



water and landscape

# AGUA y TERRITORIO



**AGUA Y SOSTENIBILIDAD.  
DEPURACIÓN Y REUTILIZACIÓN  
DE AGUAS REGENERADAS**



water and landscape  
**AGUA y TERRITORIO**

<http://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/atma>  
[aguayterritorio@gmail.com](mailto:aguayterritorio@gmail.com)

Revista semestral patrocinada por el Seminario Permanente Agua, territorio y medio ambiente (CSIC) y editada por la Universidad de Jaén. Actúan como entidades colaboradoras la Universidade Federal de Minas Gerais, la Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, El Colegio de Michoacán, la Universidad de Costa Rica, la Universidad Autónoma de Chile, la Universidad de Guadalajara y la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.

La revista va dirigida a la comunidad científica que desde varias perspectivas científicas se muestra interesada en los enfoques sociales, económicos, territoriales e históricos que posibilitan los estudios sobre el agua en el ámbito iberoamericano y mediterráneo.

*Agua y Territorio* consta esencialmente de tres secciones: la primera (Dossier) está integrada por la publicación de artículos relacionados con una temática común. La segunda (Miscelánea) contiene artículos de temática libre. La tercera corresponde a Reseñas. Otras secciones no fijas son Documentos y Archivos, Entrevistas, Relatos de experiencia, Eventos, Proyectos, y Opinión.

*Agua y Territorio* considera tan solo trabajos originales que no hayan sido publicados anteriormente ni estén a punto de publicarse o evaluarse.

*Agua y Territorio* quiere servir como un instrumento para la concertación entre los grupos sociales y los gobiernos que se ven involucrados en los numerosos conflictos y disputas por la utilización del agua, la búsqueda de un nuevo modelo de desarrollo y la promoción de alternativas posibles para contener el deterioro de los ecosistemas. Por su temática y por la proyección iberoamericana y mediterránea de la revista, *Agua y Territorio* tiene una clara vocación internacional que se refleja en su Consejo Asesor y de Redacción.

*Agua y Territorio* centra su atención en varios aspectos vinculados al agua: el de las políticas públicas y la participación ciudadana, el de los modelos de desarrollo y medioambientales, el del paisaje, la memoria, la salud y el patrimonio hidráulico. Por ello, publica y difunde trabajos que desde diferentes vertientes y disciplinas alientan los intercambios de experiencias a uno y otro lado del Atlántico como reflejo del contexto internacional en el que se ubica. Admite artículos en inglés, español, francés, italiano y portugués.

*Agua y Territorio* pretende ser una plataforma de estudios sobre el agua capaz de recoger realidades muy diversas, con peculiaridades económicas, sociales, culturales y ambientales muy definidas y heterogéneas.

#### Directores

Juan Manuel Matés Barco (Universidad de Jaén, España)

Pilar Paneque Salgado (Universidad Pablo de Olavide, España)

#### Editor

Jesús Raúl Navarro García (CSIC, España)

#### Secretaría

Mariano Castro Valdivia (Universidad de Jaén, España)

#### Consejo de Redacción

José Newton Coelho Meneses (Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil)  
Lucía De Stefano (Universidad Complutense, España)  
Fernando Díaz del Olmo (Universidad de Sevilla, España)  
Javier Escalera Reyes (Universidad Pablo de Olavide, España)  
María Luisa Feijoo Bello (Universidad de Zaragoza, España)  
Marcelo Gantos (Universidade Estadual do Norte Fluminense, Brasil)  
Luis Garrido González (Universidad de Jaén, España)

Nuria Hernández Mora (Universidad de Sevilla, España)  
Julia Martínez Fernández (Universidad Miguel Hernández, España)  
Leandro del Moral Tuarte (Universidad de Sevilla, España)  
Jorge Regalado Santillán (Universidad de Guadalajara, México)  
Martín Sánchez Rodríguez (El Colegio de Michoacán, México)  
Alejandro Tortolero Villaseñor (Universidad Autónoma Metropolitana de México, México)  
Ronny Viales Hurtado (Universidad de Costa Rica, Costa Rica)

#### Consejo Asesor

Luis Aboites Aguilar (El Colegio de México, México)  
Pedro Arrojo (Universidad de Zaragoza, España)  
Roberto Bustos Cara (Universidad Nacional del Sur, Argentina)  
Rafael Cámara Artigas (Universidad de Sevilla, España)  
Wagner Costa Ribeiro (Universidade de Sao Paulo, Brasil)  
José Esteban Castro (Universidad de Newcastle, Reino Unido)  
Concepción Fidalgo (Universidad Autónoma de Madrid, España)  
Juan Antonio González (Universidad Autónoma de Madrid, España)  
Laura González Rodríguez (Universidad Autónoma de Tamaulipas, México)

Leo Heller (Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil)  
Abel La Calle (Universidad de Almería, España)  
Carlos Larrinaga (Universidad de Granada, España)  
José Manuel Lopes Cordeiro (Universidade do Minho, Portugal)  
Carmen Maganda (Universidad de Luxemburgo, Luxemburgo)  
Eloy Martos Núñez (Universidad de Extremadura, España)  
Juan Ojeda (Universidad Pablo de Olavide, España)  
Vicente Pinilla (Universidad de Zaragoza, España)  
Antonio Embid Irujo (Universidad de Zaragoza, España)

Christopher Scott (University of Arizona, USA)  
Inmaculada Simón (Universidad Autónoma de Chile, Chile)  
Erik Swyngeouw (Universidad de Manchester, Reino Unido)  
Simonne Teixeira (Universidade Estadual do Norte Fluminense, Brasil)  
María Luisa Torregrosa (FLACSO, México)  
Susan Vincent (University St. Francis Xavier, Canadá)  
Florencio Zoido (Centro de Estudios Paisaje y Territorio, España)

#### Edición

Jorge Chinae (Wayne State University)

Francesco D'Esposito (Università degli Studi G. D'Annunzio)  
Alice Poma (CSIC-Universidad Pablo de Olavide)  
Elvira Giannetti (Universidad de Bolonia)

Frederico Alvim (CSIC-Universidad Pablo de Olavide)

Jean-Noël Salomon (Université Bordeaux 3)

Beatriz Barrera (Universidad de Sevilla)  
Fco. Manuel Navarro (CSIC)

## Revista Agua y Territorio

<http://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/atma>

ISSN 2340-8472 DL J-673-2013

eISSN 2340-7743 DOI 10.17561/at.v0i8

Correo electrónico: [aguayterritorio@gmail.com](mailto:aguayterritorio@gmail.com)

Departamento de Economía. Edificio D-3 - Despacho 120

Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas, s/n

23071 - JAÉN (ESPAÑA)

### Contacto principal:

Dr. D. Juan Manuel Matés Barco

Departamento de Economía. Edificio D-3 - Despacho 120

Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas, s/n

23071 - JAÉN (ESPAÑA)

[jmmates@ujaen.es](mailto:jmmates@ujaen.es)

Tlf. (+34) 953 212076

### EDITA:

Servicio de Publicaciones. Universidad de Jaén (España)

<http://www10.ujaen.es/conocenos/servicios-unidades/servpub/inicio>

### Dirección postal:

Campus Las Lagunillas, s/n. Edif. Biblioteca, 2ª planta

23071 - JAÉN (ESPAÑA)

Tlf. (+34) 953 212355

Correo electrónico: [servpub@ujaen.es](mailto:servpub@ujaen.es)

### Contacto de soporte:

Dr. D. Mariano Castro Valdivia

[mcastro@ujaen.es](mailto:mcastro@ujaen.es)

Tlf. (+34) 953 212985

### PATROCINA:

#### SEMINARIO PERMANENTE AGUA, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE

Escuela de Estudios Hispanoamericanos. CSIC.

Calle Alfonso XII, 16. 41002 SEVILLA (ESPAÑA)

Tel. 954500970

Correo electrónico: [jraul.navarro@csic.es](mailto:jraul.navarro@csic.es)

<http://www.seminarioatma.org>

Las opiniones y hechos consignados en cada artículo son de la exclusiva responsabilidad de sus autores. La Universidad de Jaén y el Seminario Permanente Agua, Territorio y Medio Ambiente y las posibles entidades colaboradoras no se hacen responsables en ningún caso de la credibilidad y autenticidad de los trabajos.

Los originales de la revista son propiedad de la entidad editora, siendo necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total.

© Universidad de Jaén, 2016

Diseño logo y cabecera: Millena Liza

Maquetación y diseño: Juan Gallardo (CSIC)

Fotografía de la cubierta: Estación Depuradora de Aguas Residuales de Benidorm, España.

*Agua y Territorio* aspira a ser recogida en los más exigentes repertorios y bases de datos bibliográficas por lo que desde su primer número cumple los requisitos en esta materia. Actualmente se encuentra incorporada a:

 Dialnet

[dialnet.unirioja.es/](http://dialnet.unirioja.es/)



CRUE

REBIUN

Red de Bibliotecas Universitarias

[www.rebiun.org](http://www.rebiun.org)

MIAR 2015  
Live

[miar.ub.edu](http://miar.ub.edu)

Matriz de Información para el Análisis de Revistas



Red Iberoamericana  
de Innovación y Conocimiento Científico

[www.redib.org](http://www.redib.org)

BASE DE DATOS  
ISOC

Revistas de Ciencias Sociales y Humanidades  
<http://bddoc.csic.es:8080/ver/ISOC/revi/2411.html>



Sistema Regional de Información en Línea  
para Revistas Científicas de América Latina,  
el Caribe, España y Portugal  
<http://www.latindex.unam.mx>



DULCINEA

<http://www.accesodirecto.net/dulcinea/>

Derechos de explotación y permisos  
para el auto-archivo de revistas científicas españolas



ULRICHSWEB™  
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

<http://ulrichsweb.serialssolutions.com/login>



water and landscape

# AGUA y TERRITORIO



**AGUA Y SOSTENIBILIDAD.  
DEPURACIÓN Y REUTILIZACIÓN  
DE AGUAS REGENERADAS**



# Sumario





water and landscape  
**AGUA y TERRITORIO**

## Número 8

<b>Dossier:</b>		
	<b>Agua y sostenibilidad. Depuración y reutilización de aguas regeneradas</b>	
	<i>Water and sustainability. Wastewater treatment and the reuse of regenerated water</i> .....	7
	<i>Joaquín Melgarejo-Moreno, coord.</i>	
	<i>Presentación: Joaquín MELGAREJO-MORENO</i> .....	8
	PRATS-RICO, Daniel: <i>La reutilización de aguas depuradas regeneradas a escala mundial: análisis y prospectivas. Reuse of Purified Regenerated Water Worldwide: Analyzes and Projections</i> .....	10
	MELGAREJO-MORENO, Joaquín; LÓPEZ-ORTIZ, M. <sup>a</sup> Inmaculada: <i>Depuración y reutilización de aguas en España. Wastewater Treatment and Water Reuse in Spain</i> .....	22
	MOLINA-GIMÉNEZ, Andrés: <i>Aproximación al régimen jurídico de la reutilización de aguas regeneradas en España. Delineating the Legal Framework for the Reuse of Reclaimed Water in Spain</i> .....	36
	TRAPOTE-JAUME, Arturo: <i>Tecnologías de depuración y reutilización: nuevos enfoques. Technologies of Wastewater Treatment and Reuse: New Approaches</i> .....	48
	ALFRANCA-BURRIEL, Óscar: <i>Métodos de valoración ambiental aplicados a la regeneración y reutilización de aguas residuales en agricultura. Environmental Assessment Methods Applied to the Regeneration and Reuse of Wastewater in Agriculture</i> .....	61
	VILLAR-GARCÍA, Alberto del: <i>Reutilización de aguas regeneradas: aproximación a los costes de producción y valoración de su uso. Reuse of Reclaimed Water: Estimating the Costs of Production and Utilization</i> .....	70
	MELIÁN-NAVARRO, Amparo; FERNÁNDEZ-ZAMUDIO, M. <sup>a</sup> Ángeles: <i>Reutilización de agua para la agricultura y el medioambiente. Water Reuse in Agriculture and the Environment</i> .....	80
	ORTUÑO-PADILLA, Armando; FERNÁNDEZ-ARACIL, Patricia: <i>Reutilización de aguas y ocio: Campos de golf. Reuse of Wastewater in Golf Courses</i> .....	93
<b>Miscelánea</b>		
	RIVASPLATA-VARILLAS, Paula Ermila: <i>La ampliación del suministro de agua en la Lima colonial a fines del siglo XVI: los primeros problemas y sus soluciones. Expanding the Supply of Water in Colonial Lima at the end of the 16th Century: Initial Challenges and their Solutions</i> .....	104
	LEÓN-FUENTES, Nelly Josefa: <i>El agua y la obra pública hidráulica en México: concesiones, contratos y otras modalidades, 1880-1940. Water and Public Works In Mexico: Concessions, Contracts, and other Management Modalities, 1880-1940</i> ....	123
<b>Eventos</b> .....		136
<b>Reseñas Bibliográficas</b> .....		142
<b>Estadística y evaluación</b> .....		151
<b>Normas de Publicación</b> .....		153

# Dossier

Agua y sostenibilidad.  
Depuración y reutilización de aguas regeneradas

*Water and sustainability.  
Wastewater treatment and the reuse of regenerated water*

Joaquín Melgarejo-Moreno, coord.



## Presentación

*Joaquín Melgarejo-Moreno*

Instituto del Agua y las Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante. Alicante, España. [jmelgar@ua.es](mailto:jmelgar@ua.es)

En los últimos lustros, la unión de distintos factores, tales como el crecimiento de la población, el aumento de la urbanización, la extracción de agua para su uso en agricultura, las sequías y el deterioro de la calidad del agua, han supuesto una mayor presión sobre los recursos hídricos a escala mundial. La regeneración y reutilización planificada del agua para distintos usos es una estrategia que ha ido ganando aceptación en muchas partes del mundo.

La reutilización de las aguas residuales es una opción importante en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), que trata todos los aspectos del ciclo hídrico y optimiza el uso del agua en todas sus formas. La inclusión de la regeneración y la reutilización como estrategias básicas de la gestión integrada de los recursos es, sin duda, el reto fundamental.

La reutilización de agua conlleva cambios en las estructuras tradicionales de asignación de recursos hídricos, financiamiento de estructuras, consideración de estándares de calidad del agua, marcos reglamentarios y mandatos institucionales. Implica una buena gestión a todos los niveles, con el fin de desarrollar un enfoque holístico y políticas consistentes para la asignación de recursos hídricos que satisfagan las múltiples necesidades de los usuarios.

Los beneficios de la reutilización se manifiestan principalmente en el incremento de los recursos disponibles, teniendo en cuenta además que, frente a otros recursos alternativos, las aguas regeneradas tienen unas importantes ventajas: son un recurso estable al estar condicionado por el abastecimiento y en zonas costeras este aumenta en verano; es más barato que los trasvases o la desalinización, ya que consume menos energía que los anteriores métodos de incremento de la oferta. Con los tratamientos actuales su calidad es suficiente para la mayoría de los usos, por lo que carece de sentido usar agua de mejor calidad para el riego u otras actividades a un coste excesivo. Del mismo modo, la utilización de aguas regeneradas permite reducir la explotación de acuíferos sobreexplotados o con problemas de intrusión, especialmente marina en áreas costeras. En multitud

de ocasiones, tras el tratamiento adecuado, estas aguas se están utilizando para proporcionar caudales ecológicos o volúmenes ambientales.

Es esencial que la regeneración y la reutilización del agua pasen a formar parte de la gestión integrada de los recursos hídricos que impulsan las instituciones estatales y autonómicas, con lo que ello comporta de establecimiento de un marco de planificación, de una reglamentación de los derechos al agua regenerada, de la fijación tanto de los medios técnicos para regenerar el agua como de las normas de vigilancia y seguimiento de la calidad del agua regenerada para sus posibles usos, y de la definición del marco económico y financiero con el que potenciar su desarrollo.

La experiencia internacional indica que el éxito de la reutilización viene determinada por “la necesidad y la oportunidad” del uso de agua regenerada en cada lugar y momento histórico concretos. La percepción social mayoritaria hace que las fuentes convencionales (ríos y acuíferos) sean consideradas como las preferidas, en razón de su supuesta gran calidad, aunque es cada vez más frecuente que el agua regenerada producida en nuestras estaciones tenga una calidad igual o superior a las de las fuentes superficiales y subterráneas de zonas semiáridas, como las mediterráneas españolas. Sin embargo, el régimen económico y financiero que aplicamos a los recursos convencionales, con un escaso nivel de recuperación de costes por parte de las administraciones y una consideración muy limitada de sus costes ambientales, hace que el agua regenerada aparezca como una opción más cara que las fuentes convencionales.

La escasa recuperación de costes de las fuentes convencionales de agua y la frecuente externalización de costes que las afectan hacen que las propuestas de regeneración aparezcan con frecuencia como opciones más costosas que aquellas. Precisamente por eso, solo cuando las fuentes convencionales son insuficientes o carecen de fiabilidad, la opción de regenerar y reutilizar agua aparece como viable. Tanto la experiencia internacional como la nuestra propia indican que ante la necesidad de

agua, el agua regenerada aparece como una solución viable desde el punto de vista de su calidad, su cantidad y su coste.

El monográfico que presentamos sobre “Agua y sostenibilidad. Depuración y reutilización de aguas regeneradas” contiene ocho trabajos, que pretenden abarcar desde diferentes ópticas la importancia de la reutilización de las aguas depuradas regeneradas. El artículo del Dr. Prats, presenta la situación de la reutilización de aguas residuales a escala mundial; tras realizar una revisión de la reutilización en los distintos países, explica por qué la tendencia a reutilizar agua en el mundo es creciente, yendo unida a la mejora en los tratamientos; describe cómo las modernas técnicas para el tratamiento de las aguas residuales pueden llegar a permitir el uso directo o indirecto de las aguas regeneradas, llegándose a poder utilizar como aguas potables.

El texto de los profesores J. Melgarejo y M.<sup>a</sup> I. López-Ortiz centra su observación en la experiencia de la depuración y reutilización de aguas en España. Manifiestan que el potencial de este recurso no convencional se torna estratégico en las situaciones de déficit, como sucede en buena parte de la fachada Este del Mediterráneo español. El ingreso de España en las instituciones europeas ha sido un revulsivo en los temas ambientales, por cuanto ha supuesto la exigencia de adaptar al país a la normativa europea, mucho más exigente. El esfuerzo realizado ha sido importante, pero todavía estamos lejos de cumplir con todos los requerimientos de Europa.

El régimen jurídico de la reutilización de aguas regeneradas en España lo aborda el jurista A. Molina. Parte de las bases legales generales que comparten todas las aguas, para descender posteriormente al marco legal específico que tienen estos recursos no convencionales.

En el trabajo de A. Trapote se revisan las principales tecnologías actuales de depuración de aguas residuales urbanas y de

regeneración de aguas depuradas para su reutilización, así como una aproximación a las tendencias en estos campos. La tipología de tratamientos y tecnologías aplicables abarca una amplia gama de combinaciones de procesos aerobios y anaerobios, de biomasa fija y suspendida, sistemas intensivos y extensivos, centralizados y descentralizados, etc. Recomienda el autor que los futuros desarrollos tecnológicos deberían priorizar el uso eficiente y sostenible de la energía y de los recursos naturales, en general, y del agua, en particular.

Óscar Alfranca centra su atención en el análisis de los métodos de valoración ambiental aplicados a la regeneración y reutilización de aguas residuales en agricultura. Alberto del Villar en su trabajo analiza los costes de producción del agua regenerada y los servicios asociados para su reutilización en la producción de bienes y servicios. Y, por otro lado, determina el valor económico de las actividades productivas sustentadas con estos recursos no naturales.

En el texto de A. Melián y M.<sup>a</sup> Ángeles Fernández se revisan los usos que pueden tener las aguas regeneradas en agricultura. Aunque tras un correcto tratamiento de depuración las opciones de uso de las aguas residuales son muchas, se destinan mayoritariamente a una finalidad agraria. Las ventajas de regar con esta fuente complementaria de agua es que se reduce la sobreexplotación de los acuíferos y se puede aprovechar la carga nutricional del agua para disminuir la cantidad de fertilizante aportado.

Terminamos el monográfico con la aportación de A. Ortuño y P. Fernández-Aracil sobre la reutilización de las aguas regeneradas en los campos de golf. El espectacular aumento de campos de golf en el levante español durante las últimas décadas unido a la creciente preocupación sobre la sostenibilidad de los recursos hídricos ha suscitado un intenso debate sobre la relación entre los campos de golf y complejos inmobiliarios asociados y sus necesidades hídricas.

## La reutilización de aguas depuradas regeneradas a escala mundial: análisis y prospectivas

### *Reuse of Purified Regenerated Water Worldwide: Analyzes and Projections*

*Daniel Prats-Rico*

Universidad de Alicante. Alicante, España. Prats@ua.es

**Resumen** — El artículo presenta el estado de la reutilización de aguas residuales a escala mundial. Inicialmente se describen los parámetros que definen el mayor o menor déficit de agua, y se muestran las distintas regiones con déficit hídrico. Se revisan las principales causas que provocan el aumento en todo el mundo de esta problemática. Se incluye una breve reseña sobre sucesos históricos relacionados con el uso de aguas residuales, y se describen los usos posibles de las mismas. Se revisa el estado de la reutilización a escala mundial en los distintos países y regiones, según dos estudios realizados en 2008 y 2013. Finalmente se apuntan las principales razones para un continuo crecimiento de la reutilización de aguas residuales en el futuro, que crece paralelamente a la mejora en su tratamiento, identificando los países donde se espera mayor crecimiento. También se describe como las modernas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, permiten el uso directo o indirecto de las aguas regeneradas utilizándolas como aguas potables, describiendo los ejemplos más significativos.

**Abstract** — *The article presents the situation of reused wastewater globally. At the outset we describe the parameters used to establish the higher or lower water deficit are, as well as the different regions where water supplies are under stress. The main causes of the worldwide increase of this problematic are reviewed. It includes a brief survey of historical events related to the use of wastewater and a description of the possible applications of this resource. Worldwide, the status of reused waters for different countries and regions is reviewed based on studies conducted in 2008 and 2013. The essay addresses the main reasons for the continued growth of reused wastewater in the future, whose expansion parallels advances in its treatment, and identifies the countries where a further increase of it is expected. It also describes how modern technologies for treating wastewater allow for its direct or indirect use for drinking purposes, indicating the most significant examples of this trend.*

---

**Palabras clave:** agua, reutilización, aguas depuradas regeneradas, escala mundial

**Keywords:** water reuse, regenerated purified water, worldwide

**Información Artículo:** Recibido: 14 marzo 2016

Revisado: 12 septiembre 2016

Aceptado: 16 octubre 2016

LA NECESIDAD DE REUTILIZAR LAS AGUAS RESIDUALES

Los problemas tecnológicos más importantes que afectan globalmente a la humanidad son el abastecimiento de energía y de agua en las cantidades suficientes para su bienestar y desarrollo.

En el caso de la energía los recursos disponibles proceden mayoritariamente de fuentes no renovables (y por tanto limitadas en el tiempo) y, además, su empleo provoca graves problemas ambientales (lluvia ácida, deterioro de la capa de ozono, cambio climático, contaminación radioactiva). Actualmente son claramente insuficientes para abastecer a todos los países, sobre todo, si se tiene en cuenta la demanda creciente de las economías emergentes.

En el caso del agua los recursos mayoritariamente utilizados hoy en día son renovables, a diferencia de los recursos energéticos, y provienen del ciclo natural del agua. Los problemas surgen de su desigual distribución geográfica y temporal, lo que provoca desequilibrios entre los recursos disponibles y las necesidades de

agua en múltiples áreas geográficas. En el mapa 1 se puede observar cómo se distribuye la precipitación media en las distintas regiones del mundo.

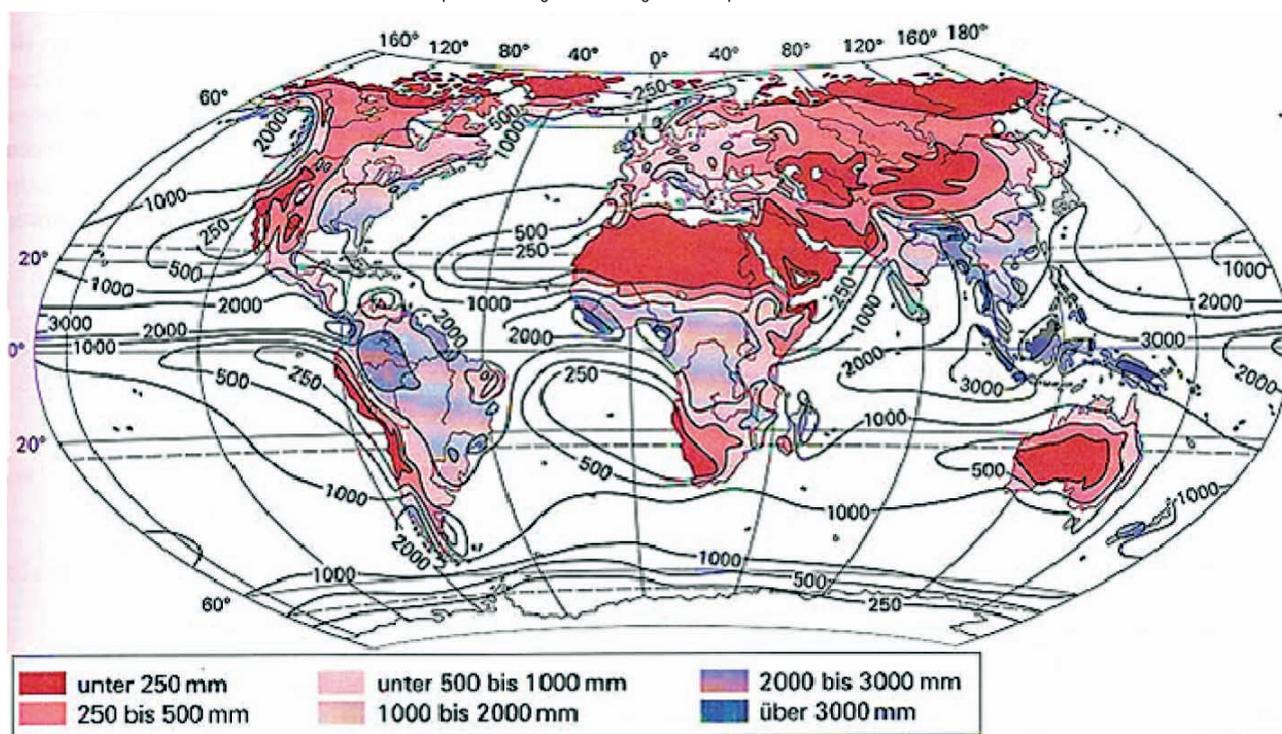
Se utilizan diversos criterios para medir el déficit hídrico de los territorios. Uno de ellos está relacionado con la cantidad de agua disponible por habitante y año, que considera distintos grados de escasez según se indica en la tabla 1.

En el mapa 2 se puede apreciar la situación de los distintos países teniendo en cuenta este criterio.

Un índice muy interesante para evaluar la situación de la disponibilidad de agua es la relación entre las necesidades totales de agua, para todos los usos, en una determinada cuenca, y los recursos naturales disponibles en dicha cuenca, medidos en las mismas unidades. Este criterio se denomina índice de estrés hídrico relativo (RWSI, Relative Water Stress Index), y se establece que:

- Si RWSI > 0,4 se dan condiciones de estrés hídrico.
- Si RWSI < 0,4 se dan condiciones de poco estrés o sin estrés.

