en consecuencia, a mayores costes de explotación.

3. DIAGRAMAS DE FLUJO DEL CUA

Para el estudio detallado del CUA se han elaborado diagramas de flujo de funcionamiento del sistema bajo dos hipótesis de trabajo: caudales en tiempo de lluvia y caudales en tiempo seco. Con el estado en tiempo seco se van a medir y obtener los caudales estrictamente debidos a las aguas residuales urbanas e industriales. A los caudales medidos en tiempo de lluvia se le restarían los anteriores y se obtendrían los caudales estrictamente debidos a la escorrentía. Comparando estos últimos con el caudal de lluvia neta se podrían deducir cuestiones referentes al coeficiente de escorrentía y eficiencia de los colectores.

En el cálculo de los balances hídricos disponemos de caudales que serán obtenidos a partir de datos conocidos, y obtendremos otros datos, mediante lecturas del sistema digitalizado ya implantando o a instalar a corto plazo.

Del resultado del estudio obtenemos los balances de caudales (comprobación de continuidad), de masas (cargas contaminantes) y energéticos de los subsistemas (incluida la huella de carbono).

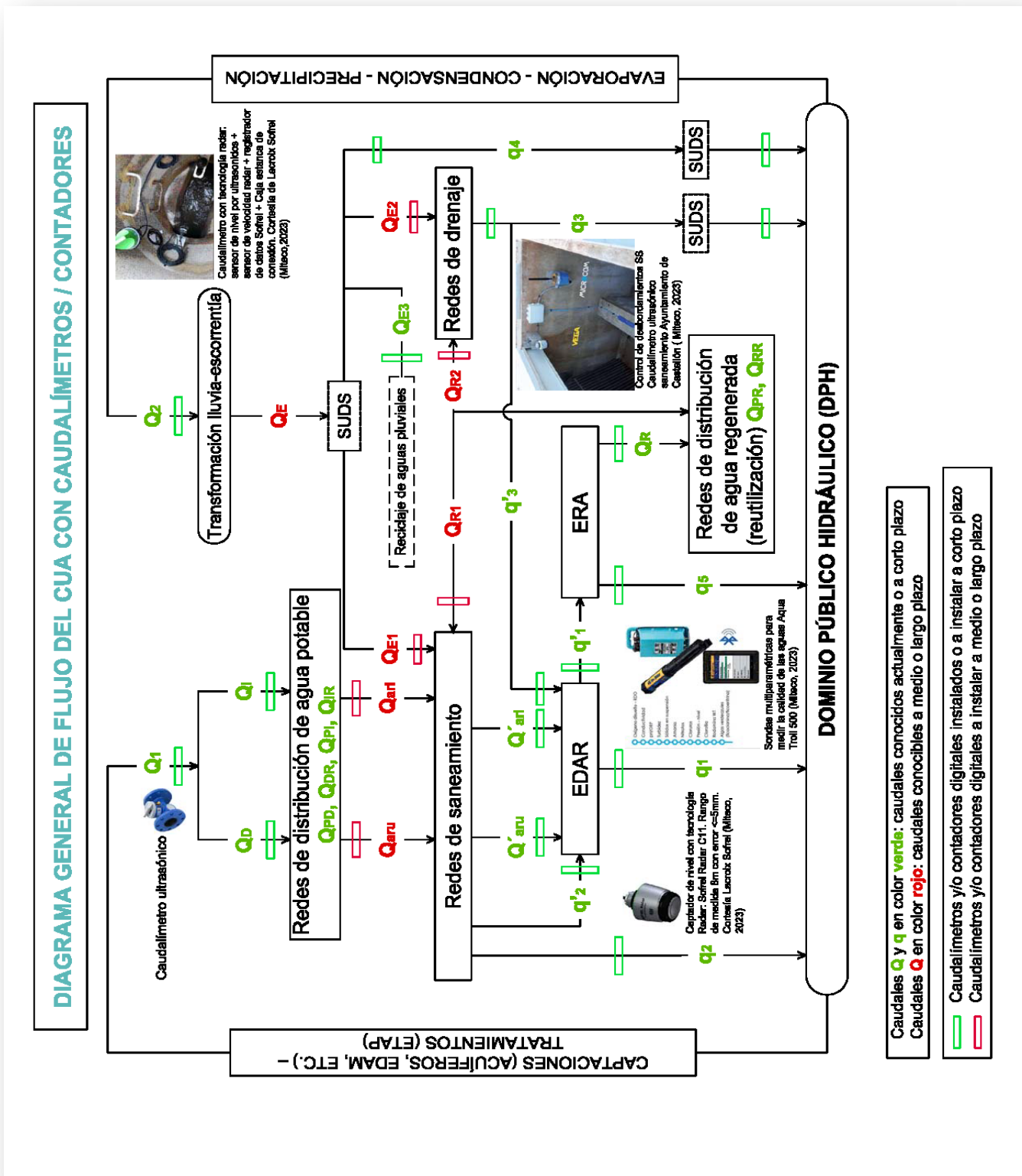


Figura 1. Diagrama general de flujo del CUA con caudalímetros/contadores. Fuente: elaboración propia.

Leyenda CUA (todos los caudales en m³/d)

Q_1 = Caudal total de suministro de agua potable (ETAP, EDAM, etc.)

Q_D = Caudal (bruto) de suministro de abastecimiento doméstico (incluye usos comerciales, equipamientos, servicios públicos, etc.)

Q_I = Caudal (bruto) de suministro de abastecimiento industrial

Q_{aru} = Caudal de agua residual urbana a red de saneamiento

Q'_{aru} = Caudal de agua residual urbana a EDAR (a través de emisario de agua residual urbana)

Q_{ari} = Caudal de agua residual industrial a red de saneamiento

Q'_{ari} = Caudal de agua residual industrial a EDAR (a través de emisario de agua residual industrial)

Q_{PD} = Caudal de pérdidas de la red de agua doméstica

Q_{DR} = Caudal de suministro doméstico registrado por los contadores digitales (caudal, consumo o demanda neta)

Q_{PI} = Caudal de pérdidas de la red de agua industrial

Q_{IR} = Caudal de suministro industrial registrado por los contadores digitales (caudal, consumo o demanda neta)

Q_2 = Caudal de agua de lluvia (precipitación)

Q_E = Caudal de escorrentía

Q_{E1} = Caudal de escorrentía a red de saneamiento (sistemas unitarios)

Q_{E2} = Caudal de escorrentía a red de drenaje (sistemas separativos o mixtos, parte unitarios y parte separativos)

Q_{E3} = Caudal de escorrentía a reciclaje de aguas pluviales

Q_{PR} = Caudal de pérdidas de la red de agua regenerada

Q_R = Caudal de suministro de agua regenerada para reutilización (ERA)

Q_{RR} = Registrado por los contadores digitales (caudal, consumo o demanda neta)

Q_{R1} = Caudal de retorno de agua regenerada que entra en la red de saneamiento (sistemas unitarios)

Q_{R2} = Caudal de retorno de agua regenerada que entra en la red de drenaje (sistemas separativos o mixtos)

q_1 = Caudal de agua depurada (EDAR)

q'_1 = Caudal de agua depurada a EDAR (regeneración para reutilización)

q_2 = Caudal de vertido de agua residual sin tratar (sistemas unitarios): DSU (descargas de sistemas unitarios)

q'_2 = Caudal de DSU a depósito de retención, a tanque de tormentas o a EDAR (sistemas unitarios)

q_3 = Caudal de vertido de aguas de escorrentía provenientes de la red de drenaje (sistemas separativos)

q'_3 = Caudal de aguas de primer lavado o “first flush” provenientes de la red de drenaje (sistemas separativos o mixtos)

q_4 = Caudal de vertido de aguas de escorrentía superficial (sistemas pseudo-separativos)

q_5 = Caudal de vertido de agua regenerada (ERA)

ETAP = Estación de tratamiento de agua potable

EDAR = Estación depuradora de aguas residuales

ERA = Estación regeneradora de aguas

EDAM = Estación desaladora de aguas de mar

4. ADQUISICIÓN DE DATOS

Para la adquisición de datos se ha establecido una metodología con algoritmos basados en los esquemas del diagrama de flujo del CUA, con indicación de la ubicación idónea de los puntos de muestreo, que permitan el control cualitativo y cuantitativo de las masas de agua en cada una de las etapas que integran el ciclo. Los datos recopilados son datos útiles y fiables para la toma de decisiones con base en resultados reales. Mediante estos algoritmos se obtiene información en tiempo real e histórica de caudales trasegados en cada etapa, la calidad de dichos caudales y el gasto energético necesario. Estos se conforman por datos medibles, de manera que pueden ser analizados en bases de datos, hojas de cálculo y gráficos. Los datos están estructurados en las entradas y salidas de cada etapa del ciclo. No nos interesan especialmente los consumos individuales, es decir, los registrados por cada consumidor, sino el conjunto, los consumos totales domésticos e industriales. Después, conociendo el caudal introducido en cada red podemos obtener las pérdidas en el sistema y la eficiencia del mismo, así como las dotaciones domésticas e industriales reales.