Mapa 1. Ciclo global del agua. Precipitaciones medias

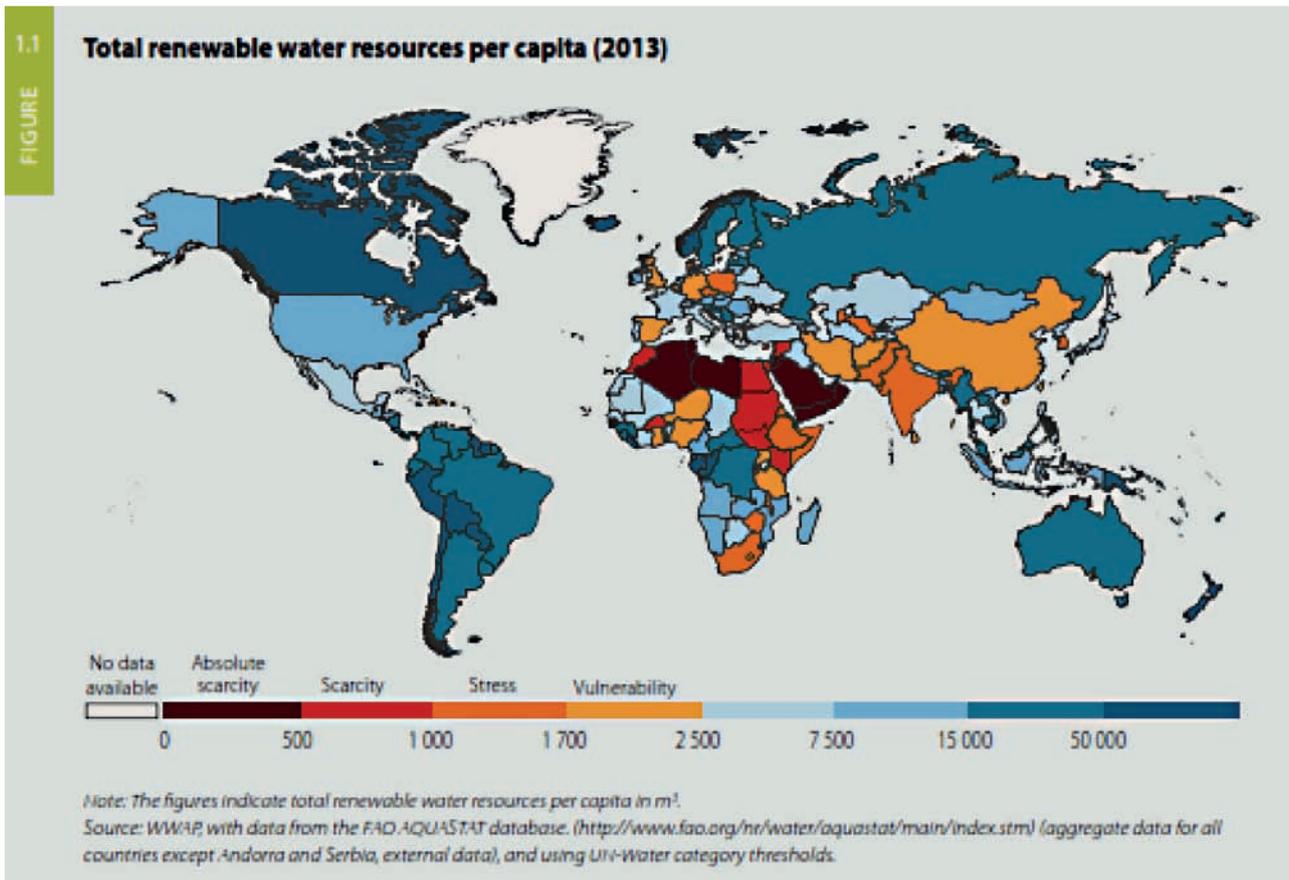


Fuente: Schertenleib & Egli-Brož, 2011.

Tabla 1. Grados de escasez hídrica en función de la disponibilidad de agua

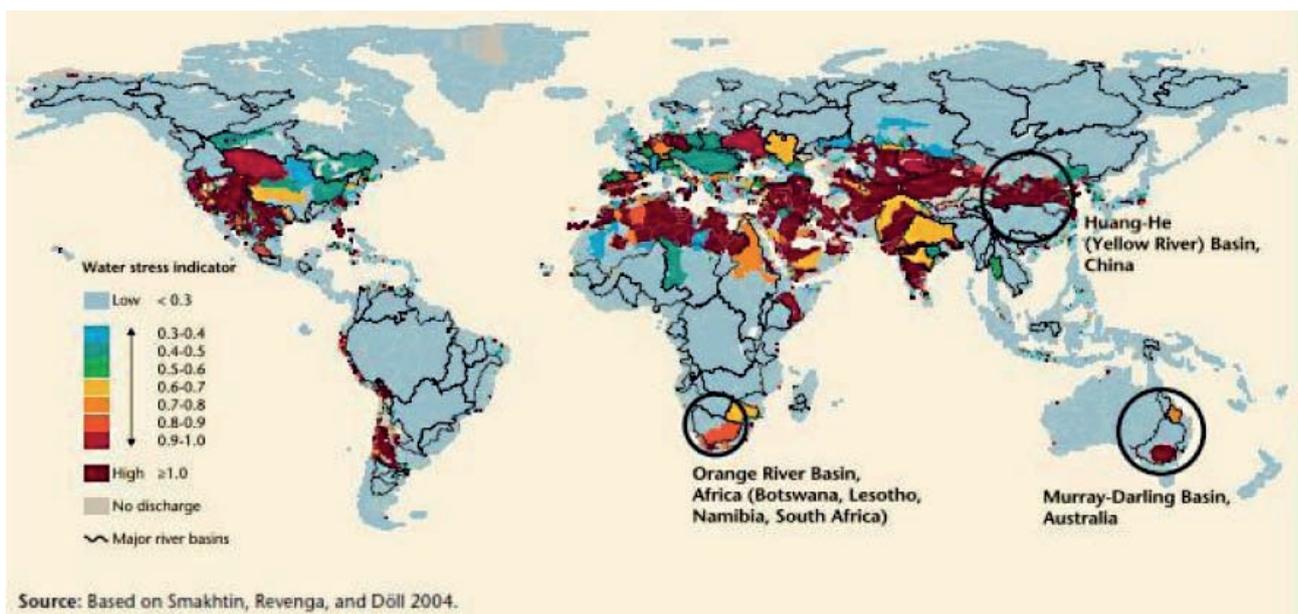
Disponibilidad de agua m <sup>3</sup> /hab. día	Calificación de la situación hídrica del territorio	Consecuencias de la situación
1.700-2.500	Vulnerabilidad	Puede haber zonas en los territorios considerados con algún tipo de restricción
1.000-1.700	Estrés	En determinadas épocas puede haber recursos limitados para algunos usos del agua
500-1.000	Escasez	Conflictos entre usos. Se debe acudir a recursos complementarios a los derivados del ciclo del agua, como desalación y reutilización
<500	Escasez absoluta	Problemas sanitarios y un claro déficit para todas las aplicaciones

Mapa 2. Recursos hídricos per cápita en los distintos países



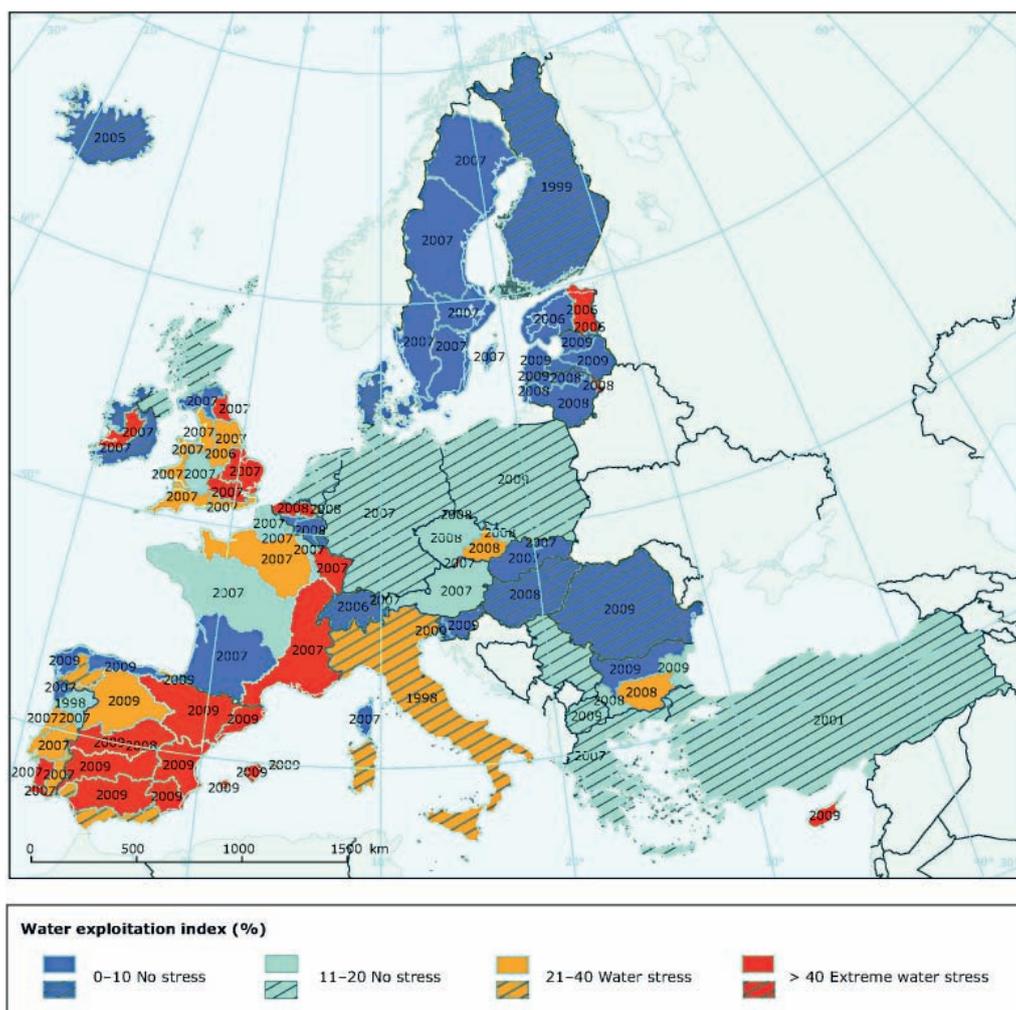
Fuente: World Water Development Report, 2015.

Mapa 3. Índice de estrés hídrico relativo, RWSI, a escala mundial



Fuente: Fluet et al., 2009.

Mapa 4. RWSI en la UE



Fuente: Werner & Collins, 2012.

Esto significa que si las necesidades de agua para todos los usos en una determinada zona, o sistema de explotación, superan el 40% de los recursos naturales disponibles, se considera que se dan condiciones de estrés. En el mapa 3 se muestra la distribución media a escala mundial del RWSI.

Como se puede observar, muchas zonas en el mundo se encuentran en la situación de elevados valores de RWSI.

A escala europea se puede observar con mayor detalle en el mapa 4 donde se aprecia que gran parte del territorio español está en situación de fuerte estrés hídrico.

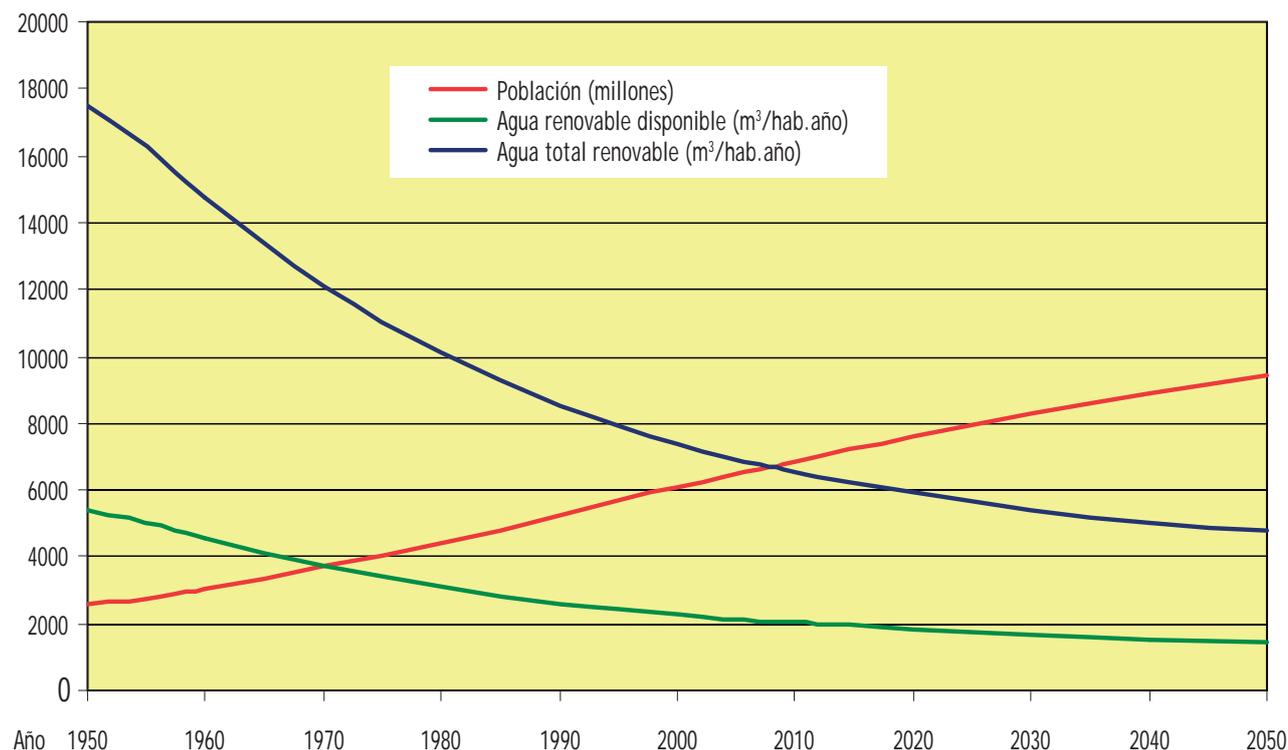
Cuando la demanda de agua excede a las disponibilidades, se puede esperar la competencia creciente por el agua entre los usuarios. Con el aumento de la escasez de agua y la presión sobre los recursos hay una mayor probabilidad de conflictos y problemas para su administración, de que se contamine, de que se originen problemas de salud, así como del cierre de actividades económicas como áreas de regadío, etc.

Los desequilibrios que existen actualmente tienden a acentuarse a escala mundial. Se pueden indicar hasta siete causas importantes de carácter general:

- El crecimiento de la población y su mayor longevidad.
- El creciente desarrollo de países muy poblados. Mayores demandas de seguridad alimentaria y bienestar económico.
- Los grandes cambios demográficos con desplazamiento de la población del entorno rural al urbano.
- La contaminación de las aguas.
- Los periodos de sequía.
- La progresiva deforestación y desertización en muchas regiones.
- Las consecuencias imprevisibles del cambio climático.

Todos estos factores son importantes e influyen en la progresiva escasez de recursos hídricos de calidad a escala mundial. El efecto del crecimiento de la población es fácilmente cuantificable, como se puede apreciar en el gráfico 1, donde se representa la evolución de la disponibilidad de agua renovable por habitante y año, con una proyección hasta 2050. La línea azul representa la disponibilidad total y la línea verde la disponibilidad real, una vez restados los caudales de los grandes ríos que van al mar, las escorrentías de ramblas que desembocan en el mar, los recursos en zonas no habitadas, etc.

Gráfico 1. Evolución del número de habitantes en el mundo y de la disponibilidad media de agua



Fuente: elaboración propia.

En 2016, con una población mundial de 7.400 millones de habitantes, el caudal de agua renovable disponible es inferior a 2.000 m³/hab. año. Si se tiene en cuenta que la propia ONU estima en 1.500 m³/hab.año el caudal razonable para cubrir todas las necesidades, se deduce la grave situación actual y futura para muchos países y regiones, dados los desequilibrios geográficos y temporales de la distribución de agua y las desigualdades en las disponibilidades técnicas y económicas para su aprovechamiento.

Para minimizar o resolver la problemática del agua en las regiones con déficit hídrico caben dos tipos de actuaciones, gestionar mejor y obtener nuevos recursos. La reutilización planificada del agua es una forma evidente de obtener nuevos recursos.

El notable desarrollo alcanzado por la reutilización planificada del agua, especialmente en países con recursos hídricos insuficientes, se ha debido tanto a la necesidad de ampliar los recursos de agua para atender una demanda en permanente expansión, como a la exigencia de mejorar las formas de gestión de los vertidos de aguas depuradas. Las aguas regeneradas deben considerarse como un recurso no convencional, cuya gestión debe incluirse en una planificación integral de los recursos hídricos, que tenga en cuenta los aspectos económicos, sociales y medioambientales. La mejora de la calidad de los efluentes es el elemento clave en el aprovechamiento y la gestión del agua. Así, el agua regenerada puede sustituir usos en los que se esté utilizando agua de gran calidad, como determinados usos urbanos o industriales, y liberar estos caudales para otros usos más exigentes.

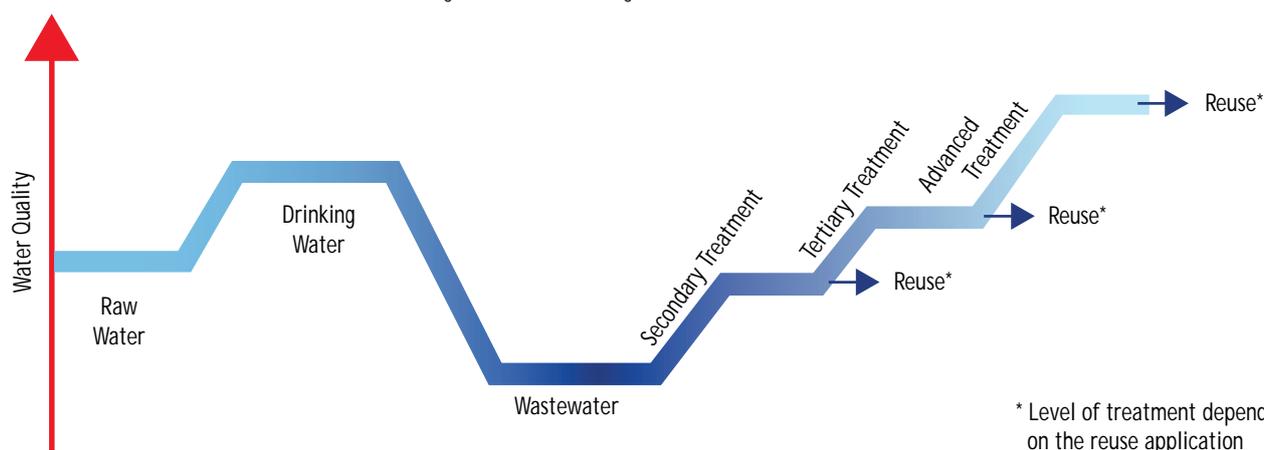
Cabe citar, al menos, las siguientes ventajas de la reutilización directa planificada:

- El aumento de la disponibilidad de agua en zonas sin reutilización.
- El uso integrado y sostenible de los recursos hídricos.
- Mantener el agua potable para beber y el agua regenerada para uso no potable.
- Reducir la extracción de agua superficial y subterránea.
- Contribuir a la reducción del consumo de energía en comparación con el uso de los recursos de aguas subterráneas profundas, aguas trasvasadas o aguas desaladas.
- Reducir las cargas de contaminantes a las aguas receptoras.
- Aumentar la producción agrícola.
- Reducir el uso de fertilizantes.
- Al ser un recurso estable, permite mayor fiabilidad en su disponibilidad.
- Una mayor protección del medio ambiente mediante la restauración de arroyos, humedales y lagunas.
- Aumentar el empleo y la economía local (por ejemplo, turismo, agricultura).

Ahora bien, hay que considerar de igual modo una serie de inconvenientes que pueden limitar, o en algunos casos imposibilitar, la alternativa de la reutilización. Entre los inconvenientes se pueden indicar:

- La necesaria calidad asociada al uso, lo que implica un tratamiento apropiado.

Figura 1. Calidad del agua en función de su tratamiento



Fuente: Rajendra y Bahattarai, 2015.

- La necesidad de disponer de las apropiadas infraestructuras de almacenamiento y distribución.
- La aceptación social, que suele estar directamente relacionada con la garantía de calidad físico-química y microbiológica.
- Los costes asociados a la reutilización, que pueden ser elevados.

#### RESEÑA HISTÓRICA DE LA REUTILIZACIÓN A ESCALA MUNDIAL

El uso de aguas residuales para regadío se remonta a la antigüedad. En la civilización minoica, que surgió en la isla de Creta en la Edad del Cobre, año 3.000 a. C., ya se usaba agua residual para la agricultura. Algunos hechos significativos relacionados con la evolución de la demanda de aguas residuales y su reutilización<sup>1</sup> son:

- Año 97. La ciudad de Roma nombra un Comisionado para el suministro de agua, Sexus Julius Frontinus.
- Año 1500. En Alemania se emplean depuradoras para el tratamiento de aguas residuales.
- Año 1700. En Reino Unido se emplean depuradoras para el tratamiento de aguas residuales.
- 1800-1880. Se establece el uso de alcantarillado en París (1880), Londres (1815) y Boston (1833).
- 1850-1875. Se vincula una larga epidemia de cólera en Londres con la contaminación de los pozos de suministro de agua.
- 1850-1875. En Inglaterra Budd desarrolla una teoría para la prevención de la fiebre tifoidea.
- 1850-1875. En Alemania Koch demuestra la conexión del ántrax con la etiología bacteriana.
- 1875-1900. En Francia Pasteur demuestra la contaminación bacteriana del agua. En Alemania Down propugna el uso de hipoclorito sódico como desinfectante.
- 1890. En Ciudad de México se construyen canales de drenaje para tomar aguas residuales destinadas al riego de una importante zona agrícola al norte de la ciudad. Aguas residuales no tratadas o tratadas mínimamente llegan desde Ciudad de Méxi-

co al Valle de México, donde se utilizan para el riego de 90.000 ha de tierras agrícolas, incluidas verduras.

- 1906. En Jersey City, NJ, USA, se empiezan a clorar las aguas suministradas.
- 1906. En el Boletín Mensual del Consejo de Salud del Estado de California, USA, se hace la referencia más temprana a la calidad del agua desde el punto de vista de la salud pública, en febrero de 1906, relativa al tanque séptico de la ciudad de Oxnard: "¿Por qué no utilizarla para el riego y mantener las valiosas propiedades fertilizantes en solución, y al mismo tiempo purificar completamente el agua? La combinación de la fosa séptica y el riego parece el sistema más racional, barato y eficaz para este estado".
- 1913-1914. El proceso de lodos activados fue demostrado por Ardern y Lockett en Inglaterra, y se desarrolló en la Estación Experimental Lawrence en Massachusetts.
- 1922. Se construye una planta de tratamiento de aguas residuales industriales en Mikawajima, Tokio, Japón.
- 1926. En el Parque Nacional del Gran Cañón, USA, el agua residual tratada se utiliza por primera vez en un sistema dual de agua, para la cisterna del inodoro, la aspersión del césped, el agua de refrigeración y el agua de alimentación de calderas.
- 1929. La ciudad de Pomona, en California, inicia un proyecto para regar jardines y céspedes con agua regenerada.
- 1968. En Namibia comienza la reutilización directa del agua residual como agua potable. Con algunas modificaciones en el sistema de tratamiento, esta actividad continúa en la actualidad.

Se puede afirmar que a partir de 1960 y hasta la actualidad se han desarrollado múltiples avances tecnológicos en el tratamiento de las aguas naturales y de las aguas residuales que propician alcanzar aguas regeneradas de calidad apropiada para los distintos usos posibles. De hecho la calidad de las aguas regeneradas puede ser superior al de las aguas naturales, tal como se esquematiza en la figura 1.

#### POSIBLES USOS DEL AGUA RESIDUAL

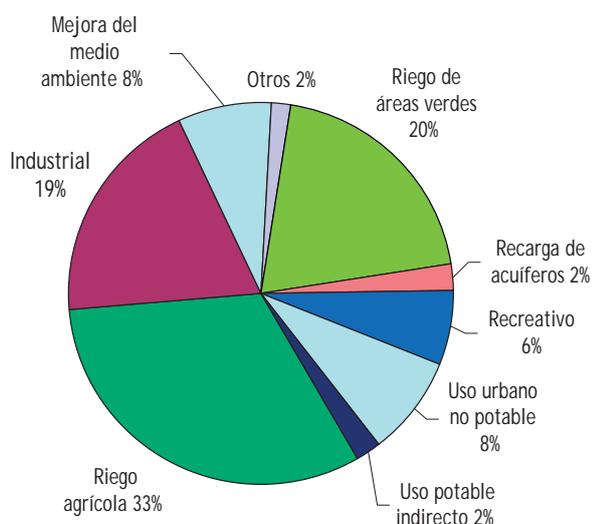
Los usos posibles del agua residual a escala mundial pueden ser muy variados:

<sup>1</sup> Levine et al., 2010.

- Municipales. Riego de parques públicos, instalaciones deportivas, jardines privados, bordes de carreteras; limpieza de las calles; sistemas de protección contra incendios; lavado de vehículos; cisterna del inodoro, uso en acondicionadores de aire, baldeo de calles.
- Agrícolas. Riego de cultivos de alimentos no procesados comercialmente o procesados comercialmente, pastos para los animales de ordeño, forraje, fibra, cultivos de semillas, flores ornamentales, huertos, cultivo hidropónico, acuicultura, invernaderos, viticultura.
- Industriales. Agua de refrigeración, torres de refrigeración, agua de lavado, lavado de áridos, fabricación de hormigón, compactación del suelo, control del polvo.
- Recreativos. Riego de campos de golf, embalses recreativos con o sin acceso público (por ejemplo, para pesca, navegación, baño), embalses ornamentales sin acceso público, nieve artificial.
- Ambientales. Recarga de acuíferos, humedales, pantanos; caudales ecológicos, hábitat de vida silvestre, silvicultura.
- Uso como potable. Recarga de acuíferos para agua potable, aumento de los suministros de agua potable de superficie, tratamiento hasta la calidad de agua potable.

Se reutiliza agua residual con distintos grados de depuración. También se usa sin tratar, sobre todo en países poco desarrollados de América Latina, Asia y África subsahariana.

Gráfico 2. Usos del agua reutilizada a escala mundial



Fuente: adaptado de Intelligence, 2009.

En países desarrollados y para aguas con tratamiento secundario o superior, se estima que los usos a escala mundial se distribuyen como se indica en el gráfico 2.

Como se puede observar, los usos principales van orientados al regadío y la industria, siendo muy pequeño el porcentaje de uso urbano. Este hecho parece relacionado con los usos de las aguas dulces, ya que la demanda y consumo de agua para uso agrícola es, con gran diferencia, el sector que más agua demanda. Ahora bien, existen razones importantes para prever un aumento en los usos urbanos y en los usos industriales de calidad:

- Los usos en las ciudades e industrias próximas a las depuradoras disminuyen el coste de infraestructuras de transporte y los gastos de bombeo.
- Los usos urbanos e industriales pueden ser menos estacionales que los agrícolas, lo que disminuye el coste de almacenamiento.
- Con la escasez de agua se acentúa la competencia entre usos, prevaleciendo aquellos que tienen mayor valor añadido y que permiten a los usuarios cubrir el coste del tratamiento y gestión del agua depurada, o estar menos subvencionados.

Las razones comentadas llevan a la necesidad de obtener efluentes de alta calidad para posibilitar usos urbanos e industriales, así como la recarga de acuíferos para su recuperación y para posibilitar el uso indirecto del agua regenerada como potable. Por ello es previsible un fuerte crecimiento en tratamientos terciarios convencionales y avanzados para las aguas residuales.

#### SITUACIÓN DE LA REUTILIZACIÓN A ESCALA MUNDIAL

Jiménez y Asano realizaron en 2008 un estudio estadístico encontrando que unos cincuenta Mm<sup>3</sup>/día de agua residual se reutilizaban en todo el mundo. La mayor parte de este volumen se emplea sin tratar, principalmente en China (14,1 Mm<sup>3</sup>/día) y México (13,6 Mm<sup>3</sup>/día). Los principales países que según el estudio citado reutilizan agua tratada son USA (7,7 Mm<sup>3</sup>/día), Arabia Saudí (1,9 Mm<sup>3</sup>/día), Egipto (1,8 Mm<sup>3</sup>/día), Israel (1,0 Mm<sup>3</sup>/día) Siria (1,0 Mm<sup>3</sup>/día) y España (0,8 Mm<sup>3</sup>/día).

En una revisión más reciente sobre los datos disponibles a escala regional, nacional y global realizada por Sato et al. en 2013, se deduce que de 181 países estudiados en 55 de ellos hay información disponible sobre generación, tratamiento y utilización de aguas residuales, en 69 hay información sobre generación y tratamiento y en 57 no hay información. No obstante, a pesar de que la información no es completa y además no está en algunos casos actualizada, se pueden extraer conclusiones interesantes sobre la situación de la reutilización a escala mundial. El resumen de la situación en distintas regiones del mundo es el siguiente:

Norteamérica (excluyendo México). Cada año se generan 85 km<sup>3</sup> de aguas residuales, de los que se tratan 61 km<sup>3</sup> (75%) y se reutilizan 2,3 km<sup>3</sup> (3,8%). Un porcentaje elevado de agua reutilizada (46% en California, 44% en Florida) se emplea en regadío, estimándose en 15.000 ha las zonas regadas en USA.

América Latina. Solo hay información completa para 9 de los 32 países de América Latina. De los países con información se puede calcular una generación de aguas residuales de 29 km<sup>3</sup>, de los que se tratan 5 km<sup>3</sup> (18%) y se reutilizan 0,6 km<sup>3</sup> (2%). En México entre de 70.000 y 190.000 ha se riegan con aguas residuales tratadas y no tratadas, respectivamente. En Perú 1.350 y 9.346 ha se riegan con aguas residuales tratadas y no tratadas. En Argentina y Chile las áreas regadas con aguas residuales tratadas son similares o más grandes que las áreas regadas con aguas residuales sin tratar. Se puede deducir que la escasez de agua no es el principal impulsor del uso de aguas residuales en la mayor parte de América Latina. Los agricultores usan aguas residuales porque proporcionan una fuente de bajo costo de nutrientes para los cultivos.

Federación de Rusia y Estados Independientes de la Unión Soviética. Hay información completa de 8 países y parcial de 7. Cada año se generan 28 km<sup>3</sup> de aguas residuales, de los que se tratan 20 km<sup>3</sup> (71%) y se reutiliza 1,0 km<sup>3</sup> (3,6%).

Oriente Medio y Norte de África. Con la excepción de Argelia e Irak, está disponible información completa sobre la generación de aguas residuales, tratamiento y uso en todos los países de la región. Cada año se generan 22,3 km<sup>3</sup> de aguas residuales, de los que se tratan 11,4 km<sup>3</sup> (51%) y se reutilizan 3,7 km<sup>3</sup> (17%). Como se puede apreciar hay un elevado porcentaje de uso de aguas residuales tratadas, lo que es esencial en esta región por su escasez de agua. Algunos países de la región tienen previsto aumentar el uso de aguas residuales tratadas. Por ejemplo, Arabia Saudita tiene la intención de aumentar el uso de las aguas residuales hasta el 65% en 2016, mientras que Israel utiliza ya el 70% de las aguas residuales en el sector doméstico. Uso de aguas residuales representa alrededor del 10% del suministro nacional de agua israelí y casi el 20% del suministro de agua para el riego.

África Sub-sahariana. De los 48 países de esta región únicamente hay información completa de tres de ellos, y de otros 13 sólo información parcial, por lo que para esta región la información es muy limitada. De los pocos países con información se puede calcular una generación de aguas residuales de 3,7 km<sup>3</sup>, mayoritariamente de Sudáfrica (3,2), de los que se tratan 3,3 km<sup>3</sup> (89%), mayoritariamente de Sudáfrica (3,2) y se reutilizan 0,06 km<sup>3</sup> (2%). En la mayoría de los casos, las aguas residuales que se utilizan para la agricultura están contaminadas y suelen ser sin tratar.

Oceanía. La información completa sobre los tres aspectos de aguas residuales está disponible sólo para Australia. El volumen de agua residual tratada está disponible para Nueva Zelanda. No hay información con respecto a Fiji y las Islas Salomón. Hay una generación de aguas residuales de 2,1 km<sup>3</sup>, en Australia, y se tratan 2,3 km<sup>3</sup>, en Australia y Nueva Zelanda, reutilizándose 0,35 km<sup>3</sup> en Australia. Alrededor del 45% de los 450 proyectos de uso de aguas residuales en Oceanía son para la agricultura. En Australia, los 0,35 km<sup>3</sup> de aguas residuales tratadas que se utilizan anualmente representan el 19% de las aguas residuales tratadas en el país y alrededor del 4% del suministro total de agua. La agricultura es el sector mayoritario del uso de aguas residuales en Australia, donde unas veinte mil ha se riegan con aguas residuales tratadas. En Nueva Zelanda, las aguas residuales se utilizan para el riego de campos de golf y para aplicaciones industriales, pero los volúmenes implicados son pequeños.

Asia. La información completa está disponible solo en cinco países, mientras que en otros 14 hay datos parciales. De la información disponible se puede calcular una generación de aguas residuales de 132 km<sup>3</sup>, de los que se tratan 42 km<sup>3</sup> (32%) y se reutilizan 14 km<sup>3</sup> (11%). Se estima que 1,3 millones de hectáreas se riegan con aguas residuales en China. El uso de aguas residuales no tratadas es habitual en países como Vietnam, Pakistán o la India. Japón ha adoptado una estrategia integral para el uso de aguas residuales tratadas. En 2009, se utilizaron 0,2 km<sup>3</sup> de aguas residuales tratadas en este país. Más de la mitad se utilizó con fines ambientales, tales como el riego de jardines (27%), recrea-

ción (2%) y el mantenimiento de los caudales en ríos (29%). En Japón el uso de aguas residuales en la agricultura y la industria representa solamente el 7% y 1% de las aguas residuales tratadas, respectivamente. Además, más del 3% del agua residual tratada se utiliza para descargas en baños. Esta estrategia de uso de aguas residuales en Japón es algo único, ya que se centra en los usos de agua urbanos, en lugar de proporcionar agua principalmente para usos agrícolas.

Europa. En la revisión de Sato<sup>2</sup> se dispone de información completa sobre la generación de aguas residuales, tratamiento y uso para diez países de Europa, e información parcial del resto, 31 países. Los datos disponibles conducen a una generación de aguas residuales de 52 km<sup>3</sup>, de los que se tratan 35 km<sup>3</sup> (67%) y se reutilizan 1,4 km<sup>3</sup> (2,7%). El uso de aguas residuales está condicionado por la geografía. En el sur de Europa las aguas residuales regeneradas se utilizan principalmente para el riego agrícola (44% de los proyectos de aguas residuales) y aplicaciones urbanas o ambientales (37% de los proyectos). En el norte de Europa, las aguas residuales se utilizan principalmente para las aplicaciones ambientales (51% de los proyectos) y la industria, que representa el 33% de los proyectos. Respecto a España, el 71% del volumen de aguas residuales se utiliza para el riego, 17% para aplicaciones ambientales, 7% para la recreación, 4% para la reutilización urbana y el 0,3% para fines industriales.

## EL FUTURO DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

En la actualidad la reutilización a escala mundial de aguas residuales municipales está en clara expansión.

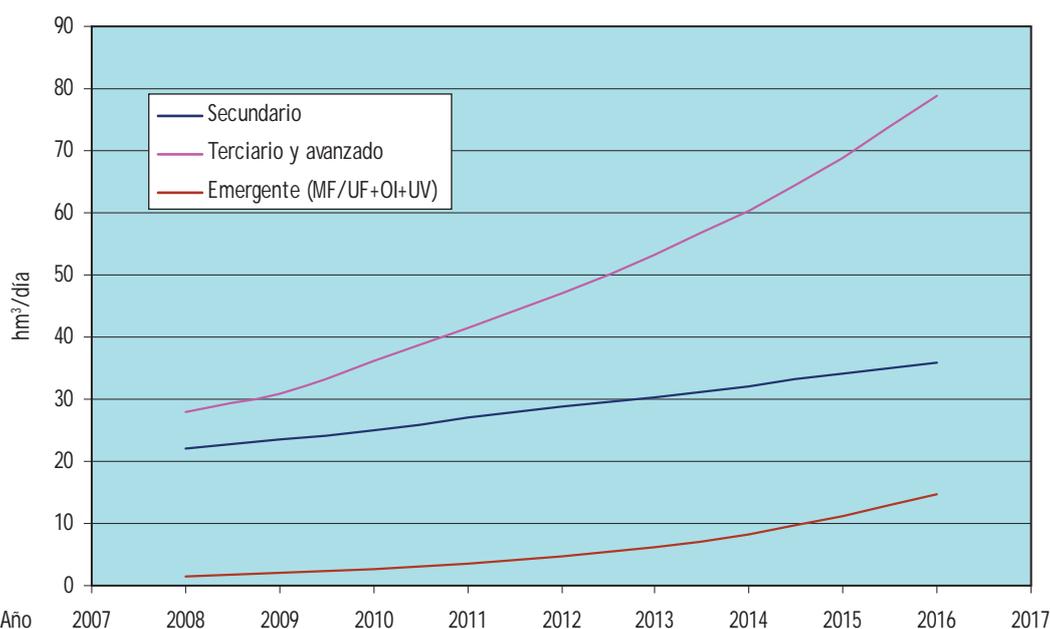
En la publicación de Global Water Intelligence<sup>3</sup> se realiza un análisis exhaustivo sobre las previsiones de crecimiento. Se apuntan cuatro razones principales para este crecimiento de la reutilización:

1. La escasez de agua derivada del creciente aumento económico y demográfico. Cientos de millones de personas en muchas partes del mundo dependen actualmente de recursos subterráneos sobreexplotados. El cambio climático plantea la posibilidad de que las sequías prolongadas se conviertan en fenómenos recurrentes. También llama la atención el consumo de energía en el sector del agua (en California, por ejemplo, el 20 % del consumo de energía total del estado es en el transporte y tratamiento de agua) y los requisitos adicionales de agua de los biocarburantes (un litro de bioetanol podría requerir hasta 2.100 litros de agua para hacer crecer la materia prima y para el proceso de transformación).
2. Las preocupaciones medioambientales están pasando a primer plano en la crisis del agua. Históricamente, la primera solución a la escasez de agua ha sido la de construir grandes presas y la transferencia de agua. Estos enfoques están ahora ampliamente considerados como perjudiciales para el medio ambiente. Por otra parte, la desalinización de agua de mar requiere energía, y la toma de agua y evacuación de salmueras pueden tener un impacto sobre el medio ambiente marino si no son adecuadamente

<sup>2</sup> Sato et al., 2013.

<sup>3</sup> Intelligence, 2009.

Gráfico 3. Evolución prevista de la capacidad instalada de los distintos grados de tratamiento de las aguas residuales



Fuente: Intelligence, 2009.

mitigadas. La reutilización del agua utiliza menos energía que la desalinización, y su aplicación en general es beneficiosa para el medio ambiente. Esta es una razón clave por la que actualmente se da prioridad a esta solución para paliar la escasez de agua por los políticos de todo el mundo.

3. El valor económico que representa la reutilización del agua. Sin reutilización, el tratamiento de aguas residuales tiene un valor ambiental, pero sin ningún valor financiero. La reutilización del agua, añade un nuevo valor a la propuesta. La inversión en infraestructura de aguas residuales se motiva no solo por la necesidad de los servicios públicos para cumplir con las regulaciones del medio ambiente, sino porque la reutilización del agua crea la posibilidad de vender el producto final. Incluso cuando el agua reciclada no se vende a un precio de mercado, el gasto necesario para mejorar el tratamiento de aguas residuales para la reutilización del agua, puede ahorrar mucho dinero que habría que gastar en otros proyectos de suministro de agua. La actual crisis financiera ha reforzado los argumentos económicos para la reutilización del agua. El sector del agua es un componente importante y clave del paisaje eco-industrial a escala mundial. El mercado mundial del agua está creciendo rápidamente y se estima que puede llegar a un billón de euros en 2020. Por otra parte, el potencial de innovación en el campo de la gestión del agua podría contribuir de manera significativa a la creación de empleo y la competitividad. Por ejemplo, en Europa un aumento del 1% de la tasa de crecimiento de la industria del agua podría crear hasta 20.000 puestos de trabajo<sup>4</sup>.
4. La disminución de la oposición pública a la reutilización en general y a la reutilización indirecta como agua potable. La creciente confianza y buen resultado de las tecnologías emergentes como la ultrafiltración, la ósmosis inversa, los biorreactores de membrana y la desinfección ultravioleta han minimizado los posibles problemas de salud pública relacionados con la reutilización

<sup>4</sup> Sanz & Gawlik, 2014.

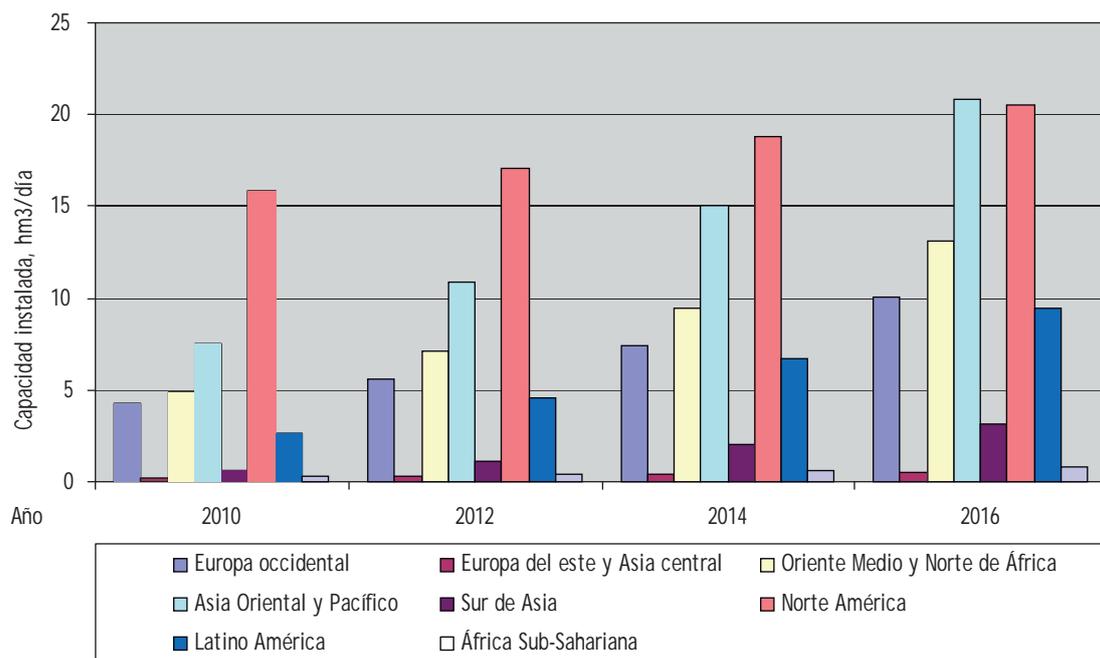
En el gráfico 3 se muestra el crecimiento previsible de la capacidad instalada para los distintos grados de tratamiento a los que se puede someter el agua residual antes de su reutilización. Como se puede apreciar, el tipo de tratamiento que más crece es el terciario y avanzado.

Es interesante hacer mención del tratamiento que denominamos avanzado o emergente, dada su reciente aplicación, y que está basado en tratamiento del efluente secundario con membranas y desinfección adicional. Este tratamiento combina en serie el proceso de ultrafiltración (UF) o microfiltración (MF), seguido de ósmosis inversa (OI) y de desinfección mediante radiación ultravioleta (UV) u otro proceso de oxidación avanzada. Este triple tratamiento (UF/MF+OI+UV) obtiene un agua que cumple las normas más exigentes que se puedan establecer para el agua potable y, en consecuencia, permite su uso urbano o la inyección en acuíferos (o mezcla en embalses) para la reutilización potable indirecta.

Este tratamiento emergente se está empleando ya en varios países, por ejemplo:

- Desde 2008 en el Condado de Orange (Orange County Water District), en el Sur de California, hay en marcha un sistema de reposición de aguas subterráneas a partir de aguas residuales que se someten al sistema avanzado de purificación de agua. Son inyectadas en el acuífero de donde se extrae el agua potable, como barrera de intrusión marina para su reutilización potable. El proceso de purificación produce agua de alta calidad que supera los estándares del estado de California y los estándares federales de agua potable en USA. Se emplea para producir 260.000 m<sup>3</sup>/día de agua. Está en funcionamiento desde enero de 2008, y desde entonces en expansión hasta 2015. El sistema de tratamiento puede producir 378.000 m<sup>3</sup>/día, y se proyecta una capacidad última de 492.000 m<sup>3</sup>/día. Se estima que este proceso contribuye con alrededor del 25% del suministro de agua dul-

Gráfico 4. Evolución prevista para la capacidad instalada de tratamientos terciarios y avanzados por regiones



Fuente: elaboración de datos de Intelligence, 2009.

- ce en la cuenca y disminuye la dependencia de agua importada costosa desde el norte de California y el río Colorado.
- En Singapur, la agencia nacional del agua introdujo en 2003 el proyecto NEWater (Singapore Water Reclamation), un proceso de barreras múltiples estrictas que supera los estándares de agua potable. Cuenta actualmente con cinco plantas con tratamiento avanzado con una capacidad total combinada de 462.000 m<sup>3</sup>/día de agua regenerada. Parte de este agua se mezcla en los embalses con el agua que se emplea como agua potable. NEWater puede satisfacer actualmente el 30% de la demanda total de agua de Singapur, y se prevé que pueda satisfacer hasta el 55% de su demanda en 2060.
- En Perth, Australia, un primer proyecto de reposición de aguas subterráneas a gran escala comenzará a funcionar a finales de 2016 para asegurar el suministro de agua potable de la ciudad contra la disminución de la precipitación provocada por el cambio climático. El tratamiento incorpora la triple barrera de membranas y desinfección. El agua tratada recarga un acuífero profundo que se usará algunos años más tarde. La capacidad inicial es de catorce mil millones de litros/año, por lo que se convertirá en la próxima fuente de agua independiente del clima (ciclo del agua) para la creciente población de Perth, que también cuenta con dos plantas desaladoras de agua marina a gran escala. Este proyecto podrá suministrar hasta el 20% de las necesidades de agua potable a más de dos millones de personas.

Mención aparte merece el caso de Namibia, donde, en la ciudad de Windhoek se cuenta con la primera, y de más larga duración, instalación de reutilización de agua potable directa. Lleva en funcionamiento desde 1968 y actualmente proporciona cerca del 35% del suministro total de agua potable para la ciudad. Windhoek tiene una población en rápido crecimiento de 325.000 personas en uno de los países más áridos de África del Sur. La planta de recuperación de Goreangab se ha convertido en

una fuente de orgullo para una ciudad que sigue a la cabeza del mundo en la recuperación directa. En los más de cuarenta y cinco años de operación, el agua siempre ha cumplido con las normas de calidad, permitiendo proteger la salud de los consumidores. En este caso el tratamiento no incluye membranas, aunque está prevista una nueva planta incorporando la tecnología de biorreactores de membranas.

En España tenemos ejemplos de tratamiento avanzado en las depuradoras de Benidorm y de Rincón de León, en Alicante, cuyo efluente secundario se somete a UF + OI + UV y el agua regenerada se aplica fundamentalmente a regadío. En el caso de Benidorm permite permutar agua residual por agua dulce de acuífero (veremos con detalle este caso en el apartado de ejemplos del presente estudio).

Teniendo en cuenta cada uno de los posibles tratamientos de regeneración, la capacidad instalada de tratamientos para la reutilización de aguas residuales crecerá a escala mundial hasta alcanzar en 2016 los 130 hm<sup>3</sup>/día.

En el gráfico 4 se muestra la distribución de nuevos tratamientos terciarios, excluidos los emergentes, por regiones.

Como se puede observar, Norte América y Asia Oriental son las regiones con mayor previsión de crecimiento para este tipo de tratamientos.

Los cinco países en los que se prevé un mayor crecimiento en la construcción de tratamientos terciarios o avanzados para las aguas residuales urbanas son, por este orden, China, Estados Unidos, España, México y Australia. En la tabla 2 se indican los datos para estos países.

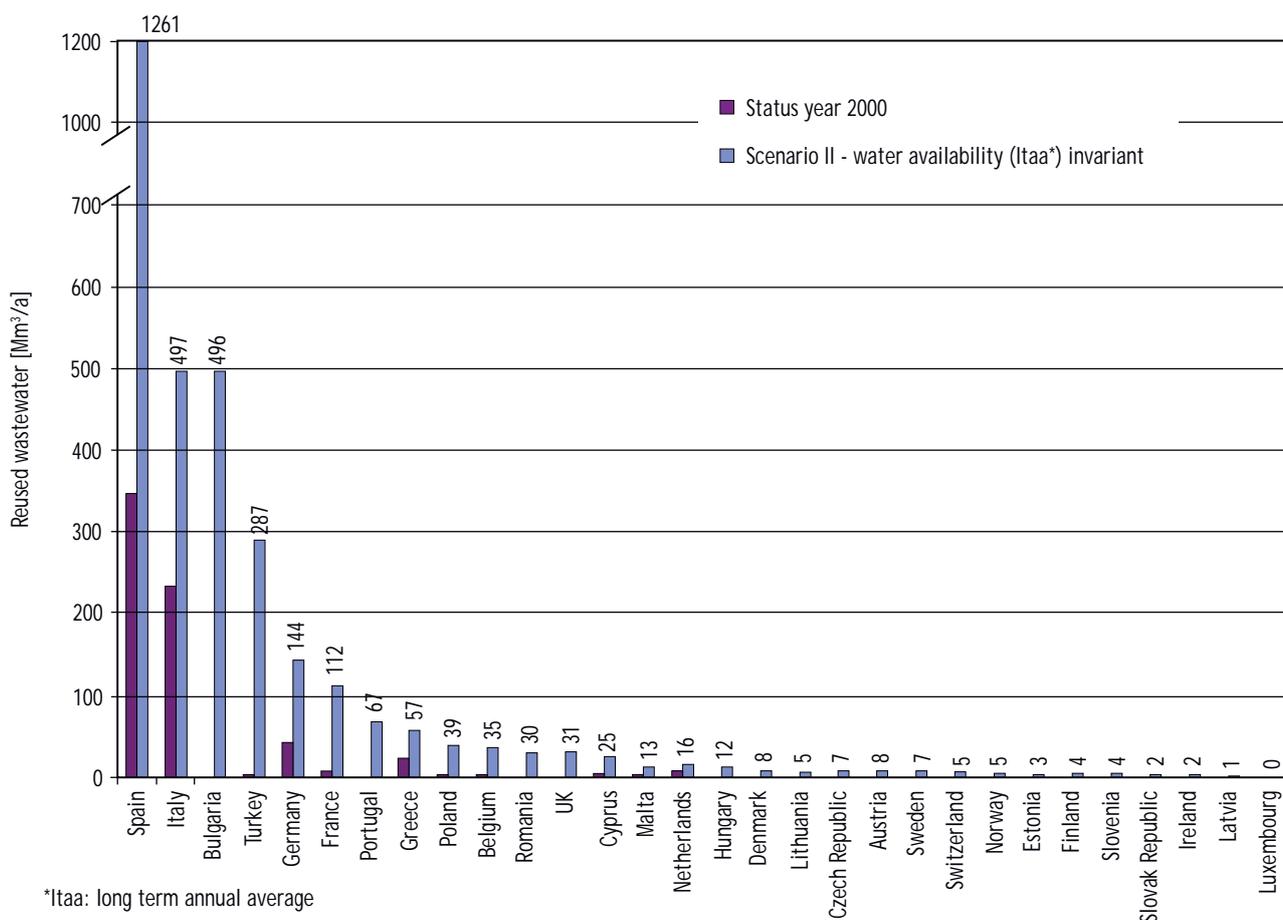
Podemos apreciar que España ocupa un lugar muy relevante en estas previsiones de crecimiento y es, sin duda, el país de

Tabla 2. Países en los que se prevé un mayor crecimiento de la capacidad instalada de nuevos tratamientos terciarios o avanzados

País	Millones de habitantes (2008)	Caudal de aguas residuales tratadas (hm <sup>3</sup> /día)	Porcentaje de reutilización (2008)	Incremento previsto entre 2008 y 2016 de la capacidad instalada de tratamientos terciarios o avanzados (hm <sup>3</sup> /día)
China	1.338,0	69,7	14	10,4
Estados Unidos	307,0	1.192,2	14	5,3
España	40,5	11,6	11	3,5
México	111,0	21,0	4	3,4
Australia	21,3	5,4	15	2,4

Fuente: elaborada con datos de Intelligence, 2009.

Gráfico 5. Potencial de reutilización en la UE



Fuente: Raso, 2013.

la UE con mayor capacidad de reutilización de aguas residuales. Raso<sup>5</sup> realizó una proyección para los países de la UE hasta 2025 mostrando que España es el país que presenta un mayor potencial de crecimiento para la reutilización, que puede alcanzar 1.200 Mm<sup>3</sup>/año. El resto de países con mayor potencial son Italia y Bulgaria con 500 Mm<sup>3</sup>/año, Turquía 287 Mm<sup>3</sup>/año, Alemania con 144 Mm<sup>3</sup>/año y Francia con 112 Mm<sup>3</sup>/año. El resto de países tienen una previsión de reutilización inferior a 100 Mm<sup>3</sup>/año. En el gráfico 5 se muestra la capacidad de reutilización actual y la proyección para 2015.