A medio-largo plazo se podría actuar de forma similar para las aguas residuales y pluviales, monitorizando todos los puntos donde se incorpora agua a las redes principales, tales como; imbornales, acometidas de saneamiento y SUDS.

La digitalización del ciclo urbano del agua implica un alto grado de conocimiento de las infraestructuras, con la creación de un “gemelo digital” y la sensorización de los puntos más importantes. Existen en el mercado muchas herramientas para la digitalización, destacando la instalación de estaciones remotas integradas por caudalímetros o contadores para tener conocimiento de los caudales, sondas multiparamétricas de sensorización para la toma de datos cualitativos, transmisores de dicha información mediante tecnología digital y plataformas digitales para el almacenamiento de datos en la nube y explotación de información, mediante software especializado que permita la creación de curvas de tendencias de consumo y calidad vertida.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos recopilados son necesarios para la gestión municipal del ciclo urbano del agua, atendiendo a los esquemas y algoritmos diseñados para la instalación en puntos estratégicos de los equipos de control (caudalímetros digitales, sondas multiparamétricas). De esta forma se garantiza la calidad del agua de suministro para consumo, reutilización o devolución al dominio público hidráulico.

A partir de los datos conocidos de caudales y de concentraciones de contaminantes (DBO5, DQO, SS, N y P, como mínimo) planteamos los balances de masas o ecuaciones de continuidad (balances de caudales).

El CUA digitalizado va a permitir una correcta gestión del agua, mediante la obtención de datos reales, de caudales y la calidad de los mismos, que van a ayudar a implementar medidas de eficiencia en la captación, tratamiento y distribución de agua potable, como la detección y reparación de fugas en la red de distribución, la instalación de medidores para monitorizar el consumo de agua y la utilización de tecnologías de tratamiento más eficientes, así como el

control de la calidad del agua en los puntos de desbordamiento de los sistemas de saneamiento unitarios o separativos.

Al facilitar la detección de fugas de agua, se van a reducir considerablemente los costes de producción y distribución de agua potable, ya que se requiere una mayor cantidad de energía y recursos para bombear, tratar y distribuir el agua y, en consecuencia, mayores emisiones de CO₂. La gestión digital va a facilitar la detección temprana de pérdidas a los ciudadanos, de tal forma que les permita ahorrar a través de un mejor conocimiento de sus consumos.

En cuanto al saneamiento de aguas residuales, una gestión digitalizada adecuada, puede incluir la adopción de tecnologías y procesos más sostenibles, como la utilización de energías renovables para el tratamiento de aguas residuales y la recuperación de recursos como el agua, los nutrientes y la energía. Del mismo modo, va a permitir la detección de redes de saneamiento que se encuentren en mal estado, evitando la contaminación de aguas subterráneas por infiltración de aguas residuales a los acuíferos.

Respecto a la gestión digital de las aguas pluviales, la obtención de datos va a contribuir en la disminución del riesgo de inundación, una disminución en la difusión de la contaminación y que los acuíferos no sufran pérdidas cuantitativas y cualitativas importantes. Igualmente va a reducir los episodios de desbordamiento de aguas residuales a dominio público hidráulico, permitiendo cuantificar la cantidad y la calidad de los mismos. La digitalización permite disponer de sistemas integrados de información entre la AEMET y la plataforma de gestión que ayude a generar previsiones, avisos y alertas en coordinación con las autoridades de protección civil para minimizar los riesgos asociados a fenómenos extremos.

6. CONCLUSIONES

En el momento actual se impone la necesidad urgente de llevar a cabo la modernización del modelo de gestión del ciclo urbano del agua, dentro del plazo horizonte 2030, para dar cumplimiento al ODS 6 *Agua Limpia y Saneamiento*, garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y, el saneamiento para todos”. El Gobierno de España (2022) está impulsando este cambio fomentando el empleo de herramientas tecnológicas que permitan la digitalización del Ciclo Urbano del Agua dentro de la línea de subvenciones europeas en el ámbito del PERTE (*PERTE de digitalización del ciclo del agua*).

Esta necesidad de cambio de modelo se justifica en innumerable bibliografía, entre la que se encuentra el documento que lleva por título *La gestión del agua en España. Análisis y retos del ciclo urbano del agua*, elaborado por PWC (2018). En dicho estudio se visualiza el agravamiento de la situación en los últimos años.