5 Raso, 2013.

## BIBLIOGRAFÍA

- Fluet, M. J., Vescovi, L., y Bokoye, A. I. 2009: *The United Nations World Water Development Report 3: Water and Climate Change (Citizen Mobilization, a Source of Solutions)*. Paris, UNESCO.
- Intelligence Global Water. 2009: *Municipal Water Reuse Markets 2010*. Media Analytics Ltd.
- Jiménez, B. y Asano, T. 2008: *Water Reuse: An International Survey of Current Practice. Issues and Needs*. London, IWA Pub. DOI 10.2166/9781780401881.
- Levine, Audrey D., Leverenz, Harold L. y Asano, T. 2010: "Water Reclamation and Reuse", in *Water and Health* [Ed. Willie O.K. Grabow],

- in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Developed under the Auspices of the UNESCO, Oxford, Eolss Publishers.
- Municipal Water Reuse Markets 2010. 2009: *Analysis, forecasts and inventory*. Oxford, Global Water Intelligence-Media Analytics Ltd.
- National Research Council. Committee on the Assessment of Water Reuse as an Approach for Meeting Future Water Supply Needs. 2012: *Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater*. National Academies Press.
- Rajendra, P. y Bhattarai, P. E. 2015: *Water Reuse in Texas. Past, Present and Future. Twenty-ninth Surface Water Quality Monitoring: Annual Workshop*. Camp Allen-Navasota, Texas.
- Raso, J. 2013: *Updated report on wastewater reuse in the European Union*. Brussels, European Commission.
- Sanz, L. A. y Gawlik, B. M. 2014: *Water Reuse in Europe-Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation*. Brussels, Joint Research Centre.
- Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T. y Zahoor, A. 2013: "Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use", en *Agricultural Water Management*, 130, 1-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007>
- Schertenleib, M. H. y Egli-Brož, H. 2011: *Globale Klimatologie: Meteorologie, Wetterinformation und Klimatologie*. Compendio Bildungsmedien AG.
- Werner, B. y Collins, R. 2012: *Towards efficient use of water resources in Europe*. Copenhagen, European Environment Agency.
- World Water Development Report, 2015: *Water for a Sustainable World*. Paris, UNESCO.

## Depuración y reutilización de aguas en España

### *Wastewater Treatment and Water Reuse in Spain*

*Joaquín Melgarejo-Moreno*

Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante, Alicante, España. jmelgar@ua.es

*M.<sup>a</sup> Inmaculada López-Ortiz*

Universidad de Alicante, Alicante, España. iortiz@ua.es

**Resumen** — El tema de la depuración y la reutilización de las aguas es de gran trascendencia, sobre todo en los espacios donde la escasez de recursos convencionales es un problema estructural, como es el caso de España. El potencial que presenta este recurso no convencional, estratégico en las situaciones de déficit, es incuestionable; máxime si se tiene en cuenta en el marco de la planificación y bajo el supuesto de un modelo de explotación hídrica que tenga como objetivo prioritario la conservación, protección y mejora de la calidad del agua, y la utilización sostenible y eficiente de los recursos naturales. En el trabajo se pone de manifiesto cómo depuración y reutilización van ligadas, ya que la reutilización de aguas residuales está asociada a una regeneración previa, y son dos herramientas esenciales del modelo ambiental del agua, tal como lo preconiza la normativa comunitaria. El ingreso de España en las instituciones europeas ha sido un revulsivo en los temas ambientales, por cuanto ha supuesto la exigencia de adaptar al país a la normativa europea, mucho más exigente. El esfuerzo realizado ha sido importante, pero todavía estamos lejos de cumplir con todos los requerimientos de Europa.

**Abstract** — *The issue of wastewater treatment and the reuse of water is of great importance, especially in areas where the shortage of conventional resources is a structural problem, as it is in the case of Spain. The likelihood that this unconventional, strategic resource would become scarce is unquestionable, particularly in cases where water planning and exploitation systems prioritize the preservation, protection and improvement of water quality, as well as the sustainable and efficient use of natural resources. This paper shows how wastewater treatment and reuse are linked, as the reuse of wastewater is associated with a previous regeneration, and both of them are essential tools for maximizing environmental outcomes, as called for in the European Union Directives.*

---

**Palabras clave:** depuración, reutilización de aguas, España

**Keywords:** wastewater, treatment and water reuse, Spain

**Información Artículo:** Recibido: 14 marzo 2016

Revisado: 12 septiembre 2016

Aceptado: 19 octubre 2016

INTRODUCCIÓN<sup>1</sup>

Las aguas depuradas regeneradas deben considerarse como un recurso no convencional, cuya gestión debe incluirse en una planificación integral de los recursos hídricos, que tenga en cuenta los aspectos económicos, sociales y ambientales. La reutilización puede incrementar los usos del agua ya utilizada, aumentando la disponibilidad de recursos hídricos. El agua regenerada puede sustituir usos que no requieran una calidad elevada, liberando volúmenes de mejor calidad para otros usos más exigentes. Las limitaciones ambientales y las sequías plurianuales han llevado a numerosas poblaciones a plantearse la utilización de aguas depuradas como fuente adicional de agua para aprovechamientos que no requieran una calidad de agua potable.

Los beneficios de la reutilización se manifiestan principalmente en el incremento de los recursos disponibles, teniendo en cuenta además que, frente a otros recursos alternativos, las aguas regeneradas presentan unas importantes ventajas. Son un recurso estable al estar condicionado por el abastecimiento. Son más baratas que las obtenidas mediante trasvases o desalinización, ya que su producción consume menos energía que los anteriores métodos de incremento de la oferta. Con los tratamientos actuales, su calidad es suficiente para la mayoría de los usos, por lo que carece de sentido usar agua de mejor calidad para el riego u otras actividades con un coste excesivo. Esto permite liberar recursos de mejor calidad para el abastecimiento mediante el intercambio con los regantes, reservando el agua potable para usos domésticos<sup>2</sup>. Del mismo modo, la utilización de aguas regeneradas permite reducir la explotación de acuíferos sobreexplotados o con problemas de intrusión, especialmente marina en áreas costeras. En muchas ocasiones, tras el tratamiento adecuado, estas aguas se están utilizando para proporcionar caudales ecológicos o volúmenes ambientales<sup>3</sup>. También pueden utilizarse en usos industria-

les o recreativos. Debe tenerse en cuenta, además, que el uso de aguas regeneradas en la agricultura disminuye el consumo de fertilizantes, al aprovechar los nutrientes que estos recursos pueden aportar. Asimismo, proporciona alternativas al vertido del agua depurada en zonas en que este resulta complicado, y contribuye a la depuración del agua cuando se utiliza como filtro verde, al eliminar sustancias más difícilmente biodegradables. Los tratamientos para la regeneración incrementan la garantía sanitaria en aquellas zonas en las que ya venían siendo utilizadas las aguas residuales con inferior tratamiento para el riego; mejoran la productividad de los cultivos, al eliminarse sustancias perjudiciales, y eliminan la contaminación por vertido al dominio público, en caso de no reutilización directa.

Asociados a estas ventajas hay que señalar otros beneficios indirectos que pueden obtenerse como la demanda de actividad en el sector de la construcción y la creación de empleo que conlleva el esfuerzo inversor en infraestructuras y el mantenimiento de la agricultura y sus valores ambientales, sociales y patrimoniales. En definitiva, las aguas regeneradas reutilizadas rentabilizan los procesos de depuración y aportan tecnología y una posición de vanguardia en la gestión racional de los recursos hídricos disponibles.

## SITUACIÓN DE LA DEPURACIÓN Y REUTILIZACIÓN EN ESPAÑA

La política ambiental europea tiene entre sus principios fundamentales la conservación, protección y mejora de la calidad del agua, así como la utilización prudente y racional de los recursos naturales. Para la consecución de dichos objetivos se han seguido diferentes estrategias en el transcurso del tiempo, que han ido desde la protección de los recursos hídricos en función de los usos del agua (objetivos de calidad), al control de vertidos mediante normas de emisión, para llegar a una estrategia ambiental basada en la protección de las masas de agua consideradas como ecosistemas acuáticos, con un enfoque, por tanto, más ambiental, que promueve e impulsa un uso más sostenible del agua<sup>4</sup>.

Con la aprobación de la Ley de Aguas en 1985 se inicia una nueva visión en relación con el control de la contaminación, al incluir una serie de estipulaciones que significaron un cambio de planteamiento en relación con los vertidos. Los aspectos más rele-

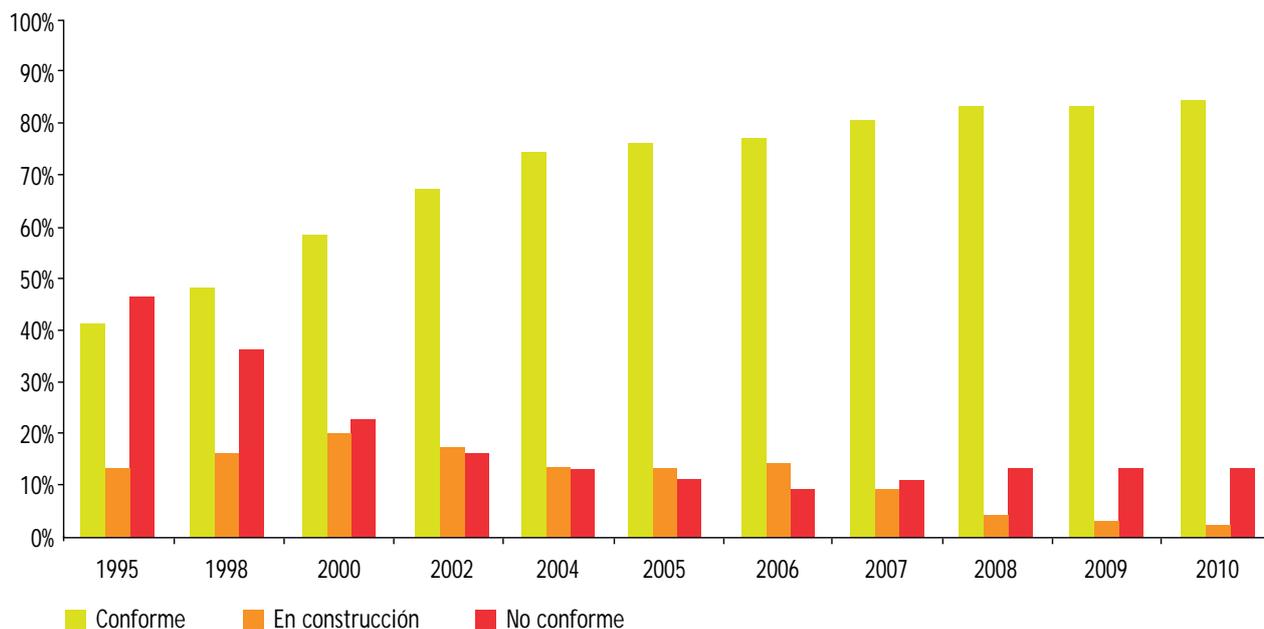
1 Este trabajo ha sido financiado en parte por la Fundación Séneca-Agencia de la Ciencia y la Tecnología, con cargo al Proyecto "El papel de los mercados del agua en la gestión integrada de los recursos hídricos en las cuencas deficitarias" (Ref. 19325/PI/15).

2 Un ejemplo de probada eficacia lo encontramos en la comarca de la Marina Baja (Alicante), donde se vienen realizando permutas entre la agricultura y el abastecimiento a través del Consorcio de Aguas de la Marina Baja. El Consorcio de Aguas es el garante del abastecimiento en alta de la mayor parte de la población de la comarca desde 1968. Ha sabido articular, junto a los regantes, un sistema de intercambio de caudales que garantizan la "suficiencia" de recursos globales del sistema. Los regantes acceden a no utilizar o liberar aguas blancas que por derecho les corresponden según las concesiones otorgadas, utilizándose las mismas para satisfacer las necesidades de abastecimiento de los municipios costeros. A cambio, el Consorcio se compromete a enviarle a los regantes caudales depurados en buenas condiciones de calidad procedentes de las EDAR de la comarca para atender a las necesidades de regadío, o a financiar las obras y gastos corrientes de aquellas otras Comunidades que no aceptan estos caudales. El equilibrio del sistema lo completa una transferencia de recursos, bien como aportaciones directas del Consorcio a los presupuestos de las Comunidades de regantes, bien a través del pago de facturas energéticas en su nombre y mantenimiento de infraestructuras, que ha sido desde los años setenta, y lo sigue siendo en la actualidad, favorable para todas las partes implicadas. De esta forma, el análisis de la demanda urbana de agua no puede ir separado del estudio de la demanda agrícola y viceversa, tanto si el consumo es de caudales blancos, como si analizamos el consumo de aguas depuradas, ya que el sistema funciona de forma integrada (Melgarejo et al, 2015).

3 Es el caso del agua proporcionada por la EDAR de Pinedo en Valencia, que permite reutilizar 78 hm<sup>3</sup>/año para emplearlos en el regadío y en la restauración medioambiental del Parque Natural de la Albufera.

4 La Administración hidráulica hizo sus primeras aproximaciones al problema de control de la contaminación al clasificar los ríos españoles en protegidos, vigilados, normales e industriales, con una calidad de referencia decreciente, lo que en teoría significaba que los vertidos debían ser controlados en función de la tipología del cauce al que vertían, que a su vez estaba relacionada con los potenciales usos del agua en cada caso (Circulares del MOPU en 1959 y 1960). La realidad distó bastante de lo que se pretendía con ese primer intento de controlar los vertidos y, ya en la década de los setenta, fue el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX el que elaboró unas Recomendaciones (1974) para el Diseño de Instalaciones de Depuración. De esta manera, se prescribió, quizá por primera vez con carácter general, que los tratamientos de depuración propuestos debían cumplir unas condiciones para la calidad del efluente con carácter orientativo que podrían ser revisadas para casos especiales (Cajigas, 2012). De aquella década de los setenta se pueden destacar los planes especiales de la Costa Brava (1971) y de las Islas Baleares (1972), que representaron el inicio de significativas actuaciones en el litoral español, cuyo objetivo no era otro que mejorar la situación de las playas y, por tanto, ofrecer una adecuada infraestructura sanitaria para el desarrollo de la actividad turística.

Gráfico 1. Grado de conformidad de la Directiva 91/271/CEE, 1995-2010



Fuente: Elaboración OSE a partir del MAGRAMA, 2012.

vantes de esa nueva estrategia fueron: a) "Todos los vertidos capaces de provocar contaminación requieren una autorización", lo que se traducía en la práctica en la exigencia de llevar a cabo medidas correctoras para minimizar su impacto en el medio. b) Los vertidos irán gravados con un canon en función de su tipología y características contaminantes. c) El incumplimiento de los límites impuestos en la autorización llevaría consigo un expediente sancionador por daños al dominio público hidráulico. Pese a la citada regulación, para que realmente fuera de verdadera aplicación lo estipulado, había que esperar a la aprobación de los Planes Hidrológicos de Cuenca (PHC), por ser estos los que establecerían las "características básicas de calidad de las aguas y la ordenación de los vertidos de aguas residuales". Es decir, las autorizaciones de vertido carecían de referente cierto mientras no se concretaran en los PHC los objetivos de calidad de acuerdo con los usos del agua<sup>5</sup>.

El nuevo enfoque dado por la Ley de Aguas pronto se vio sobrepasado al incorporarse España a la CEE en 1986 y tener que cumplir con el elenco normativo europeo en materia de calidad de aguas. Primero, fueron las Directivas de objetivos de calidad o de primera generación (baños, vida piscícola, prepotables, etc.) y, después, las de segunda generación (normas de emisión), cuyo principal exponente fue la Directiva 91/271 sobre depuración de aguas residuales urbanas<sup>6</sup>.

En España, la depuración a gran escala se inicia con el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración 1995-2005 (PNSD), que tenía como principal objetivo cumplir la Directiva 91/271CEE, que establecía calidades de vertido de aguas residuales tratadas en función de la zona de vertido<sup>7</sup>. El PNSD fue elaborado para coordinar las actuaciones de las administraciones públicas en esta materia, dado que es competencia autonómica. Durante su período de implantación, se pasó de un volumen de 0,13 m<sup>3</sup>/habitante/día de aguas residuales tratadas en 1996 a 0,31 en 2006. El dato más reciente, del año 2011, cifra el volumen de aguas residuales tratadas en 13,5 hm<sup>3</sup>/día, y principalmente se producen en Andalucía, Cataluña, Madrid y Valencia<sup>8</sup>.

En 2006 el grado de conformidad con las exigencias de tratamiento de la Directiva para las depuradoras de toda España era del 76%, con un 13% adicional de tratamientos en ejecución y un 11% de casos no conforme (por tratamiento inadecuado o no tratamiento). Durante el periodo 1995-2010, España solo depuró el 84% de sus aguas residuales; y aunque la población equivalente no conforme experimentó un descenso considerable, situándose en 2010 en un total de 10.909.722 h-e (16%), el esfuerzo realizado no ha sido suficiente<sup>9</sup>. A España le quedaba en esa fecha todavía

<sup>5</sup> Cajigas, 2012.

<sup>6</sup> Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Diario Oficial n.º L 135 de 30 de mayo de 1991*. La Directiva 91/271/CEE establecía las medidas necesarias que los Estados miembros habían de adoptar para garantizar que las aguas residuales urbanas recibieran un tratamiento adecuado antes de su vertido, con la finalidad de reducir los niveles de contaminación de las aguas superficiales. Esta Directiva señala dos obligaciones diferenciadas: el diseño y construcción de colectores que recojan las aguas residuales generadas por las aglomeraciones urbanas y los distintos tratamientos a los que se debían someter las aguas residuales antes de su vertido, en función de las características de la zona de vertido. Las zonas se clasifican en

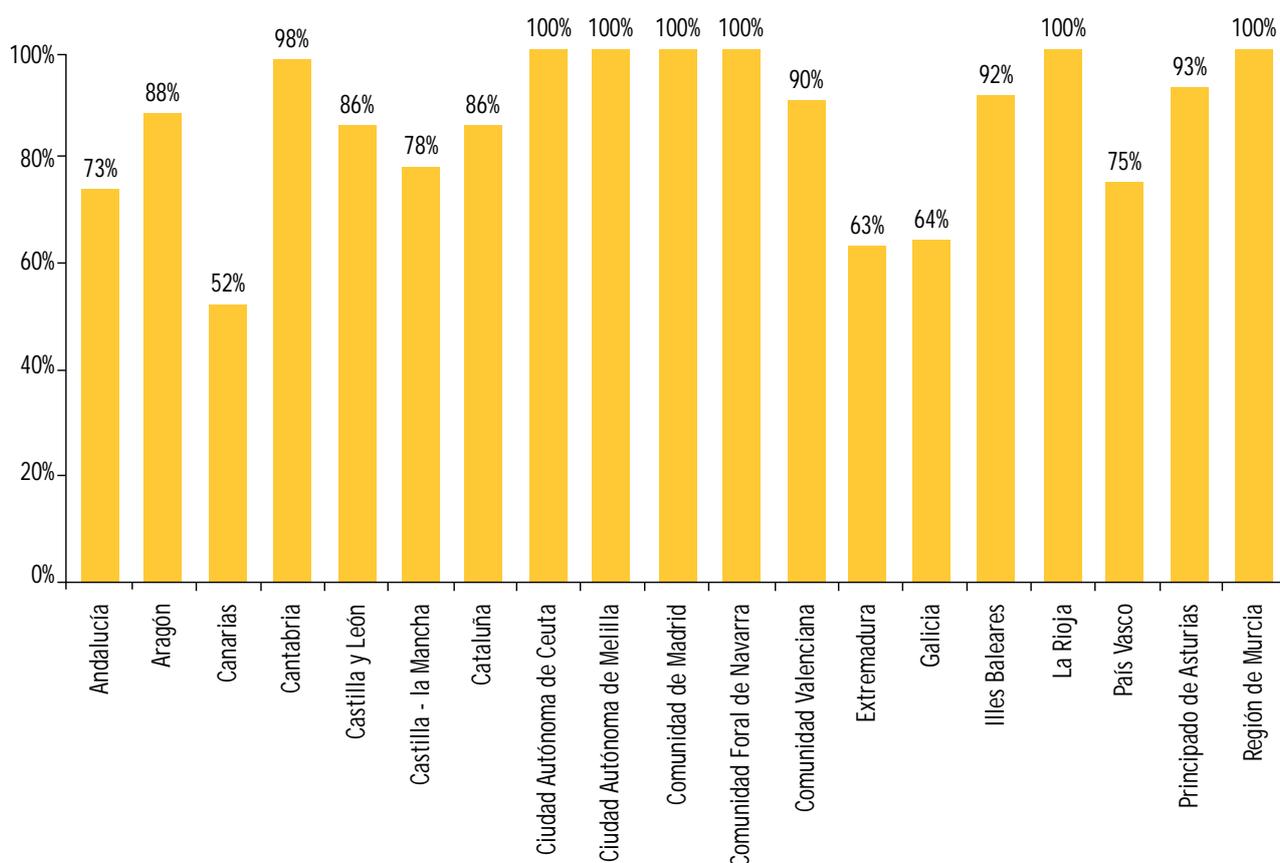
"sensibles", "menos sensibles" o "normales", y, de acuerdo a esta clasificación, los tratamientos serán más o menos rigurosos. Los tipos de tratamiento se clasifican en tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento más riguroso y tratamiento adecuado. En 2006 se produjo una nueva declaración de zonas sensibles y, como consecuencia, se tuvieron que adaptar muchas instalaciones para cumplir con los requisitos de reducción de nutrientes.

<sup>7</sup> Resolución de 28 de abril de 1995, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Vivienda, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros de 17 de febrero de 1995, por el que se aprueba el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente. B.O.E. n.º 113, de 12 de mayo de 1995.

<sup>8</sup> MAGRAMA, 2014.

<sup>9</sup> Porcentaje de habitantes equivalentes con tratamiento de aguas residuales según los objetivos fijados por la Directiva comunitaria 91/271/CE respecto al

Gráfico 2. Grado de conformidad con la Directiva 91/271/CEE por Comunidades Autónomas, 2010



Fuente: Elaboración OSE a partir del MAGRAMA, 2012.

mucho por hacer para poder cumplir con el objetivo marcado por la Unión Europea a través de la Directiva 91/271/CE. La evolución del grado de cumplimiento o conformidad de España con la normativa europea de depuración puede verse en el gráfico 1. En él queda evidenciado el avance notable que ha experimentado el país como consecuencia de la aplicación del PNSD.

Según el MAGRAMA<sup>10</sup>, la Comunidad de Madrid, Comunidad Foral de Navarra, Región de Murcia, La Rioja y las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla eran las regiones con mayor grado de conformidad con la Directiva 91/271/CE, cumpliendo con el 100%; por el contrario, Canarias con un 52% era la región con el porcentaje más bajo (gráfico 2). Por demarcaciones hidrográficas, Tajo, Guadiana y Guadalquivir eran, en 2011, las que presentaban peor calidad del agua. Miño-Sil, Ebro, Galicia Costa, Cantábrico occidental y oriental y Júcar fueron las demarcaciones donde todas las estaciones de control indicaron valores con menor contaminación.

El PNSD contemplaba inversiones por valor aproximado de 1,9 billones de pesetas de 1995 (11,4 miles de millones de euros, según los datos facilitados por las Comunidades Autónomas en 1995 y contrastados entonces por la Secretaría de Estado

total de habitantes equivalentes. Mide el nivel de depuración y la eficiencia del sistema de depuración existente en una cuenca hidrográfica o en un territorio determinado.

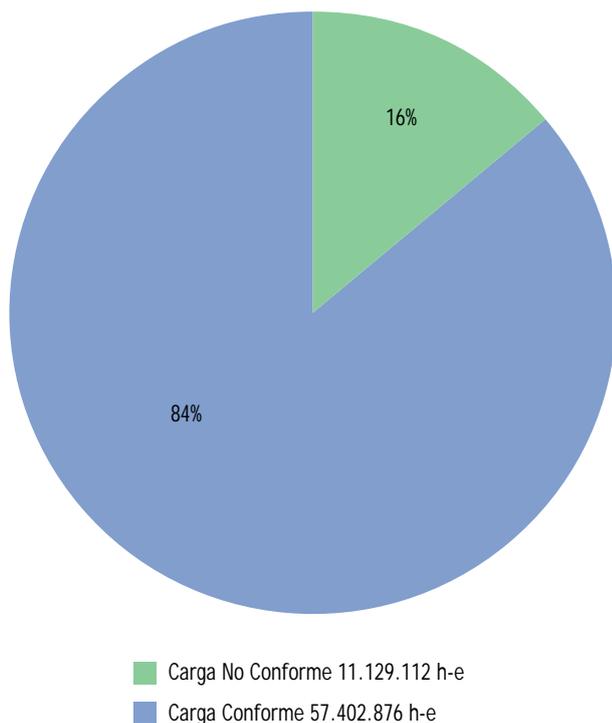
<sup>10</sup> MAGRAMA, 2012.

de Medio Ambiente y Vivienda del MOPTMA), con los que había que financiar todas las necesidades en materia de saneamiento y depuración, con intervención de las tres administraciones con competencias (estatal, autonómica y local). El Plan preveía como aportación de la Administración General del Estado (AGE) para cada Comunidad Autónoma un 25% de toda la inversión que fuese precisa en actuaciones que se declaraban de interés general, dejando por lo tanto el 75% restante a las Comunidades Autónomas que debían acometer las inversiones antes del 31 de diciembre de 2005<sup>11</sup>. Un elemento clave radicaba en asegurar la adecuada gestión de las instalaciones (explotación y mantenimiento de los sistemas de depuración) para evitar su fracaso una vez construidas las plantas. Para ello, la AGE recomendaba a las Comunidades Autónomas que creasen entes supramunicipales de gestión que, bien de forma directa o a través de empresas especialistas, se hicieran cargo de la operación de las instalaciones. Además, todo ello conllevaría la generalización del cobro del denominado canon de saneamiento, con la finalidad de que este permitiera al menos cubrir los costes de explotación e incluso pudiera servir como instrumento clave para la financiación de las plantas que

<sup>11</sup> MAGRAMA, 2007. No obstante, el éxito de la financiación del Plan estuvo en la aportación de los Fondos Europeos (Cohesión y Feder), ya que la mayor parte de las estaciones depuradoras contaron con estas ayudas (en algunos casos de hasta el 80 u 85%). Puede afirmarse que más de la mitad de las ejecuciones del Plan se aprovecharon de los recursos europeos (Cajigas, 2012).

debían acometer las autonomías en el marco de los acuerdos del PNSD<sup>12</sup>. En definitiva, el Plan ha marcado un hito en el desarrollo de la depuración en España, ya que ha permitido, desde su aprobación en 1995 hasta el año fijado en la Directiva (2005), la construcción de más de setecientas depuradoras, lo que ha elevado el nivel de cobertura por encima del 80% y ha supuesto una notable mejora en la calidad del agua de los ríos y del litoral. La situación del cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE en 2013 puede observarse en el gráfico 3.

Gráfico 3. Cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE en España, 2013



Fuente: Torres, 2014.

En 2007 se aprobó el Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y Depuración 2007-2015 (PNCA), que tenía como objetivo fundamental lograr la plena conformidad con la Directiva 91/271/CEE y la Directiva Marco del Agua, así como cubrir las necesidades futuras en materia de saneamiento y depuración<sup>13</sup>. El presupuesto total asignado para este programa ascendía a 19.645 M€, que se distribuían en diferentes actuaciones, tal como queda

12 Muchas Comunidades Autónomas, sensibles a la dificultad que supondría la gestión de numerosas instalaciones, abordaron la creación de entidades gestoras como ESAMUR en Murcia, EPSAR en Valencia, ACA en Cataluña, en Madrid es el Canal de Isabel II quien cumple esa función, NILSA en Navarra y otras en Baleares, Rioja, Galicia, Aragón y País Vasco: de manera que mediante el cobro de un canon de saneamiento (desigual en su cuantía) han podido acometer el mantenimiento y la explotación de cientos de depuradoras (en algunos casos también su construcción), contribuyendo así al éxito del Plan de Depuración y al cumplimiento de la normativa europea.

13 El Ministerio de Medio Ambiente, en colaboración con las Comunidades Autónomas, realizó el Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y Depuración 2007-2015, con el propósito de alcanzar los objetivos que no se habían cubierto con el anterior (que había logrado un nivel de conformidad del 77%) y para dar respuesta a las nuevas necesidades planteadas por la Directiva Marco del Agua y por el Programa AGUA.

reflejado en la tabla 1. Del total de la inversión estimada, el Ministerio de Medio Ambiente se comprometía a aportar 6.233 M€; de los cuales, 3.046 eran heredados del primer Plan de Saneamiento, 1.777 estaban asociados a nuevos compromisos de intervención y 1.430 eran de financiación recuperable en 45 años a través de las Sociedades Estatales. Sin embargo, la crisis económica que ha atravesado el país desde 2008 no ha permitido que se ejecuten la mayor parte de estas inversiones<sup>14</sup>.

Los objetivos básicos perseguidos por el PNCA eran los siguientes: 1) Definir y asegurar los caudales ambientales. 2) Proteger la biodiversidad y los dominios públicos hidráulicos y marítimo-terrestres como territorio. 3) Gestionar los dominios públicos hidráulico y marítimo terrestre para asegurar la calidad y el buen estado de las masas de agua superficiales, subterráneas, de transición y costeras. 4) Garantizar el abastecimiento a las poblaciones. 5) Fomentar la participación pública y asegurar una administración del agua transparente. 6) Potenciar la concertación, cooperación y coordinación interadministrativa para mejorar la dotación y los niveles de servicios a la población. 7) Proteger los derechos de las generaciones actuales y futuras a un agua de calidad y a la conservación de los ecosistemas y del rico y abundante patrimonio natural español.

El PNCA preveía que, en 2015, unos mil doscientos hm<sup>3</sup>/año –es decir, el 34 % de los aproximadamente 3.500 hm<sup>3</sup>/año del total de agua residual tratada ese año- fuese adecuadamente generada y estuviese potencialmente disponible para reutilización<sup>15</sup>. En 2012 España tenía un nivel de depuración comparable a los países que forman parte de la UE, situándose en la media en relación con los sistemas de depuración convencionales, aunque por debajo en lo que se refiere a las zonas sensibles y también a las pequeñas y medianas aglomeraciones<sup>16</sup>. Sin embargo, aunque la Comisión Europea reconoce la “solución de algunos problemas” identificados en sistemas de depuración de agua, señala que España sigue “rezagada” en la aplicación de la normativa común. Se trata básicamente de incumplimientos que afectan a “zonas sensibles”, es decir, enclaves en los que las exigencias de depuración son mayores por tratarse de áreas con valor ecológico o “destinadas a la obtención de agua potable”, tal como establece la directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas

14 El MAGRAMA ha reducido las necesidades inversoras urgentes hasta el 2020 a casi la mitad, cifrándolas en 10.000 M€. Según el informe de la consultora *Price Water House Coopers* (2014) sobre la gestión del agua en España, durante el periodo 2013-2021, las necesidades de inversión del sector del agua ascenderían a 15.700 M€, de los cuales 13.700 M€ se dedicarían a saneamiento, alcantarillado y depuración (AEAS, 2015).

15 En cuanto a la distribución por usos del agua depurada, en 2007, un 75% se destinaba para uso agrícola, el 12% para usos recreativos y campos de golf, el 6% para servicios urbanos, el 4% para usos ecológicos y recarga de acuíferos, y en torno al 3% era para uso industrial.

16 España cumple la Directiva 91/271 en un 84% según el último informe entregado a Europa correspondiente al año 2013. Sin embargo, discerniendo el cumplimiento por artículos, se observa que en el artículo 5, que corresponde al tratamiento más riguroso en vertidos a Zonas Sensibles con eliminación de Nitrógeno y Fósforo, España cumple solo entre el 40% y el 60%. Aproximadamente setecientas aglomeraciones urbanas tienen abierto un proceso de infracción por incumplimiento y otras 200 están detectadas como potenciales infractoras.

Tabla 1. Actuaciones previstas y valoración económica de las mismas en el Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y Depuración, 2007-2015

	Euros	%
1. Actuaciones declaradas de Interés General (incluye las actuaciones de Confederaciones Hidrográficas y Sociedades Estatales)	1.114	5,7
2. Actuaciones sin EDAR o con EDAR no conforme	2.903	14,8
3. Actuaciones por nueva declaración Zonas Sensibles	4.782	24,3
4. Actuaciones para cubrir necesidades futuras	5.620	28,6
5. Actuaciones para contribuir a alcanzar los objetivos de la Directiva Marco del Agua (DMA)	1.938	9,9
6. Actuaciones en saneamiento (sin depuración)	2.741	14,0
7. Actuaciones para fomentar I+D+I en saneamiento y depuración	547	2,8
TOTAL	19.645	100,0

Fuente: MIMAM, 2007.

de 1991<sup>17</sup>. Una parte importante del incumplimiento de España se debe a la gran cantidad de zonas sensibles del país, ya que el 27,2% del territorio nacional está incluido en la Red Natura 2000, lo que ha supuesto un incremento de las necesidades de depuración de unas doscientas poblaciones, con un coste asociado superior a los 2.200 M€.

En 2003, casi cinco años después de que concluyese el plazo máximo para la instalación de los sistemas de depuración de aguas residuales, España recibió el primer aviso europeo por insuficiente tratamiento de las aguas en varias localidades. La amonestación se repitió en 2008. En 2011 el Tribunal de Justicia de la Unión Europea condenó a España por incumplir la Directiva 91/271/CE, al no haber adoptado las medidas necesarias en relación con la recogida y tratamiento de las aguas residuales urbanas de numerosas aglomeraciones españolas de más de 15.000 habitantes. En noviembre de 2014, la Comisión Europea de nuevo denunció a España ante el Tribunal de Justicia de la Unión Europea (TJUE) por no garantizar el "correcto tratamiento" de las aguas residuales urbanas en varios municipios de Galicia y Cataluña, y por haber remitido información "incompleta" o no haber cumplido los niveles óptimos en poblaciones de Andalucía y Cataluña. En 2015 los procedimientos abiertos contra España por incorrecta depuración afectaban a 800 núcleos de población repartidos por toda la geografía nacional<sup>18</sup>. En abril de ese mismo año, el Tribu-

nal de Justicia de la UE condenó a España por verter las aguas residuales de 38 zonas urbanas de más de 15.000 habitantes sin tratarlas previamente. Este vertido incontrolado supone un riesgo que infringe la ley sanitaria y medioambiental de la UE, en vigor desde 2000. La condena afecta al Reino de España y no se pronuncia contra las localidades afectadas, lo que obliga al Gobierno de la Nación a cumplir la ley y abre la puerta a sanciones económicas si la Comisión vuelve a denunciar la infracción ante el tribunal comunitario<sup>19</sup>.

El incumplimiento resulta especialmente grave en Andalucía, donde hasta 13 zonas urbanas vierten aguas residuales directamente al mar y la ausencia de depuradoras ha generado problemas de contaminación por aguas fecales en zonas tan sensibles como el Parque Nacional de Doñana; en Galicia, nueve ciudades incumplen la norma (entre ellas Vigo y Santiago, A Coruña ya la cumple este año) y los residuos vertidos al mar han obligado a cerrar al marisqueo algunas rías durante años. La Comunidad Valenciana (6), Canarias (4), Cataluña (2), Asturias (2) y el País Vasco (1) completan las zonas sancionadas por el tribunal comunitario. Finalmente, el 10 marzo de 2016, el Tribunal de Justicia de la Unión Europea dictaminó que España ha incumplido algunas obligaciones en virtud de la directiva de 1991 sobre tratamiento adecuado de aguas residuales urbanas en aglomeraciones de la zona de Pontevedra y en Banyoles (Girona), tal y como denunció la Comisión Europea. En cambio, da la razón a España al no ver incumplimiento de la normativa en las aglomeraciones de Bollullos Par del Condado (Huelva), Abrebra y Capellades (Barcelona).

En 2014 se aprobó el Plan de Medidas para el Crecimiento, la Competitividad y la Eficiencia (Plan CRECE) con un objetivo: 2020. El Plan se fundamentaba en la colaboración entre la iniciativa pública y privada, y preveía una movilización de inversiones con cofinanciación europea estimada en 1.000M€, destinados a la ejecución de las infraestructuras de depuración necesarias para dar cumplimiento a las exigencias comunitarias. El objetivo se cifraba en invertir en 400 depuradoras con el fin de mejorar la calidad del agua de los ríos al depurar las aguas procedentes de

17 La determinación de las zonas sensibles depende del Estado para las cuencas hidrográficas intercomunitarias y de las Comunidades Autónomas para las cuencas intracomunitarias y las aguas costeras. Una vez declarada zona sensible, el plazo para cumplir los requisitos correspondientes son siete años y las revisiones de zonas "sensibles" y "menos sensibles" se deben hacer cada cuatro años, de acuerdo al artículo 5.6 de la Directiva 91/271/CEE. En 1998 se declararon las zonas sensibles de las cuencas hidrográficas intercomunitarias y se identificaron las aglomeraciones afectadas. En los años siguientes, las Comunidades Autónomas han publicado sus zonas sensibles, aunque la revisión cada cuatro años no se ha realizado en todos los casos.

18 En abril de 2015 España tenía abiertos cuatro expedientes por falta de depuración de aguas residuales que afectaban a unos ochocientos núcleos de población repartidos por todo el país. La Comisión Europea en ese momento presentó una demanda ante el Tribunal de Luxemburgo referida a uno de estos cuatro expedientes y parte de un procedimiento de infracción que se había abierto en 2003. La demanda afecta a siete núcleos de Andalucía, Cataluña y Galicia, cada uno de ellos con más de diez mil habitantes. Se trata de siete "zonas sensibles", que se corresponden con las "aglomeraciones" de Bollullos Par del Condado (Andalucía); Abrebra, Berga, Capellades, Figueres y El Terri (Cataluña); y Pontevedra-Marin-Poio-Bueu (Galicia).

19 Tras interponer la denuncia, la Comisión reclamó al Gobierno que cumpliera con el tratamiento de aguas residuales en 2015, horizonte hasta el cual Bruselas no volvería a denunciar al Ejecutivo español. En caso contrario, España podría perder las subvenciones que la UE ofrece a los Estados para la construcción de las depuradoras que exige la ley.

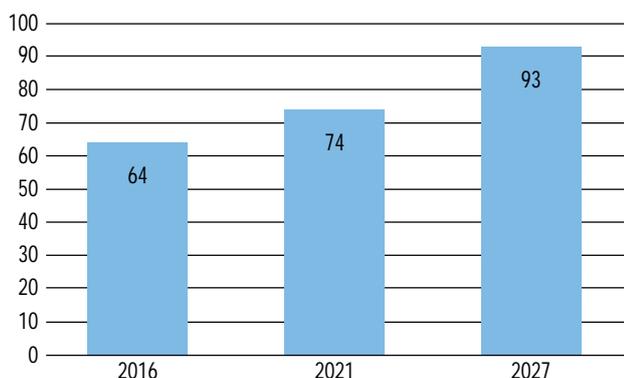
Tabla 2. Actuaciones e inversiones estimadas, según priorización, hasta 2027

PRIORIDADES 1, 2 Y 3 AGE + COMUNIDADES AUTÓNOMAS	AGE		COMUNIDADES AUTÓNOMAS	
	NÚMERO DE ACTUACIONES	NECESIDAD INVERSIÓN (M€)	NÚMERO DE ACTUACIONES	NECESIDAD INVERSIÓN (M€)
Procedimiento de infracción Directiva 91/271/CEE ZZNN (P>15.000 hab-equiv). (2004/2031)	3	115	2	15
Procedimiento de infracción Directiva 91/271/CEE ZZSS (P>10.000 hab-equiv). (2002/2123)	2	70	13	31
Procedimiento de infracción Directiva 91/271/CEE ZZNN (2.000<P<15.000 hab-equiv) y ZZSS (2.000<P<10.000 hab-equiv). PPAA (2012/2100)	101	212	269	635
TOTAL	106	397	284	681

TOTAL TODAS LAS ADMINISTRACIONES	NÚMERO DE ACTUACIONES	NECESIDAD INVERSIÓN (M€)
	390	1.078

Fuente: Torres, 2014; MAGRAMA / AEAS, 2015.

Gráfico 4. Objetivos ambientales de buen estado de las aguas superficiales para el horizonte 2027



Fuente: Planes Hidrológicos de Cuenca (1er ciclo), AEAS, 2015.

las redes de saneamiento de las ciudades. En el gráfico 4 se observa el objetivo de cumplimiento de la Directiva Marco del Agua propuesto para el horizonte 2027.

Los procedimientos de infracción por incumplimientos que tiene abiertos España por las autoridades europeas han llevado al MAGRAMA a impulsar una priorización en la ejecución de las distintas actuaciones, jerarquizando desde la prioridad mayor (P. 1 y P. 2), para aquellos casos que ya cuentan con sentencia y los que cuentan con dictamen motivado (P. 3), hasta las últimas tres categorías (P. 4, P. 5 y P. 6), que englobarían el resto de actuaciones no incluidas en procedimientos de infracción, pero que pueden considerarse incumplimientos potenciales o se enmarcan en el Horizonte Programa de Medidas Planificación Hidrológica 2027. Las actuaciones previstas para dar respuesta a los incumplimientos más graves (máxima prioridad: 1, 2 y 3) y las inversiones estimadas para tal fin por la Administración General del Estado (AGE) y por las Comunidades Autónomas pueden verse en la tabla 2.

Aunque los fondos europeos (Cohesión y Feder) han sido muy importantes para el desarrollo del Plan Nacional de Depuración, las cantidades transferidas desde Europa distan de cubrir las necesidades de inversión del sector. Durante el período

2014-2020, la Unión Europea dotará una financiación de 1.700 M€ (700 serán transferidos a la AGE y 1.000 a las Comunidades Autónomas) para actuaciones que tengan que ver con la conservación del medio ambiente y la protección de la eficiencia de los recursos (Objetivo Temático 6). Los 700 M€ del Estado (que serán gestionados por el MAGRAMA) irán destinados exclusivamente a infraestructuras de saneamiento y depuración (actuaciones correctoras P.1-P.3). Sin embargo, los 1000 M€ que gestionarán las Comunidades Autónomas deben destinarse al Objetivo Temático 6, pero no necesariamente para el agua, aunque cabe la posibilidad de que una buena parte se destine a infraestructuras de saneamiento. Queda, sin embargo, todavía un déficit de inversión muy importante para financiar las actuaciones correspondientes al resto de prioridades.

Según Torres<sup>20</sup>, la mayoría de las Comunidades Autónomas tienen canon o figura similar con valores de 0,4/0,5 €/m<sup>3</sup>. En algunas Comunidades Autónomas el valor es bajo, no existe o falta definición, es el caso de Castilla y León, Andalucía, Galicia y Canarias. El impacto territorial de las medidas a adoptar para cumplir con la Directiva 91/271 es mínimo o nulo en Aragón y Navarra; de entre 0,10-0,15 en Murcia, La Rioja, Asturias, Cataluña y Valencia; de 0,30 o más en Madrid, Castilla y León, Andalucía y País Vasco; el resto se sitúa en un intervalo que va de 0,1 a 0,30. En cualquier caso, el canon resultante final sería del orden de 0,6/0,7 €/m<sup>3</sup> con la excepción de Madrid y País Vasco en donde estaría en 0,8 €/m<sup>3</sup>.

La financiación de los planes de depuración se realiza a partir de la adaptación a la normativa comunitaria europea, la cual requiere inversiones para mantener y actualizar las infraestructuras existentes. La OCDE y la DMA recomiendan la planificación financiera estratégica para asegurar la sostenibilidad y funcionamiento de los servicios de abastecimiento y saneamiento, y para ello, desarrolló el concepto de las 3Ts para la evaluación de estos sistemas<sup>21</sup>. En España, la ejecución de las infraestructuras corre

<sup>20</sup> Torres, 2014.

<sup>21</sup> Las 3Ts se refieren a las vías de financiación de los servicios de agua urbanos: *Tarifas (tariffs)*, tarifas de agua de los usuarios, siempre que se reinviertan en los servicios de agua; *Transferencias (transfers)*, transferencias donantes; en

a cuenta de la Administración central cuando se consideran de interés general o afectan a varias Comunidades Autónomas, y a cuenta de las Comunidades Autónomas o ayuntamientos cuando únicamente afectan a una Comunidad o a los municipios.

El Plan Nacional de Depuración de 1995-2005 determinó las actuaciones para el cumplimiento de las directivas europeas, y aseguraba la correcta gestión de los sistemas de depuración mediante el establecimiento de cánones de saneamiento. Las necesidades inversoras se estimaron en 12.000 M€ y, aunque en 2005 no se había ejecutado en su totalidad, se construyeron mil instalaciones depuradoras. El 50% de los recursos necesarios fueron aportaciones de fondos europeos (Cohesión y Feder), es decir, transferencias, y el 25% de la AGE (a través de convenios bilaterales con las Comunidades Autónomas) o impuestos.

El Plan Nacional de Calidad de las Aguas, por su parte, estimaba las necesidades de inversión en 19.645 M€, si se incluían las inversiones en I+D+i, desde su aprobación en 2005 hasta el 2015 para afrontar el incumplimiento de la directiva europea 91/271 CEE, la declaración más ambiciosa de zonas sensibles y la Directiva Marco del Agua. La crisis económica que ha sufrido España no ha permitido que se ejecuten ni el 15% de las inversiones previstas inicialmente. Posteriormente, el MAGRAMA, en 2014, redujo las necesidades inversoras a casi la mitad, 10.000 M€ hasta 2020. Finalmente, los Presupuestos Generales del Estado para 2016 contemplan inversiones para mejorar la calidad de las aguas a través de actuaciones en depuración y saneamiento cifradas en 179,32 M€. Con tales fondos se financiarán las depuradoras de Gijón (Asturias), Nerja (Andalucía), Ibiza y Santa Eulalia (Baleares), los saneamientos de la comarca agraria de Hervás (Extremadura) o los colectores generales en la ciudad de Ibiza (Baleares). Con el Plan CRECE, se financiarán las depuradoras de Plasencia y Losar de la Vera (Extremadura), Venta de Baños (Castilla y León), los colectores de Almendralejo (Extremadura) y el Mar Menor (Murcia). A lo anterior, hay que sumar los 484 M€ que invertirán las Sociedades Estatales de Agua en actuaciones en materia de abastecimiento y, sobre todo, en depuración. En esta línea, se integran actuaciones como las depuradoras de San Claudio y Villapérez (Asturias), Badajoz (Extremadura), Orense (Galicia), Burgos (Castilla y León) y el saneamiento de Vigo (Galicia) y los interceptores de la ría de Ferrol (Galicia).

#### EVOLUCIÓN DE LA REUTILIZACIÓN PLANIFICADA EN ESPAÑA

Los orígenes de la reutilización planificada de las aguas residuales en España son difusos, comenzando sin que existiera ningún tipo de regulación y careciendo, en ocasiones, las aguas residuales de tratamiento alguno. La primera experiencia se produjo en Gran Canaria, a principios de 1970, a través de la EDAR de Barranco Seco I de la ciudad de Las Palmas, empleando el agua regenerada para el uso en riego agrícola. Más tarde, esta práctica se extendió a otros municipios del archipiélago canario, a las islas Baleares y a la Costa Brava. A comienzos de 1980, se construyeron plantas de lagunaje en la Región de Murcia, en po-

blaciones como Lorquí, Ceutí, Alguazas, San Javier y Cartagena, que empleaban el agua tratada para el riego. Estas plantas se convertirían después en depuradoras convencionales, la mayoría con tratamientos terciarios. Posteriormente, los efluentes de grandes depuradoras como las de Benidorm, Alicante y Castellón, en la Comunidad Valenciana, también serían utilizados para la agricultura. En los años noventa se inició el riego de campos de golf con aguas depuradas.

Cabe señalar, en este sentido, que el origen de la reutilización en el ordenamiento jurídico español se remonta a la Ley de Aguas de 1985, que en su artículo 101 determinaba que “el Gobierno establecerá las condiciones básicas para la reutilización de las aguas en función de los procesos de depuración, su calidad y los usos previstos”. Tras sucesivas modificaciones de la ley y la aprobación y posterior derogación del Plan Hidrológico Nacional, fue la ley 11/2005 la última que hace referencia a la reutilización antes de que se aprobase el real decreto 1620/2007. La ley 11/2005 determinaba que “el Gobierno establecerá las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según los usos previstos” e incluía que “el titular de la concesión o autorización deberá sufragar los costes necesarios para adecuar la reutilización de las aguas a las exigencias de calidad vigentes en cada momento”. En 2009 se redactó un Plan preliminar del Plan Nacional de Reutilización de Aguas, con el horizonte del primer ciclo de planificación hidrológica (2009-2015). Pese a que se estructuró para ser desarrollado junto con el Plan Nacional de Calidad de las Aguas y los Planes Hidrológicos de Cuenca, no llegó a aprobarse. Por lo tanto, el real decreto 1620/2007 siguió siendo la norma básica vigente sobre reutilización de aguas regeneradas.

En efecto, en 2001 se aprobó la ley 10/2001, del Plan Hidrológico Nacional (PHN), donde se recoge que “España es un país en el que el agua es un recurso escaso, marcado por graves desequilibrios hídricos debido a su irregular distribución”, intentando establecer las bases “para una adecuada planificación de la política hidráulica que se impone como una necesidad, que no puede permanecer ajena a esta realidad y como un instrumento de superación de la misma”. La resolución de estos desequilibrios, según el PHN, debía contemplar un uso armónico y coordinado de todos los recursos hídricos capaces de satisfacer de forma equilibrada los objetivos de la planificación. Con posterioridad, la ley 11/2005, que modifica la anterior sobre el Plan Hidrológico Nacional, afirma que, si bien el trasvase de agua entre cuencas hidrográficas podría suponer a priori una solución para el problema del agua, no es de inminente aplicación para solucionar de manera urgente los problemas actuales, mientras que existen alternativas más prácticas ligadas a la gestión de la demanda, la desalación o la reutilización de recursos, que ayudarían a paliar la demanda de recursos hídricos, evitando entre otros la sobreexplotación y contaminación de acuíferos. Esta norma supuso un fuerte impulso a la reutilización a través del programa nacional “Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua”, conocido como programa AGUA<sup>22</sup>. En él se programaron una serie de actuaciones de mejora

el caso de España, de la Unión Europea; e *Impuestos (taxes)*, fondos recaudados por las autoridades nacionales, locales o regionales a través de los impuestos.

22 En el año 2001 existían en España alrededor de ciento cuarenta sistemas de reutilización, que en 2006 se elevaron a 322 sistemas, y disponían de un caudal

Tabla 3. Actuaciones de reutilización contempladas en el Programa AGUA

Actuaciones	Recursos aportados hm <sup>3</sup> /año
Actuaciones complementarias de reutilización de aguas residuales en el Campo de Dalías	20
Actuaciones de reutilización de aguas residuales en Almería	10
Reutilización de aguas residuales en la ciudad de Málaga	30
Reutilización de aguas residuales en el Mar Menor	25
Reutilización de aguas residuales y obras complementarias en Villajoyosa y otras zonas anejas	10
Reutilización de aguas residuales EDAR de Novelda y Monforte del Cid	5
Reutilización de aguas residuales de la EDAR de Sueca	10
Reutilización de aguas residuales depuradas de la Albufera Sur	5
Reutilización de aguas residuales en el sistema Vinalopó-Alicantí	5
Mejora de depuración y reutilización de aguas residuales en la Plana de Castellón	20
Terminación de la reutilización de las aguas residuales de Pinedo	30
Total	170

Fuente: Yagüe Córdoba, 2005.

de gestión de aguas, poniendo el énfasis en la reutilización y la desalación, con las que se preveía incrementar los recursos aportados mediante reutilización en 170 hm<sup>3</sup>/año<sup>23</sup>. Estas actuaciones pueden verse en la tabla 3.

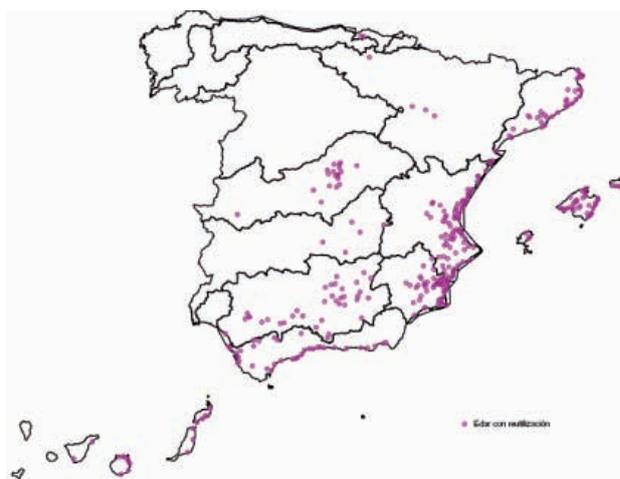
El Plan Nacional de Reutilización de Aguas, 2010-2015 (PNRA) pretendió el apoyo e implicación de las Comunidades Autónomas y Organismos de Cuenca para la financiación y ejecución de las infraestructuras de tratamiento, acumulación y transporte del agua regenerada<sup>24</sup>. El PNRA se marcaba unos ambiciosos objetivos: 1) alcanzar el buen estado que la Directiva Marco del Agua 60/2000/CE imponía para el año 2015; 2) conseguir el “vertido cero” en zonas costeras; 3) sustituir en zonas de interior concesiones de agua prepotable por agua regenerada para los usos en que fuese viable; 4) establecer un modelo de financiación lo suficientemente ágil y dinámico para fomentar el desarrollo de las actuaciones de reutilización de aguas regeneradas; 5) fomentar la reutilización sostenible de aguas regeneradas para los usos agrícola, ambiental, recreativo, industrial y urbano, como una opción viable con respecto al medio ambiente, la seguridad, salud, economía y tecnología disponible; 6) estimar las posibilidades de reutiliza-

concesionado o en trámite de obtener la concesión de 506,8 hm<sup>3</sup>/año.

<sup>23</sup> La reutilización está asociada a una depuración previa. En 2005 existían en España más de dos mil quinientas EDAR que depuraban más de 3.375 hm<sup>3</sup> anuales de aguas residuales. De estas, se estima que se reutilizaban unos cuatrocientos cincuenta hm<sup>3</sup>/año, lo que suponía un poco más del trece por ciento del total.

<sup>24</sup> *Evaluación ambiental estratégica del Plan Nacional de Reutilización de Aguas Regeneradas*. Documento inicial. Puede consultarse en: [http://www.mma.es/secciones/participacion\\_publica/eval\\_amb/pdf/2009\\_p\\_006\\_documentoinitial.pdf](http://www.mma.es/secciones/participacion_publica/eval_amb/pdf/2009_p_006_documentoinitial.pdf)

Mapa 1. Ubicación geográfica de las EDARs con sistemas de reutilización



Fuente: CEDEX, 2008.