El presente trabajo desarrolla un nuevo modelo digital del ciclo urbano del agua de una población bajo la perspectiva del “gestor municipal” con la finalidad de contribuir en el aumento de la seguridad hídrica. Esta propuesta impone un enfoque global de los recursos hídricos disponibles en la cuenca hidrográfica donde se ubica el municipio. Se introduce como novedad la incorporación de las aguas pluviales al CUA para su uso y gestión, creando un modelo circular de gestión municipal para contribuir a la mejora de la eficiencia hídrica y a la prevención de inundaciones.

Respecto al calendario para la implantación de las medidas de mejora en la gestión del CUA, se presentan los siguientes escenarios:

- a. A corto plazo: en cuanto al subsistema de aguas residuales, el plazo viene fijado por la fecha de entrada en vigor de la modificación del RDPH que, actualmente, se encuentra en proyecto de RD. Con el fin de dar cumplimiento a este RD es necesario monitorizar las redes y puntos de vertido por desbordamientos de los sistemas de saneamiento (PVDSS) para conocer las condiciones cuantitativas (duración y estimación de caudales) y cualitativas (pH, temperatura, turbidez, conductividad, entre otros) de los vertidos a DPH. En cuanto a la reutilización de las aguas para uso agrícola, el 26 de junio de 2023, entra en vigor el Reglamento (UE) 2020/741, en el que se establece la necesidad de garantizar una regeneración segura que disminuya el riesgo de contaminación para el medio ambiente y para la salud humana y medio ambiental, por lo que la monitorización del sistema de regeneración va a ser necesario en el control de la calidad de estas aguas.
- b. A medio-largo plazo: implantar la digitalización completa del CUA. Tender a la implantación de SUDS, atendiendo a la Directiva Marco del Agua, que van a contribuir en la creación de ciudades sostenibles con espacios urbanos más habitables, y a paliar los efectos de las inundaciones y sequías. Recoger y reciclar la mayor parte de las aguas de escorrentía, mediante SUDS (depósitos de retención, estanques de detención, *wetlands*, etc.). Así como tender a sistemas de saneamiento separativos para no mezclar aguas de diferente origen que implique mayores costes de explotación y depuración, y en consecuencia energéticos. Todo ello con el objetivo de lograr *vertido cero*, es decir, depuración, regeneración y reutilización de todas las aguas residuales urbanas (domésticas e industriales).

REFERENCIAS

- Centro de estudios y experimentación de obras públicas, CEDEX. (2017). *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España*.
- Definición ABC (s. f.). *Definición de digitalización*. <https://www.definicionabc.com/tecnologia/digitalizacion.php>
- Gobierno de España (2022). *PERTE de digitalización del ciclo del agua*. <https://plande-recuperacion.gob.es/como-acceder-a-los-fondos/pertes/perte-de-digitalizacion-del-ciclo-del-agua>
- Gobierno de España (1985). *Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local*. Boletín Oficial del Estado, BOE-A-1985-5392. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1985-5392>
- Gobierno de España (1996). *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, BOE-A-1996-7159. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1996-7159>

- Gobierno de España (2001). *Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas*. Boletín Oficial del Estado, BOE-A-2001-14276. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-14276>
- Gobierno de España (2023). *Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro*. Boletín Oficial del Estado, BOE-A-2023-628. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2023-628>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA. (2018, 4 septiembre). La importancia del agua en el planeta y como cuidarla. *iAgua*. <https://www.iagua.es/noticias/imta/importancia-agua-planeta-y-como-cuidarla>
- Jimenez-Cisneros, B. (2015). Seguridad hídrica: retos y respuestas, la fase VIII del programa hidrológico internacional de la Unesco (2014-2021). *Aqua-Lac*, 7(1), 20-27.
- Pacto Mundial Organización de Naciones Unidas, ONU. (2015). *ODS 6 Agua limpia y saneamiento*. <http://pactomundial.org>
- Pérez Gil (2023, 29 marzo). *Alicante se seca: el Gobierno podría decretar la emergencia en abril*. Diario Información.
- PricewaterhouseCoopers, PWC. (2018). *La gestión del agua en España. Análisis y retos del ciclo urbano del agua*. <https://www.pwc.es/es/publicaciones/energia/assets/gestion-agua-2018-espana.pdf>
- Real Academia Española, RAE. (2022). *Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario*. <https://dle.rae.es/>
- Unión Europea (1991). *Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas*, 135. <http://data.europa.eu/eli/dir/1991/271/oj/spa>
- Unión Europea (2020). *Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua (Texto pertinente a efectos del EEE)*. <http://data.europa.eu/eli/reg/2020/741/oj/spa>