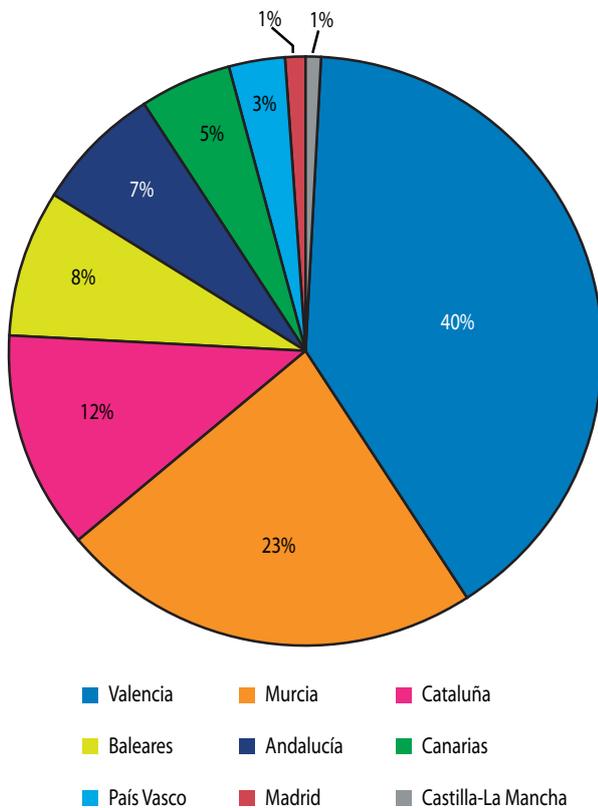
ción futuras; 7) promover las buenas prácticas de reutilización de aguas regeneradas e, informar, sensibilizar y concienciar sobre los beneficios de la reutilización de agua regenerada.

La reutilización está asociada a una depuración previa. En 2005 existían en España más de dos mil quinientas EDAR que depuraban más de 3.375 hm<sup>3</sup> anuales de aguas residuales. En el mapa 1 puede verse la ubicación geográfica de los sistemas de reutilización, destacando los que se localizan en el arco mediterráneo, Andalucía y los archipiélagos de Baleares y Canarias, zonas que combinan la existencia de una elevada demanda urbana y/o agrícola de recursos y la enorme dificultad para proveerse en cantidades suficientes de los mismos, debido al agotamiento y deterioro de las fuentes de abastecimiento tradicionales, la progresiva salinización de los acuíferos y al insuficiente régimen de precipitaciones de estos lugares. En el interior de la península, destaca Madrid sobre el resto de las Comunidades Autónomas.

Por su parte, el volumen de aguas depuradas reutilizadas en España en 2006 se situaba en torno a los 368 hm<sup>3</sup>/año, lo que suponía un 10,8% del total de los caudales residuales depurados. La distribución regional de los volúmenes reutilizados puede verse en el gráfico 5, donde se aprecia cómo los mayores caudales se usaban en el arco mediterráneo, Andalucía y los archipiélagos de Baleares y Canarias, destacando en especial la Comunidad Valenciana, que reutilizaba 149 hm<sup>3</sup>/año (40,4% del total) y la Región de Murcia, que reutilizaba 85 hm<sup>3</sup>/año (23,0%)<sup>25</sup>. La distribución de los 358 hm<sup>3</sup>/año por Demarcaciones Hidrográficas puede verse en el gráfico 6, destacando las demarcaciones del Júcar (34%) y Segura (28%) del total; y, por detrás, Canarias (9%), Cuencas

<sup>25</sup> En la Región de Murcia, tras el diseño de un Plan General de Saneamiento y Depuración, en el año 2001, se han ido ejecutando todas las infraestructuras previstas en el mismo, contando, en 2014, con 88 instalaciones de depuración y 47 bombeos que tratan unos ciento diez hm<sup>3</sup>/año y dan servicio a más del noventa y nueve por ciento de la población regional. Más del sesenta por ciento de estas instalaciones cuentan con tratamiento terciario avanzado. La inversión que se ha llevado a cabo ha sido superior a los 650 M€ solo en estaciones de depuración y colectores generales. Más del noventa por ciento de agua tratada se reutiliza para el riego en agricultura y como caudales ambientales para el río Segura, que ha pasado de ser el río más contaminado de Europa a que en él se puedan realizar todo tipo de actividades deportivas, incluida la pesca (ESAMUR, 2014).

Gráfico 5. Distribución por Comunidades Autónomas de los volúmenes reutilizados (en %) en 2006



Fuente: CEDEX, 2008.

Interiores de Cataluña (7,5%), Cuencas Mediterráneas Andaluzas (7,4%) y Baleares (6,3%).

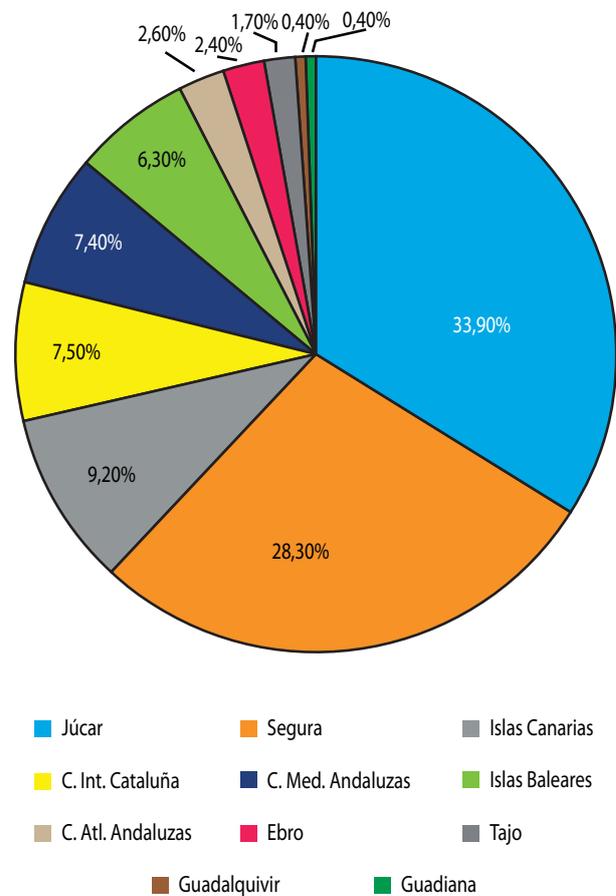
En el estudio del CEDEX con datos de 2005 y 2006, solo se contemplaban depuradoras de más de 1 hm<sup>3</sup>/año y no se contabilizaron sistemas de reutilización con menos de 0,2 hm<sup>3</sup>/año, por lo que puede afirmarse que en la actualidad la capacidad de reutilización es mayor. Los datos globales, publicados por Corrochano en 2008, considerando todas las depuradoras, arrojan una cifra total de 447,3 hm<sup>3</sup>/año. Las comunidades de Valencia y Murcia han seguido incrementando sus programas de reutilización hasta alcanzar en el caso de la Comunidad Valenciana, en 2010, los 350 hm<sup>3</sup>/año, cifra que significa un incremento de más del doble respecto a las cantidades de 2008<sup>26</sup>.

### USOS DEL AGUA REGENERADA EN ESPAÑA

Los usos que se le pueden dar a las aguas regeneradas son muchos y variados. Los cinco principales a los que se destina el

<sup>26</sup> Es de destacar, en el caso de la Comunidad Valenciana, el Plan de reutilización de Aguas en el área metropolitana de Valencia que consiste en la ampliación de la capacidad de siete depuradoras y la modernización y mejora de los sistemas de tratamiento en las conducciones necesarias para transportar el agua depurada al lugar de uso, así como en la construcción de colectores para desconectar totalmente los sistemas de alcantarillado y las infraestructuras de riego. El coste de estas actuaciones asciende a unos ciento cuarenta M€, que generaran unos ciento cincuenta hm<sup>3</sup>/año de agua regenerada para regar la huerta de Valencia y mantener la Albufera.

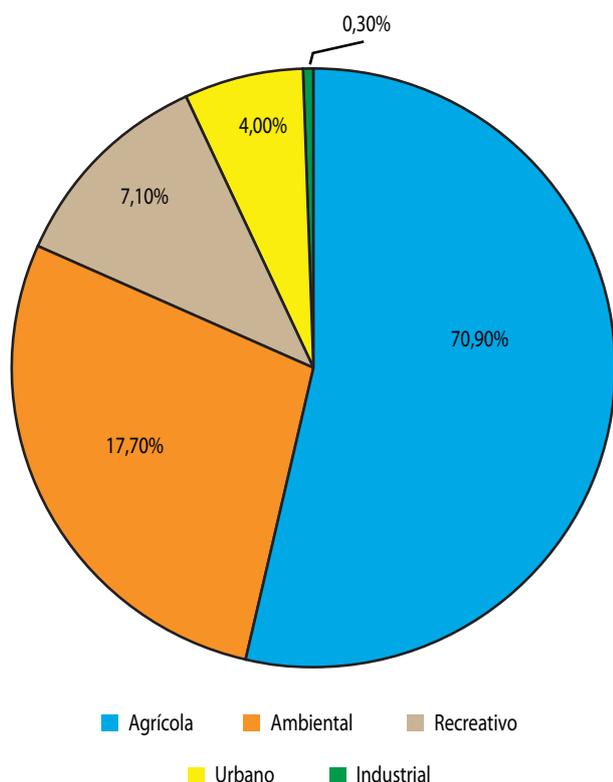
Gráfico 6. Distribución por Demarcaciones Hidrográficas de los volúmenes reutilizados (en %) en 2006



Fuente: CEDEX, 2008.

agua regenerada en España están representados en el gráfico 7. En primer lugar —y a mucha diferencia de los demás— figura el agrícola, con más del setenta por ciento del total del destino de las aguas regeneradas y un volumen anual de 261 hm<sup>3</sup>/año, que se utilizan para el riego de productos de consumo humano en fresco, pastos, agricultura, cultivos leñosos, ornamentales, viveros y forrajes, entre otros. Según el informe del CEDEX, en este caso no se incluyen en el uso agrícola aquellos riegos que están utilizando agua bruta, como las zonas forestales, los cuales deben adecuarse a las calidades exigibles por el real decreto 1620/2007. Contado estos volúmenes se alcanzarían los 310 hm<sup>3</sup>/año. Es sin duda el uso que más puede contribuir al ahorro de agua superficial y/o subterránea, y, por tanto, ayudar a la conservación del medio natural. Al uso agrícola le sigue en importancia el ambiental, al que se destina más del diecisiete por ciento de los caudales reutilizados, que sirven para la recarga y recuperación de acuíferos, el riego de bosques y zonas verdes, la silvicultura, la restauración y mantenimiento de humedales, las infiltraciones para evitar la intrusión salina o la restitución de caudales ecológicos. El uso recreativo, con el 7% de los caudales, constituye el siguiente aprovechamiento en importancia, destinándose los volúmenes principalmente en este caso al riego de campos de golf, aunque

Gráfico 7. Distribución por usos del agua regenerada en España



Fuente: CEDEX, 2008.

también a estanques o caudales circulantes ornamentales<sup>27</sup>. El 4% se dedica al aprovechamiento urbano (residencial, jardines privados, descargas de aparatos sanitarios) y servicios (riego de zonas verdes, limpieza de calles, sistemas contra incendios, lavado industrial de coches); mientras que solo una exigua cantidad, el 0,3% del total, es para aprovechamiento industrial (aguas de proceso y limpieza, refrigeración, condensadores). Resulta fundamental que las administraciones regionales impulsen e incluso obliguen cuando sea aconsejable al uso de aguas residuales depuradas cuando su aprovechamiento lo permita, sobre todo en los espacios que se ven afectados por déficit permanente<sup>28</sup>.

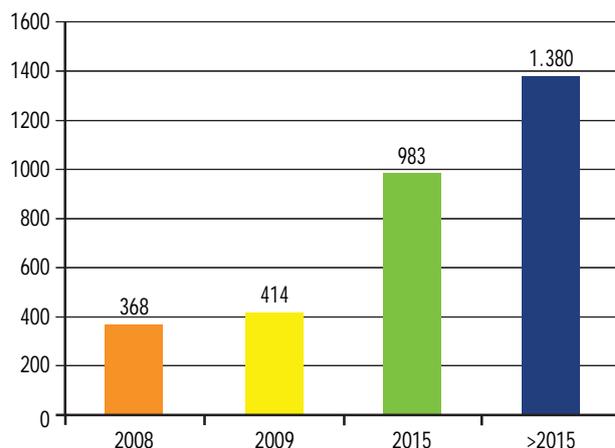
Del caudal reutilizado total (368 hm<sup>3</sup>/año), solo el 61% (223,7 hm<sup>3</sup>/año) cuenta con un tratamiento de regeneración, mientras que el 39% restante carece de él, reutilizándose con una calidad de tratamiento secundario. Debe tenerse en cuenta, en este sentido, que la entrada en vigor del real decreto 1620/2007 obligaba a construir tratamientos de regeneración en los casos en que no exista y a adecuar alguna de las estaciones regeneradoras existentes para que su efluente se adapte a las calidades de uso exigidas<sup>29</sup>. A escala nacional, las estaciones depuradoras de las que toman agua los sistemas de reutilización tratan 1.757 hm<sup>3</sup>/año, lo

27 Para el riego de campos de golf se prevé un importante crecimiento de las aguas regeneradas destinadas a este fin, ya que existen en la actualidad en España unos trescientos campos de golf con unas necesidades hídricas de unos ochenta hm<sup>3</sup>/año y en casi todas las Comunidades se está regulando con el fin de obligar a que estas instalaciones se abastezcan con estos recursos, como es el caso de la Comunidad Valenciana a través de la ley 9/2006.

28 Melgarejo, 2009.

29 Idem.

Gráfico 8. Evolución de la reutilización de agua en España (hm<sup>3</sup>/año)



Fuente: Yagüe Córdoba, 2014.

que representa el 69% de su capacidad total (2.546 hm<sup>3</sup>/año). La capacidad de las estaciones regeneradoras en funcionamiento en 2006 fue de 706,6 hm<sup>3</sup>/año, lo que supone un 40% sobre el caudal depurado. En cuanto al volumen de agua reutilizada, 368 hm<sup>3</sup>/año supone un 52% sobre la capacidad de regeneración en funcionamiento y un 21% sobre el caudal de agua residual depurado<sup>30</sup>. Por lo tanto, teniendo en cuenta que del volumen reutilizado un 60,75% pasa por una estación regeneradora, podría deducirse que los sistemas de reutilización actuales podrían incrementar en un 68,34% los volúmenes de agua regenerada si existieran nuevas demandas en su zona de influencia. En todo caso hay que tener en cuenta la estacionalidad de la demanda del uso de riego agrícola, por lo que las capacidades de regeneración en este tipo de sistemas son notablemente superiores a los volúmenes regenerados, lo que hace difícil determinar el sobredimensionamiento actual de las estaciones regeneradoras. Con todo, la evolución del consumo de este tipo de caudales y las previsiones que se estiman para el futuro son claramente alcistas, como puede apreciarse en el gráfico 8.

#### COSTES DE LA DEPURACIÓN Y REUTILIZACIÓN

En el marco de la Unión Europea no se dispone de subvenciones concretas para fomentar la reutilización de agua<sup>31</sup>. Los mecanismos existentes se pueden agrupar en dos categorías: los que financian los costes iniciales y los que se aplican a los costes de explotación. En España no existe un mercado de agua regenerada, por lo que resulta difícil obtener un precio para este pro-

30 En 2008 la reutilización de aguas depuradas en la Comunidad Valenciana era de las más importantes de España, alcanzándose la cifra de 225 hm<sup>3</sup>/año, que se han utilizado principalmente en el regadío. Esta cifra representa el 45% del agua tratada generada en las depuradoras (512 hm<sup>3</sup>/año). 154 hm<sup>3</sup> han sido reutilizados directamente (30%), el resto, 71 hm<sup>3</sup>, han sido obtenidos mediante la aplicación de tratamientos terciarios, que en ocasiones son complementados por procesos de desalinización, como, por ejemplo, en la EDAR de Benidorm, procedentes de 32 EDARs que tienen incorporados estos tratamientos avanzados (coagulación-floculación, filtración y algunas ultravioletas y/o ósmosis inversa) (Melgarejo, 2009).

31 Hernández et al, 2006.

ducto; por eso, se asume que el coste por metro cúbico debe ser igual al precio máximo de venta, garantizando así la cobertura de los gastos. Para favorecer la reutilización, resulta imprescindible establecer una política de precios que reparta los costes de la regeneración y la gestión de las aguas residuales entre la totalidad del consumo, estableciendo incentivos para lograr que en todos los sectores se utilice agua regenerada cuando esto sea posible.

El coste unitario del agua se define como el cociente entre los importes abonados por el suministro de agua más los abonados en concepto de alcantarillado, depuración y cánones de saneamiento o vertido, y el volumen de agua registrada y distribuida a los usuarios. En 2013 el coste unitario del agua se situó en 1,83 €/m<sup>3</sup>. El suministro alcanzó los 1,09 €/m<sup>3</sup>, mientras que el saneamiento (alcantarillado, depuración, cánones de sanea-

Tabla 4. Coste unitario del agua (€/m<sup>3</sup>) por Comunidades Autónomas en 2013

	Total	Suministro	Saneamiento
Andalucía	1,74	1,04	0,7
Aragón	1,46	0,7	0,76
Asturias	1,32	0,68	0,64
Baleares	2,21	1,11	1,1
Canarias	2,03	1,66	0,37
Cantabria	1,56	0,91	0,65
Castilla y León	1	0,54	0,46
Castilla-La Mancha	1,28	0,79	0,49
Cataluña	2,54	1,34	1,2
Comunidad Valenciana	2,03	1,23	0,8
Extremadura	1,49	1,04	0,45
Galicia	1,19	0,77	0,42
Madrid	2,02	1,28	0,74
Murcia	2,73	1,86	0,87
Navarra	1,47	0,73	0,74
País Vasco	1,52	0,75	0,77
La Rioja	1,06	0,5	0,56
Ceuta y Melilla	1,95	1,37	0,58
Coste unitario medio	1,83	1,09	0,74

Fuente: INE, 2015.

miento y vertido) fue de 0,74 €/m<sup>3</sup><sup>32</sup>. Los valores más elevados del coste unitario del agua en 2013 se dieron en Región de Murcia (2,73 euros por metro cúbico), Cataluña (2,54) y Baleares (2,21). Por el contrario, Castilla y León (1,00), La Rioja (1,06) y Galicia (1,19) presentaron los costes más bajos. El conjunto de los costes unitarios del agua por Comunidades Autónomas puede verse en la tabla 4.

¿Cuáles son los costes de depurar y reutilizar el agua? Hay que comenzar señalando que los costes de los procesos de depuración y reutilización de aguas están condicionados por la existencia de varios factores. En primer lugar, ha de tenerse en cuenta el tipo

de agua a depurar, dado que su procedencia determina la clase y el nivel de agentes contaminantes que se deben eliminar y el tipo de tratamiento que se ha de aplicar. En segundo lugar, tiene que considerarse el uso al que se destina este agua, porque según sea se aplicarán unos procesos u otros para que se cumplan las calidades exigidas por el mismo. Existe una enorme variabilidad de los costes asociados a los distintos tratamientos, pudiendo afirmarse que aumentan a medida que conllevan un mayor número de procesos. Algunos usos, como son los de reutilización industrial y los que se destinan a la recarga de acuíferos, también presentan importantes variaciones de precio. Especial atención merece el tema de los costes energéticos, ya que el consumo es muy desigual (y, por lo tanto, el coste) según la técnica elegida. Así, hay que tener en cuenta que existe una correlación entre el grado de contaminación del agua tratada (medida por el cociente entre los h-e servidos y los metros cúbicos procesados) y el consumo de energía de la planta.

En términos generales, para un tratamiento físico-químico los costes de inversión oscilan entre 20 y 30 euros/m<sup>3</sup>/día instalado y los de operación se sitúan entre 0,02 y 0,03 euros/m<sup>3</sup>; para la filtración sobre lecho de arena los costes de inversión fluctúan entre 55 y 100 euros/m<sup>3</sup>/día instalado y los de operación pueden representar entre 0,01 y 0,03 euros/m<sup>3</sup>; y para una desinfección con rayos ultravioleta los costes de inversión pueden variar entre 7,5 y 8,6 euros/m<sup>3</sup>/día instalado y los de operación entre 0,01 y 0,02 euros/m<sup>3</sup>. Los procesos de microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), ósmosis inversa (OI) y electrodiálisis reversible (EDR) se incorporan cada vez más al tratamiento de aguas residuales, moviéndose sus costes de inversión entre 200 y 400 euros/m<sup>3</sup>/día tratado, mientras que los de explotación varían entre 0,05 y 0,09 euros/m<sup>3</sup>, o sea son del orden o ligeramente superiores al tratamiento convencional, dependiendo de la calidad del efluente secundario<sup>33</sup>.

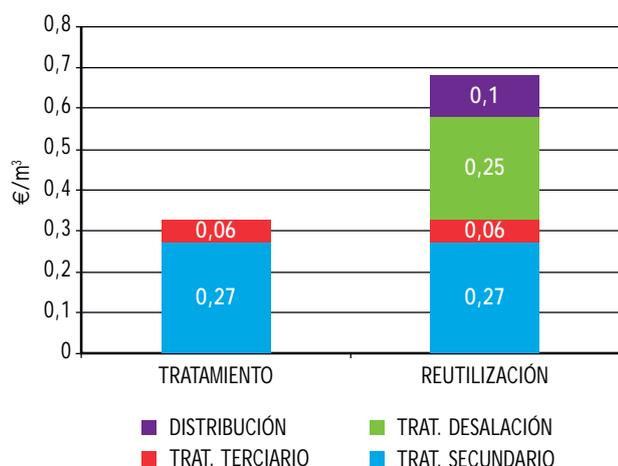
En la Comunidad Valenciana, según los datos obtenidos de la EPSAR (Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales) de la Comunidad Valenciana, para 2009, los costes de depuración ascienden a un total de 0,220 €/m<sup>3</sup>, que se distribuyen del modo siguiente: los costes de personal ascienden a 0,088 €/m<sup>3</sup> (40%); los de la energía, 0,042 €/m<sup>3</sup> (19%); los de residuos, 0,035 €/m<sup>3</sup> (16%); los de mantenimiento, 0,026 €/m<sup>3</sup> (12%); los de reactivos, 0,015 €/m<sup>3</sup> (7%), y, bajo el epígrafe de varios (material de laboratorio, vehículos, combustible, jardinería, etc.), se contabilizan gastos por 0,014 €/m<sup>3</sup> (6%). Por su parte, los costes de explotación difieren de manera sensible atendiendo a los distintos tratamientos. Así, ascienden a 0,26 €/m<sup>3</sup> con tratamiento secundario; a 0,06 €/m<sup>3</sup>, con tratamiento terciario; y a 0,14 €/m<sup>3</sup>, con tratamientos avanzados. El coste de la distribución se establece en 0,1 €/m<sup>3</sup><sup>34</sup>. La estructura de costes de la depuración y reutilización en la Comunidad Valenciana correspondiente a 2015 puede verse en el gráfico 9.

33 Prats y Melgarejo, 2006.

34 Melgarejo, 2009.

32 INE, 2015.

Gráfico 9. Estructura de costes de la depuración y reutilización en la Comunidad Valenciana en 2015



Fuente: EPSAR, 2015.

## CONCLUSIONES

La incorporación de España a la CEE en 1986 implicó la adaptación a la normativa europea sobre depuración, más exigente que la española. Así, la aprobación en 1991 de la Directiva 91/271/CEE sobre depuración de aguas residuales supuso la obligación de disponer de colectores que recogieran las aguas residuales generadas por las aglomeraciones urbanas, y estableció los tratamientos necesarios en función del emplazamiento donde se vertían, clasificando las zonas en "sensibles", "menos sensibles" o "normales", con el objetivo de reducir los niveles de contaminación de las aguas superficiales.

En 1995 se aprobó el Plan Nacional de Depuración, que precisaba las actuaciones que debían llevarse a cabo para el cumplimiento de las exigencias europeas. Además de señalar las depuradoras que había que construir, ampliar, completar o adaptar, el Plan perseguía la correcta gestión de los sistemas de depuración mediante la creación de entes supramunicipales de gestión y el establecimiento de cánones de saneamiento. En toda España, en 1995, se habían construido 500 depuradoras (aunque no todas cumplían las exigencias de la Directiva) y el nivel de cobertura era del 40% en relación a la totalidad de la carga contaminante expresada en habitantes equivalentes. Entre 1995 y 2005, se construyó y aseguró el mantenimiento de mil depuradoras, alcanzando una cobertura del 80% en 2005, lo que mejoró considerablemente la calidad del agua de los ríos y la costa.

En el año 2000 entró en vigor la Directiva Marco del Agua, que pretendía unificar las actuaciones de la Unión Europea y alcanzar un "buen estado" de las masas de agua para 2015. La respuesta a las nuevas exigencias europeas fue la aprobación en 2005 del Plan Nacional de Calidad de las Aguas, que se diseñó con el mismo horizonte temporal que la DMA y tenía el objetivo de lograr el total cumplimiento de los requerimientos europeos.

Una gestión adecuada del agua requiere un equilibrio entre sus valores económicos y sus valores medioambientales, sociales y culturales. La DMA establece un nuevo modelo de uso del agua que puede denominarse modelo medioambiental o de crecimiento

sostenible, en contraposición con los modelos tradicionales de desarrollo de la oferta y en línea con algunos aspectos de los modelos de gestión de la demanda. En los modelos de crecimiento sostenible se debe potenciar y estimular el uso de tecnologías más eficientes, tanto desde un punto de vista ambiental como económico. Bajo esta nueva concepción, la calidad del agua es una restricción para el desarrollo de la actividad económica y los precios del recurso deben ser fijados de forma que, además de englobar el coste de oportunidad, reflejen la escasez y los daños producidos en el medio.

En la actualidad, España no cumple con la legislación comunitaria en materia de depuración del agua urbana. El nivel de cobertura es cercano al 90% del total en relación con la carga contaminante, pero está especialmente alejado de cumplir los objetivos que fija la DMA para la depuración en municipios de más de 10.000 habitantes, ya que solo el 32% de estos municipios españoles cuenta con los sistemas de depuración terciarios que exige la legislación comunitaria<sup>35</sup>.

Dos son los aspectos hacia donde debe encaminarse la gestión en el futuro: uno, la aplicación de nuevas tecnologías que impliquen menos costes energéticos, que sean más amigables con el entorno, que generen menos residuos, en definitiva, que sean más sostenibles; y, dos, un cambio en el modelo de financiación, con mayor protagonismo de los cánones de saneamiento y una revisión profunda de las tarifas del agua, que garantice el cumplimiento del principio de recuperación de costes.

En este nuevo modelo, la potencialidad de la reutilización de aguas es un hecho incontrovertible, sobre todo en países con problemas de escasez como es el caso de España, pero su consolidación como recurso no convencional estratégico es un reto que obliga a todos los actores con responsabilidad en el tema a actuar de forma coordinada y con absoluto rigor en la planificación de las actuaciones futuras. El real decreto 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización ha supuesto un avance importante en la regulación de la reutilización, al clarificar tanto las responsabilidades de las Administraciones Públicas como las correspondientes a los concesionarios y usuarios finales, y al establecer los criterios de calidad para cada uno de los posibles usos de estos caudales. Ahora bien, sigue siendo necesario que se habiliten mecanismos para potenciar la reutilización y la adecuación de los sistemas existentes a las exigencias de calidad más estrictas.

Con todo, hay que tener en cuenta que el aumento de los volúmenes depurados no va a significar un incremento automático de la reutilización, por cuanto existen diversos factores que pueden frenar su extensión. Cabe destacar, en este sentido, la falta de regularidad en la calidad del efluente depurado en algunas EDARs; la necesidad de utilizar los efluentes depurados para garantizar los caudales ecológicos, especialmente en los momentos de estiaje o épocas de sequía; la dificultad de convertir las demandas potenciales en reales, especialmente en el caso de la reutilización en riego agrícola, debido a la resistencia de los agricultores a sustituir los recursos tradicionales por el agua regene-

<sup>35</sup> Price Water House Coopers, 2014.

rada; y, por último, la ausencia de una cultura de la planificación en la toma de decisiones respecto a las actuaciones de reutilización, que implica la adopción de iniciativas sin los necesarios estudios de viabilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- AEAS-CONAMA. 2015: *Hacia un funcionamiento económicamente competitivo, sostenible y alternativo en la gestión de las aguas residuales en España*. GT-14 Aguas Residuales. CONAMA 2014-Congreso Nacional del Medio Ambiente (en [http://anavam.com/docs/congreso-12-GT-14\\_hacia-un-funcionamiento-economicamente-competitivo,-sostenible-y.pdf](http://anavam.com/docs/congreso-12-GT-14_hacia-un-funcionamiento-economicamente-competitivo,-sostenible-y.pdf)).
- Cajigas Delgado, Á. 2012: "La evolución de la depuración de las aguas residuales urbanas en España", en *Ingeniería Civil*, 168, 9-20.
- CEDEX, 2008: *Realización de una base de datos sobre los sistemas de reutilización de aguas depuradas en España*. Madrid.
- COMISIÓN EUROPEA. 2013: *Informe de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Séptimo informe de la Comisión sobre la aplicación de la Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (91/271/CEE)* en <http://eurlex.europa.eu/legalcontent/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0574&fromEN>
- Corrochano Codorniu, A. 2008: "Nuevo Real Decreto sobre reutilización de aguas depuradas", en *Ambienta*, 76, 38-42.
- ESAMUR (Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales). 2014: *Memoria de actividades*. Murcia.
- Hernández, F., De Las Fuentes, L. y Urkiaga, A. 2006: *Guía para la realización de estudios de viabilidad en proyectos de reutilización de aguas depuradas*. AQUAREC, MIMAM y Ministerio de Fomento.
- INE. 2015: *Encuesta sobre el Suministro y Saneamiento del Agua. Año 2013*.
- MAGRAMA. 2007: *Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y Depuración (2007-2015)*. PNCA. (en [www.magrama.gob.es/es/agua/planesestrategias/PlanNacionalCalidadAguas\\_tcm7-29339.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/planesestrategias/PlanNacionalCalidadAguas_tcm7-29339.pdf)).
- MAGRAMA. 2010: *Plan Nacional de Reutilización de Aguas (Versión preliminar)*.
- MAGRAMA. 2012: *Informe de Sostenibilidad en España*. OSE (en <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0637061.pdf>).
- MAGRAMA. 2014: *Informe de Sostenibilidad en España, 2014*, en <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0679775.pdf>.
- Melgarejo, J. 2009: "Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España", en *Clim.Economía*, 15, 245-270.
- Melgarejo, J., Prats, D. y de Santiago, F. 2015: "El Consorcio de Aguas de la Marina Baja", en A. Ortuño: *Cómo se gestiona una ciudad*. Alicante, Publicaciones de la Universidad de Alicante, 189-213.
- Molina, A. y Melgarejo, J. 2015: "Water policy in Spain: seeking a balance between transfers, desalination and wastewater reuse", en *International Journal of Water Resources Development*, 32, 781-798, en: DOI10.1080/07900627.2015.1077103.
- Prats, D. y Melgarejo, J. 2006: *Desalación y reutilización de agua. Situación en la provincia de Alicante*. Alicante, Fundación COEPA.
- Price Water House Coopers. 2014: "La gestión del agua en España, análisis de la situación actual del sector y retos futuros". ACCIONA (en [http://www.acciona.com/legacyMedia/1226705/informe\\_gestion\\_agua.pdf](http://www.acciona.com/legacyMedia/1226705/informe_gestion_agua.pdf)).
- Torres Sánchez, G. 2014: *Situación de la depuración de las aguas urbanas en España*. MAGRAMA.
- Yagüe Córdova, J. 2005: "Regeneración y Reutilización de aguas en el marco del Programa A.G.U.A." Jornadas técnicas *La integración del agua regenerada en la gestión de los recursos: El papel dinamizador del territorio*. Lloret de Mar, 19 y 20 octubre de 2005.
- Yagüe Córdova, J. 2014: *Plan Nacional de Reutilización de Aguas*. MAGRAMA (en [http://www.lis.edu.es/uploads/12fce39e\\_4a31\\_4166\\_a2e7\\_888f6ce1259a.pdf](http://www.lis.edu.es/uploads/12fce39e_4a31_4166_a2e7_888f6ce1259a.pdf)).

## Aproximación al régimen jurídico de la reutilización de aguas regeneradas en España

### *Delineating the Legal Framework for the Reuse of Reclaimed Water in Spain*

*Andrés Molina-Giménez*

Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante. Alicante, España. andres.molina@ua.es

**Resumen** — Este artículo analiza el régimen jurídico aplicable a la reutilización de aguas regeneradas en España, partiendo de las bases legales generales que comparten todas las aguas, para descender posteriormente al marco legal específico que tienen estos recursos no convencionales. El régimen jurídico aplicable es suficiente para generar un marco estable y dar seguridad jurídica a los actores implicados en la actividad. Falta, no obstante, un mayor desarrollo de la regulación en materia de financiación, de modo que pueda clarificarse la atribución de los costes de esta actividad. La regulación favorece la utilización de estas aguas por parte de quien ostenta la autorización de vertido, y por tanto, quien realiza la actividad de depuración, lo que resulta acertado para favorecer el desarrollo de estos proyectos.

**Abstract** — *This article analyses the legal regime applicable to the reuse of reclaimed water in Spain, starting with the general legislation concerning water, followed by the specific legal framework that regulates this unconventional resource. This legal scheme is sufficient to generate a stable framework and confer legal protections to stakeholders involved in this activity. However, further regulation on financing should be required, so as to clarify the responsibility for paying the costs of this activity. The regulation favors the use of these waters by those who hold the discharge permit and therefore by those who carry out the treatment. In our opinion, that option is right in that it favors the development of these projects.*

---

**Palabras clave:** régimen jurídico, reutilización, aguas depuradas, España

**Keywords:** legal system, reuse, purified water, Spain

**Información Artículo:** Recibido: 18 marzo 2016

Revisado: 21 septiembre 2016

Aceptado: 22 octubre 2016

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objeto el estudio del conjunto de disposiciones, comunitarias y estatales, que afectan directa o indirectamente a la reutilización del agua residual depurada. Principios de alcance general como el buen estado ecológico de las masas de agua, la planificación hidrológica integral de las cuencas, o la recuperación de costes, forman parte del marco legal que afecta a esta actividad, que cuenta además con normativa específica: el real decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, en adelante, RDR.

El aprovechamiento de las aguas regeneradas debe observarse como una oportunidad para dar cumplimiento a los objetivos de la Directiva 2000/60/CE de 23 de octubre (DMA), que pretende garantizar un agua de elevada calidad y en cantidad suficiente. La menor explotación de las aguas naturales, especialmente las subterráneas, gracias a la incorporación de estos caudales al ciclo, así como la reducción de vertidos de aguas residuales al medio, puede contribuir a alcanzar dichos objetivos<sup>1</sup>.

Además, el uso de estas aguas supone otro tipo de beneficios de carácter social, como el mantenimiento de las comunidades y el empleo rural, la mejora de entornos urbanos ajardinados, del paisaje o la contribución a la seguridad alimentaria de la población.

Es preciso asegurar, sin embargo, que la calidad del agua regenerada sea la adecuada para los usos pretendidos, que su utilización no genere impactos ambientales indeseables y que los costes sean sostenibles y viables en relación con los precios del resto de fuentes de suministro. La sostenibilidad económica, no obstante, debe evaluarse atendiendo no solo a los costes, sino considerando el conjunto de beneficios económicos que la reutilización puede reportar, así como los perjuicios y pérdida de potencialidades derivadas de la escasez.

La existencia de riesgos sanitarios, dada la posible presencia de bacterias y otros patógenos en las aguas regeneradas, el contenido en nitratos y fosfatos o la presencia de contaminantes emergentes no eliminados, son por otra parte aspectos que la normativa debe abordar. En suma, en este artículo se analizan las cuestiones jurídicas más determinantes que conciernen a esta actividad, que cuenta con un marco legal en términos generales adecuado, pero que debiera modernizarse para alcanzar una regulación más eficiente.

## LA REUTILIZACIÓN EN EL MARCO JURÍDICO COMÚN DE PROTECCIÓN DE LAS MASAS DE AGUA. EL CONTEXTO NORMATIVO

En el Derecho Comunitario no existe ninguna Directiva que regule específicamente la reutilización de las aguas regeneradas. Sin embargo, muchas de las Directivas que abordan la protección de los recursos hidráulicos, inciden directa o indirectamente en

<sup>1</sup> Un buen ejemplo es el sistema de permutas de aguas regeneradas por aguas naturales que opera desde finales de los años 70 en la comarca de la Marina Baja (Alicante) bajo el control del Consorcio de Aguas de la Marina Baja (Melgarejo, Prats y De Santiago, 2015). También, Gil Olcina y Rico Amorós, 2015, 199 y ss.

este ámbito desde diferentes perspectivas. Lo mismo sucede con otras normativas de carácter ambiental o territorial. El resultado es un régimen jurídico bastante heterogéneo, con una cierta complejidad competencial<sup>2</sup>.

En primer término, es necesario tener en cuenta lo establecido en la DMA, toda vez que esta normativa establece los principios fundamentales del Derecho de aguas en Europa<sup>3</sup>. De sus normas y principios se puede inferir que la utilización de las aguas regeneradas debe realizarse de manera coherente con la planificación hidrológica, no hacer peligrar el buen estado ecológico de las masas de agua superficial o subterránea y cumplir con el principio de recuperación de costes. Los planes de demarcación y los programas de medidas establecen los objetivos cuantitativos y cualitativos de las masas de agua, fijan los criterios para asignar los recursos y programan actividades, siendo por tanto instrumentos regulatorios fundamentales para ordenar la reutilización.

Desde el punto de vista de la protección cuantitativa de las masas de agua, la detracción de caudales depurados y posteriormente regenerados, que en consecuencia no son devueltos a los cursos fluviales, podría eventualmente afectar al volumen de agua circulante. Sin embargo, su aprovechamiento puede evitar nuevas captaciones o reducir las existentes, favoreciendo con ello el equilibrio del sistema de explotación, por lo que es preciso tener en cuenta esta externalidad positiva para efectuar un balance adecuado.

En el terreno cualitativo, la utilización de aguas regeneradas no debe causar contaminación en las masas de agua superficial o subterránea, lo que debe confrontarse con el hecho de que estos efluentes reciben tratamientos terciarios, siendo mucho menos contaminantes que las aguas residuales depuradas con tratamientos secundarios. Aun con todo, dichos caudales no están exentos de contener parámetros contaminantes, por lo que deben ser controlados.

Otra interacción interesante es la posible recarga de acuíferos con estas aguas, lo que según la DMA requiere autorización expresa de las autoridades competentes, y la garantía de que en ningún caso se empeorará la situación ambiental del acuífero. La recarga artificial con aguas regeneradas no sería considerada como un vertido directo a la masa de agua subterránea, lo que está expresamente prohibido (art. 11.3 DMA), siendo por tanto posible.

También debe tenerse en cuenta que la Directiva 2006/118/CE, de 12 de diciembre, relativa a la protección de las aguas sub-

<sup>2</sup> Casado, 2004, 65 y ss, pone de manifiesto que en materia de vertidos, directos, indirectos y difusos, la aplicabilidad de numerosas regulaciones sectoriales conexas genera una importante dispersión normativa y es fuente de conflictos competenciales, dada la dificultad de deslindar las normas aplicables a los diferentes tipos de vertido; entran en juego aquí los marcos competenciales relativos a medio ambiente, ordenación del territorio, urbanismo, residuos, sanidad, espacios naturales protegidos, pesca fluvial, entre otros, todos ellos con elevado protagonismo de las Comunidades Autónomas.

<sup>3</sup> La Directiva 2000/60/CE se incorporó al ordenamiento jurídico español mediante la ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social, que incluye, en su artículo 129, la modificación del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.

terráneas contra la contaminación y el deterioro<sup>4</sup>, aporta elementos complementarios a la protección dispensada por la DMA. En ella encontramos importantes instrumentos como la fijación de normas de calidad y valores umbral para estas masas de agua, la identificación de tendencias sostenidas de deterioro o el establecimiento de medidas correctoras a través de la programación de actuaciones en los planes hidrológicos de demarcación<sup>5</sup>.

Los sistemas de reutilización deberán estar monitorizados, y garantizar la no incorporación de contaminantes en estas masas de agua. Si se comprueba la degradación de la masa, el programa de medidas deberá imponer medidas correctoras o incluso impedir la utilización de estas aguas.

Por otra parte, dado que la utilización del agua regenerada puede suponer la introducción de nutrientes en el medio, poniendo en riesgo el cumplimiento del parámetro 50 mg/l de nitrato en aguas subterráneas, o bien generando problemas de eutrofización en aguas superficiales, incluso afectando a zonas vulnerables, resulta necesario contar con los instrumentos recogidos en la Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura.

No cabe duda de que los códigos de buenas prácticas agrarias que exige esta normativa deben contemplar, cuando proceda, formas y metodologías de utilización de las aguas regeneradas en las explotaciones agrícolas. Si además nos encontramos en una zona declarada vulnerable a este tipo de contaminación, los programas de actuación deberán contemplar medidas que permitan minimizar los impactos que pueden producir estas aguas<sup>6</sup>.

En otro orden de cosas, si las aguas regeneradas están en disposición de afectar a un espacio natural protegido, resultaría aplicable la Directiva 92/43/CE de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres<sup>7</sup>, así como la Directiva 2009/147/CE de 30 de noviembre, sobre conservación de las aves silvestres<sup>8</sup>. Las aguas regeneradas podrían también afectar a masas destinadas a la captación de

aguas potables, en cuyo caso habría que tener en cuenta la Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano<sup>9</sup>, en la que se establece, entre otros aspectos, la posible delimitación de perímetros de protección.

La reutilización, por otra parte, es una actividad que la Directiva 91/271/CEE, sobre tratamiento de aguas residuales urbanas, recoge y fomenta en su artículo 12.1. Dicho precepto determina que el agua tratada deberá ser reutilizada cuando resulte apropiado, minimizando los efectos adversos en el medio ambiente. El uso será apropiado cuando se cumplan los estándares de calidad para cada tipo de uso que prevé la reglamentación, sin que la aplicación de los efluentes regenerados pueda considerarse un vertido directo y, por tanto, sujeto a autorización de vertido<sup>10</sup>.

Finalmente, es importante mencionar que algunos proyectos de reutilización, en cuanto supongan la transformación a regadío de terrenos rústicos, así como los planes y programas que los prevean, pueden estar sujetos a evaluación de impacto ambiental de proyectos y a evaluación estratégica de planes y programas. Así se desprende de la Directiva 2011/92/UE de 13 de diciembre, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente, y de la Directiva 2001/42/CE del 27 de junio relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente<sup>11</sup>.

Como puede apreciarse, ninguna de las Directivas comentadas aborda de manera directa la reutilización de las aguas regeneradas, aunque sí importantes aspectos de su régimen jurídico. Afortunadamente, en el Derecho interno español contamos con una normativa específica en este campo, como es la contenida en el artículo 109.1 del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA). Este precepto reunió una serie de principios que ponían las bases para abordar los retos que plantea el uso de estos recursos, principios que posteriormente fueron completados y desarrollados a nivel reglamentario por el RDR.

silvestres se articula en la ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, citada en la nota anterior.

9 La Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, se incorporó al ordenamiento jurídico español mediante real decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

10 Las exigencias de calidad de esta Directiva se aplican a las aguas residuales procedentes de las depuradoras, no a las aguas regeneradas, que en realidad no suponen un vertido directo o indirecto al medio, sino eventualmente un vertido de naturaleza difusa que queda fuera de este marco regulatorio. Sus exigencias de calidad se determinan, por tanto, en su normativa específica, y no están sujetas a autorización de vertido. Ya Martín Mateo (1992, 153) advirtió que la normativa reguladora de los vertidos no podía aplicarse a la contaminación difusa, y en particular a la aplicación de fertilizantes y nutrientes. Sanz Rubiales (2004, 436) aclara que la contaminación puntual de las aguas subterráneas, sujeta eventualmente a autorización de vertido, se produciría con motivo de la introducción puntual de sustancias contaminantes en el subsuelo para evacuar los residuos de una determinada actividad, lo que no concurre en este caso.

11 La ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, contiene en la actualidad el régimen jurídico establecido por la Directiva 2011/92/UE de 13 de diciembre y Directiva 2001/42/CE del 27 de junio de 2001.

4 La Directiva 2006/118/CE, de 12 de diciembre, fue incorporada en España mediante real decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

5 En este sentido, son autorizadas las voces que mantienen que el régimen instaurado por la DMA y la Directiva de protección de las aguas subterráneas, aun teniendo como valor la introducción de un planteamiento integral de la gestión sostenible del agua, y la protección de los acuíferos, adolecen de insuficiente clarificación terminológica y conceptual, contando con una redacción compleja y a veces reiterativa. La incorporación de las mismas al ordenamiento español, además, es manifiestamente mejorable en opinión de estos autores (Erize, 2013, 161-162. Embid, 2003 y 2007).

6 Sanz Rubiales, 1997, 239 y ss, criticó que las Comunidades Autónomas sean las competentes para designar las zonas vulnerables, toda vez que ello puede comprometer la competencia estatal asignada a las Confederaciones hidrográficas, en el establecimiento de perímetros de protección.

7 La Directiva 92/43/CE de 21 de mayo de 1992 fue incorporada por el real decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, dando carta de naturaleza legal a la Red Natura 2000 en España. Téngase en cuenta en la actualidad la ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

8 La Directiva 2009/147/CE de 30 de noviembre, fue transpuesta a nuestro ordenamiento jurídico por la derogada ley 4/1989, de 27 de marzo; en la actualidad, la protección de los espacios acuáticos donde se encuentran las aves

**PRINCIPIOS DE APLICACIÓN COMÚN RELEVANTES  
PARA EL USO DE AGUAS REGENERADAS**

*MANTENIMIENTO DEL BUEN ESTADO ECOLÓGICO  
DE LAS MASAS DE AGUA*

*a) Aguas superficiales*

Según el artículo 4 de la DMA, todos los Estados miembros tienen la obligación de alcanzar el buen estado ecológico de las aguas superficiales en el plazo de 15 años desde la entrada en vigor de la norma, es decir, este objetivo debió alcanzarse en 2015, salvo las excepciones debidamente autorizadas<sup>12</sup>. Deben además aplicarse todas las medidas necesarias para invertir las tendencias que puedan llevar al deterioro de estas masas.

Las Confederaciones hidrográficas son las encargadas de velar porque la calidad del efluente reutilizado no perjudique el estado ecológico de las masas de agua superficial e impida cumplir las normas de calidad aplicables. Para ello debe activar las actuaciones que determine el plan hidrológico de la demarcación, y el programa de medidas.

El real decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, especifica los instrumentos necesarios para alcanzar estos objetivos. La norma desarrolla lo establecido en el artículo 92.ter.2 del Texto Refundido de la Ley de Aguas, que prevé la aprobación de programas de seguimiento del estado de estas aguas. Dichos programas son: el programa de control de vigilancia, el programa de control operativo, el programa de control de investigación, así como el control adicional de las masas de agua del Registro de zonas protegidas de cada demarcación.

El real decreto contribuye además a objetivar lo establecido por la normativa sobre contaminación por nitratos, en cuanto a la necesidad de evitar problemas de eutrofización. Su disposición final cuarta modifica el real decreto 261/1996, de 16 de febrero, y más concretamente su artículo 3.2.a). Es necesario en consecuencia determinar las masas de agua que se encuentran afectadas por este tipo de contaminación, o en riesgo de estarlo. En esta situación se encontrarán las aguas superficiales que presenten, o puedan llegar a presentar una concentración de nitratos superior a 50 mg/l.

La zona afectada puede ser en tal caso declarada vulnerable, activándose las medidas que prevean los programas de actuación y códigos de buenas prácticas agrarias, lo que podría comprometer el uso de aguas regeneradas si son estas las que han contribuido a la generación del problema.

*b) Aguas subterráneas*

El artículo 4 de la DMA, al igual que para las aguas superficiales, dispone que los Estados miembros habrán de aplicar las medi-

<sup>12</sup> El plazo indicado puede ser prorrogado previa petición del Estado miembro y justificación de las razones por las que alcanzar dicho objetivo no puede realizarse razonablemente, atendiendo a la magnitud y coste de las mejoras necesarias. Estas prórrogas deben consignarse en la planificación hidrológica de cuenca y solo pueden realizarse durante dos ciclos de planificación.

das necesarias para evitar o limitar la entrada de contaminantes en las aguas subterráneas, y evitar así su deterioro con el mismo horizonte temporal.

Para favorecer la consecución de estos objetivos, la Directiva 2006/118/CE de 12 de diciembre, de protección de las aguas subterráneas, obliga a los Estados a fijar valores umbral y normas de calidad para las sustancias contaminantes, determinar las tendencias al incremento de su concentración en las masas de agua, y adoptar medidas correctoras en caso de incumplirse los estándares aplicables. Estos datos deben incluirse en la planificación hidrológica, y las actuaciones de corrección correspondientes, en los programas de medidas<sup>13</sup>.

El real decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro, contiene una importante previsión relativa a las aguas regeneradas, toda vez que su artículo 6.4.d. habilita una excepción en cuanto a la aplicación de las medidas de limitación, cuando la entrada de contaminantes en las aguas subterráneas "sea el resultado de una recarga artificial autorizada de conformidad con lo previsto en el artículo 257.5 del reglamento del dominio público hidráulico, en el artículo 53 del reglamento de la planificación hidrológica, o en el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de aguas depuradas".

Las medidas preventivas que podrían ser excluidas son las contenidas en los apartados 1 y 2 del mismo precepto. Se trata de actuaciones que se incluyen en los programas de medidas de los planes hidrológicos y que van dirigidas a identificar sustancias peligrosas, imponer las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales para limitar la entrada de contaminantes no peligrosos, o las destinadas al establecimiento de perímetros de protección, entre otras. Esta excepción solo puede aplicarse cuando el órgano responsable realice actuaciones de comprobación, control y seguimiento de la masa de agua, sin observar ningún deterioro.

En relación con el contenido en nitratos, el real decreto 261/1996, de 16 de febrero, determina que las masas de agua subterránea no deben superar los 50 mg/l de concentración de esta sustancia, fijando así el mismo parámetro que opera para las aguas superficiales. Si las aguas regeneradas contribuyen a superar estos límites en la masa de agua, la zona será declarada vulnerable, se aprobará un programa de actuación y los códigos de buenas prácticas agrarias se convertirán en instrumentos vinculantes<sup>14</sup>.

*c) Masas de agua para consumo humano*

En lo que se refiere a estas masas, además de cumplir el objetivo compartido de alcanzar el buen estado ecológico, la

<sup>13</sup> Erize (2013, 220 y ss) destaca la importancia de la planificación hidrológica en la protección de las aguas subterráneas, tanto en lo que se refiere al Plan Hidrológico Nacional, como a los planes de demarcación. Señala además que tan importante es su aprobación, que ha sido realizada con retraso, como su permanente actualización.

<sup>14</sup> Molina, 2015.

Administración debe velar porque se cumplan los requisitos establecidos en el real decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de calidad del agua de consumo humano. Si la aplicación de aguas regeneradas puede afectar a alguna de estas masas, sería necesario determinar si con ello quedan comprometidos los objetivos sanitarios fijados por esta normativa.

Tanto la DMA como la Directiva sobre calidad de aguas para consumo humano permiten establecer perímetros de protección en los puntos de captación de estas aguas. Dentro de dichos perímetros pueden limitarse actividades que puedan poner en riesgo la correcta conservación de la masa. El artículo 173 del real decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), atribuye a los Organismos de cuenca la competencia para delimitar e implantar dichos perímetros.

Tratándose de aguas subterráneas, el artículo 6 del real decreto 1514/2009, de 2 de octubre, en relación con el artículo 92 quáter del TRLA, contempla así mismo el establecimiento de perímetros de protección del tamaño que se considere necesario para proteger estas masas.

#### EL PRINCIPIO DE RECUPERACIÓN DE COSTES

El saneamiento básico y la depuración de las aguas residuales son servicios públicos de titularidad local, según establecen los artículos 25, 26 y 86.3 de la Ley de Bases de Régimen Local. Las Comunidades Autónomas intervienen también en estas actividades, dadas sus competencias en medio ambiente, así como en obras hidráulicas de interés autonómico. Para ello han ido creando leyes que regulan estos servicios y han desarrollado estructuras organizativas específicas, muchas veces descentralizadas, para su gestión. De ahí que la depuración sea en la actualidad una competencia compartida.

Muchas Comunidades Autónomas han optado por financiar el saneamiento a través de tarifas, cánones o tasas que gravan el consumo de agua potable, dado que se presume que todo consumo produce contaminación. La norma pionera en este sentido fue la Ley de Saneamiento de la Comunidad Valenciana de 1992<sup>15</sup>. Esta configuración financiera es perfectamente compatible con la DMA, según la cual el beneficiario de los servicios relacionados con el agua debe cubrir los costes generados para su prestación (principio de recuperación integral de costes), así como el principio de que quien contamina paga.

Sin embargo, la reutilización no está considerada en nuestro ordenamiento como servicio público, ni se beneficia de la cobertura de este tipo de instrumentos financieros. De ahí que exista una cierta inseguridad jurídica en cuanto a la aplicación del principio de recuperación de costes en este ámbito. De hecho, en la práctica, las ERAR a menudo entregan el agua regenerada a costes muy bajos, incluso simbólicos, a usuarios con los que firman convenios específicos.

<sup>15</sup> [http://www.docv.gva.es/portal/ficha\\_disposicion\\_pc.jsp?sig=0805/1992&L=1](http://www.docv.gva.es/portal/ficha_disposicion_pc.jsp?sig=0805/1992&L=1).

Es indiscutible que los costes de la regeneración no deben recaer en el usuario urbano del agua potable, sino en el usuario final del agua reutilizada. El usuario urbano no se beneficia del tratamiento terciario que precisa ser realizado para acondicionar estos recursos para nuevos usos. Por tanto, es el beneficiario final de esta actividad quien debe contribuir a su financiación. Se precisa sin duda una regulación más competente sobre el régimen financiero de esta actividad.

#### ASIGNACIÓN DE CAUDALES EN LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

El contenido de los planes hidrológicos de demarcación es muy importante para la regulación de las aguas regeneradas. Estos instrumentos contienen un conjunto de regulaciones de interés para la ordenación y distribución de estos efluentes:

- a) Criterios de asignación. En cada sistema de explotación el plan cuantifica el conjunto de los recursos disponibles, incluyendo las aguas regeneradas, y configura las normas de explotación teniendo en cuenta su aportación. Una vez hecho esto, se pueden establecer los criterios de distribución de los caudales a los diferentes usos. Las aguas regeneradas pueden asignarse íntegramente a un uso o formar parte de un conjunto más heterogéneo de aguas asignadas a un uso (i.e. riegos mixtos).

También se pueden reservar caudales regenerados para complementar concesiones infradotadas (las concesiones no generan un derecho absoluto a los caudales concedidos, sino una expectativa a disfrutarlos dependiendo de si existen recursos disponibles). El plan puede también establecer criterios o listas de usos preferentes para optar a recibir estos caudales.

- b) Los caudales regenerados computan a efectos de establecer el cálculo de las reservas totales de la cuenca; es decir, para determinar los caudales que no deben ser asignados a ningún uso, para poder atender a las necesidades de la cuenca en el futuro. Una opción que aparece en planes hidrológicos como el del Júcar, es permitir el uso temporal de las reservas con el compromiso de ir sustituyendo progresivamente dichas aportaciones por aguas regeneradas y/o desalinizadas.
- c) Los planes pueden promover la producción de aguas regeneradas a cambio de objetivos ambientales: reducir las extracciones de recursos subterráneos, mejorar el estado de las masas de agua, garantizar caudales ecológicos, etc. En esta línea, en los planes deberá incluirse la prohibición de poner en riesgo el caudal ecológico o perjudicar el estado ambiental de las masas de agua.
- d) Es posible también establecer limitaciones cuantitativas para las concesiones de reutilización, de manera que el plan puede prohibir que determinados usos, fundamentalmente agrarios, sean cubiertos totalmente con aguas regeneradas. Con esto se persigue que no accedan al sistema nuevas demandas, sino que sean las concesio-

narios ya existentes los que puedan beneficiarse de esta nueva fuente de suministro. Como hemos señalado, muchos usuarios cuentan con concesiones infradotadas, que reconocen volúmenes que no se pueden materializar en la práctica por falta de recursos<sup>16</sup>.

- e) El plan puede imponer también programas de autocontrol de los caudales regenerados que vayan a ser utilizados (calidad), así como prever la emisión de informes periódicos de supervisión por parte del Organismo de Cuenca; esto debe ir acompañado de criterios para la revocación de autorizaciones y concesiones de aguas regeneradas, en caso de incumplimiento de obligaciones legales.

Como puede apreciarse, la planificación hidrológica es un instrumento poderoso para regular la reutilización de aguas depuradas, permitiendo adaptar la normativa general sobre aguas, y específica sobre reutilización, a las características y especificidades de cada demarcación hidrográfica.

#### EL REAL DECRETO 1620/2007, DE 7 DE DICIEMBRE, POR EL QUE SE ESTABLECE EL RÉGIMEN JURÍDICO DE LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS DEPURADAS

##### ¿QUÉ ES EL AGUA REGENERADA?

El RDR desarrolla los principios generales sobre los que el artículo 109.1 del TRLA construye el marco legal de la reutilización<sup>17</sup>. Esta norma, de naturaleza reglamentaria, define en primer término lo que debe entenderse por reutilización, diferenciando entre dos tipos de aguas: las aguas depuradas y las aguas regeneradas<sup>18</sup>.

Las primeras son aquellas que una vez tratadas en la EDAR resultan legalmente admisibles para el medio al que van a dirigirse (cauce, lago o laguna, mar) y por tanto pueden obtener una autorización de vertido. Deben para ello cumplir los niveles paramétricos exigidos por el RDPH y tener unas condiciones de calidad suficiente para no alterar el buen estado ecológico de la masa de agua, de conformidad con lo establecido en el plan hidrológico de la demarcación.

Las aguas regeneradas, sin embargo, son aquellas que obtienen un tratamiento adicional al que resulta obligado para las

<sup>16</sup> Así, por ejemplo, el Plan del Júcar determina que: "En los sistemas en los que en esta normativa se indica que existen demandas no atendidas con sus recursos propios, la reutilización de aguas residuales depuradas solo se autorizará o concederá de forma que al menos un 50% del volumen se utilice para la sustitución de recursos procedentes de fuentes convencionales, con el límite mencionado en el apartado 5, pudiendo el volumen restante utilizarse para complementar derechos que no han podido ser ejercidos, de manera que se asegure que en ningún caso se produce un incremento del déficit".

<sup>17</sup> Antes de esta normativa, que es la primera en regular específicamente la reutilización, existían criterios y normativas de reutilización en algunos planes hidrológicos de cuenca, como el del Tajo, los canarios o el de las Islas Baleares, así como en diversos planes regionales de saneamiento y depuración en regiones como Andalucía, Baleares, Cataluña, Murcia o la Comunidad Valenciana, entre otras (Prats y Melgarejo, 2006).

<sup>18</sup> Un detallado estudio de esta normativa puede verse en Hernández y Álvarez, 2015. También, Navarro, 2013.

aguas depuradas, de modo que se convierten en aguas aptas para otros usos. La mayor calidad exigida para estas aguas, en función del uso para el que van destinadas, se deduce de lo establecido en el RDR. Los requisitos de calidad que exige esta reglamentación obligan a realizar tratamientos terciarios de distinto tipo, dependiendo de las características del efluente de cada EDAR, y del uso pretendido. Un tratamiento secundario no sería suficiente.

La utilización de aguas regeneradas en la agricultura o en otro tipo de usos sobre el terreno (riego de jardines, campos de golf, etc.) no supone un vertido directo o indirecto, sino un vertido difuso, y por tanto se sitúa fuera del marco jurídico de la autorización de vertido del TRLA. Tampoco resultaría aplicable el régimen sancionador del TRLA en relación a los vertidos no autorizados.

Al ser por tanto una cuestión relacionada con competencias de ordenación ambiental, territorial o agrícola, todas ellas en manos autonómicas, cabría plantear que este tipo de vertidos difusos fueran objeto de una regulación autonómica con rango de ley, que incluyera una respuesta sancionadora en caso de incumplimientos<sup>19</sup>. Hoy por hoy, sin embargo, ninguna Comunidad Autónoma dispone de un régimen de este tipo.

##### ACCESO AL AGUA REGENERADA.

##### ¿QUIÉN PUEDE UTILIZAR ESTAS AGUAS?

El agua regenerada es considerada en el ordenamiento español como cualquier agua continental, y por tanto, tiene naturaleza demanial. El recurso no pertenece a nadie, ni siquiera a quien lo depura. Atendiendo a esta naturaleza, quien quiera utilizarlo necesita obtener un título de aprovechamiento del organismo de cuenca, o de la autoridad autonómica equivalente en las cuencas internas.

La normativa distingue los siguientes supuestos:

- a) Terceros. El real decreto establece que todas las personas físicas o jurídicas que desean utilizar aguas regeneradas deben obtener una concesión administrativa bajo las reglas generales establecidas en el TRLA. Por tanto, cuando una persona o entidad que ni es el concesionario del agua natural originaria, ni tampoco es titular de la autorización de vertido, desea obtener agua regenerada, deberá obtener una concesión ordinaria, en competencia de proyectos con otros potenciales interesados<sup>20</sup>.

<sup>19</sup> En este sentido, Casado (2004, 496-498) destaca que las Comunidades Autónomas pueden introducir nuevas infracciones administrativas en materias conexas con el Derecho de aguas, aplicables incluso en cuencas intercomunitarias, basándose en títulos competenciales propios como el medio ambiente, pesca, vías pecuarias, entre otras. La autora destaca que esta posibilidad ha sido avalada por el TC (Sentencia 196/1996 de 28 de noviembre, f.j. 3.º, y Sentencia 15/1998 de 22 de enero, f.j. 13), y varias Comunidades Autónomas la han ejercido en materia tanto de pesca como de protección de vías pecuarias.

<sup>20</sup> Señala Baltañas (2010) que: "la diferenciación que establece el decreto entre titular y usuario es muy positiva para la reutilización, porque puede haber muchos usuarios potenciales que no tengan la capacidad financiera, técnica y de gestión que exige la condición de titular y las responsabilidades que conlleva, y sin embargo tener interés en el uso de aguas regeneradas".

- b) Primer usuario. Se trata de la persona física o jurídica que dispone de una concesión administrativa de aprovechamiento de aguas. Estamos por tanto ante un particular, una empresa o una Administración pública, a quien el Organismo de cuenca ha otorgado una concesión en competencia de proyectos para un uso determinado (agricultura, industria, lúdicos, abastecimiento a poblaciones, etc.)

Una vez realizado ese uso, esta misma persona o entidad podría estar interesada en utilizar el agua depurada para otro propósito. En este caso, es necesario determinar si ya es titular de la autorización de vertido o carece de ella.

- Cuando coincidan en la misma persona ambas condiciones (concesionario y vertedor autorizado), estaríamos en el supuesto que comentamos en el apartado (c). Por tanto, el interesado deberá tramitar una autorización de reutilización, que se califica en el RDR como una autorización complementaria a la autorización de vertido, contando con prioridad frente a terceros.
  - En otro caso, es decir, cuando el concesionario no es titular de la autorización de vertido, deberá obtener una concesión de reutilización, que se tramitará, eso sí, sin competencia de proyectos. Con ello se garantiza para este usuario preferencia en relación con terceros eventualmente interesados. También puede optar por tramitar una autorización de vertido, de manera conjunta a la autorización complementaria.
- c) Titular de la autorización de vertido. En muchas ocasiones la entidad que realiza el vertido del agua residual, una vez utilizada el agua para los usos correspondientes, es la misma que en su momento obtuvo la concesión. Se trata no obstante de una ecuación que no siempre se cumple. Por ejemplo, en el caso de las “empresas de vertido” (art. 108 TRLA) o de la mayoría de las EDAR urbanas.

Pues bien, con el objetivo de incentivar la inversión en tecnologías de regeneración, el RDR otorga preferencia para obtener las aguas regeneradas a quienes ya están depurando las aguas, de manera que si solicitan su utilización, cualquiera que vaya a ser el uso pretendido, pueden tramitarlo a través de una simple autorización administrativa complementaria a la autorización de vertido.

Con ello se reducen, al menos en parte, las cargas burocráticas que conlleva la tramitación de una concesión sin competencia de proyectos (primer usuario), así como las incertidumbres derivadas de la tramitación ordinaria de las concesiones (tercero). Esta configuración atribuye a estos sujetos la máxima prioridad en la obtención de estas aguas<sup>21</sup>.

- d) Adquirentes de agua regenerada mediante contratos de cesión o centros de intercambio de derechos de agua.

Según el RDR, las aguas regeneradas están sujetas a las mismas reglas que se establecen en el TRLA sobre contratos de cesión y centros de intercambio. Sobre este punto volveremos con mayor profundidad más adelante.

## PROCEDIMIENTOS DE ADJUDICACIÓN. ¿CÓMO SE OBTIENE EL DERECHO A UTILIZARLAS?

### a) Concesión a tercero

Rige en este caso el procedimiento ordinario regulado en el artículo 79 del TRLA, y 104 y siguientes del RDPH. A grandes rasgos, el solicitante debe aportar un proyecto de explotación que defina el uso pretendido de las aguas regeneradas, las características técnicas de los procesos de regeneración y la calidad del agua resultante, entre otros aspectos. Se abrirá tras ello una fase de información pública para que cualquier ciudadano tenga conocimiento de la existencia del procedimiento y, en su caso, pueda presentar un proyecto alternativo para optar a dichos caudales<sup>22</sup>.

Una vez culminada esta fase, la Confederación hidrográfica debe evaluar todos los proyectos conforme a los criterios que se desprendan de la planificación hidrológica de la demarcación, tras lo que deberá emitir una resolución en la que se adjudicará la concesión al proyecto que se ajuste mejor al interés general.

La concesión de reutilización es, por consiguiente, un acto administrativo condicionado, de manera que el agua se adjudica bajo unas determinadas condiciones de explotación, uso, volumen, tiempos, etc. Estas especificaciones son impuestas por el Organismo de cuenca, sin vinculación a lo establecido en el proyecto de reutilización que resulte beneficiado por la adjudicación. Por ello, la última fase del procedimiento es la aceptación por parte del solicitante (si el interesado está de acuerdo con las condiciones impuestas); si este no acepta, podrá recurrir la resolución.

### b) Concesión a favor del primer usuario del agua

Cuando el interesado en obtener la concesión es quien se benefició del primer uso del agua, también debe obtener una concesión administrativa. Sin embargo, el procedimiento es en este caso algo más rápido y seguro. La principal diferencia radica en que la Confederación hidrográfica omitirá el trámite de competencia de proyectos.

El usuario debe solicitar la reutilización del agua a la Confederación, comunicar el uso pretendido y presentar un proyecto que identifique el origen y localización geográfica de los puntos de entrega, tanto del agua depurada como del agua ya regenerada.

22 Bajo este procedimiento se encontrarán, entre otros supuestos, todos los usuarios que pretendan obtener caudales de una estación depuradora-regeneradora pública, puesto que esta es la titular de la autorización de vertido y, además, la concesión originaria del agua potable corresponderá a la entidad titular del servicio público de abastecimiento a la población. No se dan, por tanto, ninguna de las condiciones que permiten utilizar las vías preferentes que se analizan a continuación, en los apartados (b) y (c).

21 Casado, 2004, 321-322.

rada. En suma, el proyecto debe especificar la ERAR que tratará las aguas y el posterior destino de las aguas ya acondicionadas.

También debe quedar claro en el proyecto el volumen anual de agua regenerada que se solicita, así como sus características paramétricas tras el proceso de depuración/regeneración. Se definirán también las infraestructuras de distribución y se justificará que la calidad del agua resultante es idónea para el uso pretendido, atendiendo a los parámetros que exigen los Anexos del RDR para cada uno de ellos.

El proyecto debe definir también el sistema de control, los análisis del agua que se realizarán, las actuaciones de seguimiento, señalización y los sistemas para incrementar la eficiencia en el uso del agua (ahorro, modernización de explotaciones beneficiadas, mejora de redes, etc).

Junto al proyecto, la Confederación puede exigir documentación complementaria, lo que dependerá de cada caso. Por ejemplo, si el usuario que solicita la reutilización es una Comunidad de Regantes, la solicitud deberá ir acompañada por el documento que acredite que la Junta de Gobierno de dicha Comunidad ha tomado el acuerdo de utilizar dichas aguas y, por consiguiente, de solicitar su reutilización a la Confederación.

Una vez recibida la documentación (solicitud, proyecto y documentación complementaria), se inicia un procedimiento administrativo que contiene diferentes fases. Las más destacadas son las siguientes:

- Requerimiento de subsanación y de información adicional. En ocasiones, las solicitudes no contienen todos los elementos que se precisan según la normativa o alguno de esos contenidos es erróneo o insuficiente. En vez de cerrar el expediente sin más, la Confederación hidrográfica debe requerir al solicitante que corrija el problema en un plazo que nunca será inferior a 10 días, a contar desde el día siguiente a aquel en el que el interesado reciba la notificación del requerimiento. Si el interesado no corrige los defectos, se le considerará desistido del procedimiento y se procederá al cierre y archivo del expediente.

Es posible que la Confederación observe cuestiones técnicas que no están del todo claras, especialmente en relación con los procesos de depuración-regeneración propuestos, los parámetros del efluente de salida o las características de los cultivos en el caso de usos agrícolas. Si esto es así, el RDR prevé que la Confederación envíe un requerimiento al solicitante para que complete la información técnica. La normativa no prevé el desistimiento en caso de que el interesado no presente esta documentación, por lo que el procedimiento continuará, si bien lo más probable es que finalice en la denegación de la concesión, por lo que el resultado será el mismo.

- Informes. Una vez se dispone de toda la documentación, la Confederación desarrolla un procedimiento interno, en el que tienen gran protagonismo los informes técnicos que diversos departamentos del organismo deben realizar con motivo del análisis del proyecto.

En primer término, la Oficina de planificación hidrológica debe informar sobre si la iniciativa es compatible con el plan

hidrológico de la demarcación donde se inserta. Este primer informe no es vinculante; si incorpora reparos o considera que hay aspectos del proyecto que no se concilian con la planificación hidrológica, el procedimiento continuará. Es posible que en fases sucesivas esos problemas sean subsanados.

Ahora bien, la normativa contempla un segundo informe, relativo al caudal ecológico, cuyo contenido es insubsanable si resulta negativo; si el órgano informante considera el proyecto incompatible con el mantenimiento del caudal ecológico (m<sup>3</sup>/s circulantes) previsto en el plan hidrológico de la demarcación, el proyecto será rechazado y se cerrará el expediente denegando la solicitud.

En el procedimiento se exige también el informe previo de la Comunidad Autónoma donde se encuentre el aprovechamiento, de modo que esta pueda expresar su opinión sobre el impacto que el proyecto de reutilización podría tener en las áreas de su competencia. Se hace referencia con ello, fundamentalmente, a aspectos como la ordenación del territorio, el urbanismo, el medio ambiente (por ejemplo, la posible afección del proyecto a espacios naturales protegidos, incluidos humedales) y la agricultura, entre otros.

El informe autonómico no es vinculante para la Confederación, de manera que incluso un informe negativo no tendría que suponer el archivo de la solicitud de concesión para reutilización. Ahora bien, si la Confederación decide autorizar el proyecto en contra de lo indicado por el informe, tendrá que justificarlo detalladamente ya que la Comunidad Autónoma podría impugnar la concesión ante los Tribunales.

Lo más normal será que las apreciaciones que realice la Comunidad Autónoma en este informe se incorporen a la resolución por la que se adjudica la concesión en forma de condicionantes, imponiendo al concesionario del agua regenerada ciertas medidas que limiten los impactos en el territorio, en el medio ambiente o en la agricultura. El informe autonómico debe emitirse en el plazo de un mes desde que la Confederación lo solicita y si la Comunidad Autónoma no lo envía a tiempo, puede continuarse sin más el procedimiento.

- Propuesta de resolución. Con toda la información incorporada al expediente, la Confederación está ya en condiciones de elaborar una propuesta de resolución. En este documento se especifica si se propone la adjudicación de la concesión o, en su defecto, la denegación, expresando los motivos que justifican dicho pronunciamiento; en el caso de que se prevea la adjudicación, se relacionarán las condiciones que el interesado deberá cumplir. En concreto, al menos las siguientes:

- \* Origen y localización geográfica del punto de entrega del agua depurada.
- \* Volumen máximo anual de aguas regeneradas que podrán utilizarse, expresado en metros cúbicos, así como las modulaciones que se establezcan, y el caudal máximo instantáneo expresado en litros por segundo.
- \* Uso al que se aplicarán las aguas regeneradas (agrícola, industrial, lúdico, etc.)
- \* Punto de entrega y lugar de uso del agua regenerada. Estos aspectos son muy importantes desde el punto de vista de la delimitación de responsabilidades.

- \* Características de calidad del agua regenerada, que en todo caso deben cumplir los criterios exigidos para cada uso de acuerdo con lo establecido en el anexo I.A del RDR. Dichas condiciones han de mantenerse al menos hasta su punto de entrega a los usuarios.
  - \* Descripción del sistema de reutilización de las aguas.
  - \* Especificación de los elementos de control y de la señalización del sistema de reutilización.
  - \* Programa de autocontrol de la calidad del agua regenerada, que incluya los informes sobre el cumplimiento de la calidad del efluente, conforme establece el anexo I.B y I.C del RDR.
  - \* Plazo de vigencia de la concesión.
  - \* Medidas de gestión del riesgo, en caso de inadecuación sobrevenida de la calidad del efluente para el uso autorizado.
  - \* Cualquier otra condición que el organismo de cuenca considere oportuna, en razón de las características específicas del caso y del cumplimiento de la finalidad del sistema de reutilización del agua.
- Fase de audiencia. Dado que las condiciones impuestas pueden diferir de las planteadas en el proyecto de reutilización presentado por el interesado, podría darse el caso de que este no las compartiera o no las aceptara, considerando que pueden suponer un incremento en los costes, perjudicar sus expectativas, dificultar la operación, etc. Podría resultar así mismo que la Confederación estime el proyecto inviable y proponga la no adjudicación de la concesión. De ahí que la normativa permita en esta fase que el interesado tenga acceso a todo el expediente, lo pueda analizar y exprese su parecer en forma de alegaciones. El plazo para realizar las alegaciones es de diez días hábiles (no festivos) desde el día siguiente al que se recibe la notificación.
  - Resolución. Llegados a la fase final del procedimiento, la Confederación, a través de su presidente o del órgano en quien delegue, emitirá una resolución acordando la concesión de las aguas regeneradas o denegando su adjudicación. Esta resolución deberá notificarse al interesado en el plazo de un mes desde que se reciben las alegaciones. Podría ocurrir que la Confederación incumpla este plazo y no emita resolución. En ese caso entra en juego la institución del silencio administrativo. El sentido del silencio, favorable o desfavorable, no viene especificado en el RDR, por lo que resulta preciso aplicar la normativa general sobre procedimiento administrativo.

Según el artículo 24 de la ley 39/2015, de 1 de octubre, del procedimiento administrativo común de las Administraciones públicas, cuando la legislación específica no defina el sentido del silencio, la regla general es el silencio positivo. Sin embargo, existen varias excepciones. Una de ellas abarca los casos en que el procedimiento concierna a bienes de dominio público o servicios públicos, lo que ocurre en relación con las concesiones sobre aguas regeneradas, que son de dominio público<sup>23</sup>. En consecuencia, ante la falta de resolución por parte de la Confederación, debemos entender denegada la concesión. Sin embargo, dado que la obligación de resolver siempre persiste, el interesado podría op-

<sup>23</sup> Esta ley entrará en vigor el 2 de octubre de 2016, sustituyendo a la todavía vigente (en el momento de entrega de este trabajo), ley 30/1992 de 26 de noviembre, de régimen jurídico de las Administraciones públicas y del procedimiento administrativo común, cuyo artículo 42 establece la misma regla que ahora se incluye en la nueva normativa. La inminencia de su entrada en vigor aconseja su incorporación al texto.

tar por esperar a una resolución extemporánea o, en su caso, elevar el asunto a los Tribunales de lo Contencioso Administrativo.

### c) *Autorización al titular de una autorización de vertido (autorización complementaria a la de vertido)*

Como ya se ha indicado, lo que caracteriza a este supuesto es que el solicitante ya es titular de una autorización de vertido, sea o no el primer usuario del agua. El RDR premia esta situación fomentando que quien ya realiza la depuración vaya más allá, aplicando tratamientos adicionales que permitan la regeneración y posterior reutilización del agua.

En este caso, el interesado no tiene por qué solicitar una nueva concesión de reutilización, dado que el RDR le permite tramitar una simple autorización. Sin embargo, aunque pudiera parecer que esta regulación supone una menor carga procedimental, lo cierto es que las diferencias con la tramitación de una concesión sin competencia de proyectos no son demasiado sustanciales. Lo más importante es que estos agentes tienen preferencia frente a cualquier otro para obtener la adjudicación de las aguas regeneradas.

Si observamos la tramitación que se exige en el artículo 9 del decreto para obtener una concesión de reutilización al primer usuario del agua, veremos que la mayoría de los trámites se reproducen también para obtener una autorización complementaria de reutilización (solicitud, proyecto, informes, propuesta de resolución, aceptación y resolución definitiva).

Existen, sin embargo, dos alternativas para tramitar este tipo de autorizaciones:

- a) Tramitación de la autorización complementaria de vertido. En este caso, el usuario ya dispone de una autorización de vertido, por lo que solo debe solicitar la autorización complementaria si desea reutilizar el agua.
- b) Tramitación conjunta de la autorización de vertido y de la autorización complementaria de reutilización. En este caso, la entidad que pretende utilizar el agua regenerada no dispone todavía de autorización de vertido, aunque sí dispone del agua en origen. El usuario, sin embargo, pretende obtener la autorización de vertido como paso previo para beneficiarse de las aguas depuradas una vez regeneradas. En este caso, en vez de tramitar una concesión de reutilización, puede tramitar conjuntamente la autorización de vertido y la complementaria de reutilización. El interesado deberá manifestar su propósito de reutilizar el agua depurada en el procedimiento para la obtención de la autorización de vertido.

En ambos casos, la autorización de reutilización (complementaria a la de vertido) especificará los requisitos y condiciones que permitirán utilizar las aguas regeneradas.

## MERCADOS DE AGUA REGENERADA

Una interesante posibilidad para hacer más atractiva la inversión en proyectos de reutilización es la opción de incorporar las aguas regeneradas a un sistema de mercado. El TRLA recoge

en su artículo 67 y siguientes el contrato de cesión de derechos al uso privativo de las aguas, así como los centros de intercambio de derechos. Estas dos fórmulas permiten el intercambio de caudales entre concesionarios a cambio de un precio. Un mercado sujeto, por otra parte, a importantes controles por parte de la Administración hidráulica, a quien corresponde o bien otorgar su autorización (contratos de cesión) o impulsar el intercambio (centros de intercambio)<sup>24</sup>.

Ante la duda sobre si los caudales regenerados podrían participar en este esquema, el RDR introduce un artículo (art. 6) que contempla expresamente ambos supuestos. De acuerdo con el apartado primero del precepto, tanto los titulares de una autorización de reutilización, como los que disponen de concesión de reutilización, pueden realizar contratos de cesión, tanto en condición de cedentes como de adquirentes del agua. Pueden incluso llegar a ceder la totalidad de los caudales disponibles.

Este tipo de cesiones son siempre temporales y solo pueden realizarse a favor de usuarios de igual o mayor rango según el orden de preferencia del Plan hidrológico de la demarcación (abastecimientos urbanos, regadíos, usos industriales, lúdicos, etc.) Por otra parte, siempre están sujetas a autorización administrativa por parte de la Confederación, que debe comprobar que se cumplen todas las condiciones legales.

Los contratos de cesión deben ser formalizados por escrito y en ellos se recogerán, como mínimo, las siguientes especificaciones:

- Identificación de los contratantes.
- Concesión administrativa o título jurídico en virtud del cual cada parte ha adquirido el derecho a usar privativamente las aguas objeto del contrato, debidamente inscritos en el Registro de Aguas.
- Volumen anual de aguas regeneradas susceptible de cesión.
- Compensación económica que, en su caso, se establezca.
- Uso al que se va a destinar el caudal cedido.
- En el caso de cesiones entre usuarios de agua para riego, identificación expresa de los predios que el cedente renuncia a regar, o se compromete a regar con menos dotación durante la vigencia del contrato, así como la de los predios que regará el adquirente con el caudal cedido.
- Período al que se refiere el contrato de cesión.
- Instalaciones o infraestructuras hidráulicas necesarias para la cesión.
- Acreditación de haber realizado un uso efectivo del agua en algún momento de los tres años anteriores a la fecha de la cesión de derechos.

Una vez recibida la documentación en la Confederación, se tramita un expediente administrativo en el que se realiza un estudio del caso y se acuerda autorizar o no la cesión en función de si se cumplen las condiciones de la normativa. Los motivos que pueden plantearse para denegar la autorización del contrato de cesión son los siguientes:

- La Confederación estima que la cesión afecta negativamente al régimen de explotación de los recursos en la cuenca, a los dere-

chos de terceros, a los caudales medioambientales o al estado de conservación de los ecosistemas acuáticos.

- Se incumplen los requisitos señalados en la Ley, como podría ser una cesión a usuarios de rango inferior o bien cuando el nuevo usuario va a dedicar el agua a un uso que es incompatible con las exigencias de calidad del agua reutilizada para ese uso.
- La Confederación ejerce un derecho de adquisición preferente, rescatando los caudales regenerados de todo uso privativo.

Si la Confederación no emite resolución expresa en el plazo de dos meses, desde que se le remitió el acuerdo de cesión suscrita entre las partes solicitando la autorización de la cesión, se entenderá que acepta dicho contrato (silencio positivo). Este plazo es de solo un mes cuando las cesiones conciernen a miembros de la misma Comunidad de Usuarios.

Por otra parte, el último inciso del artículo 6.2. del RDR permite a quienes disponen de agua regenerada participar en las operaciones de los centros de intercambio de derechos, tanto como cedentes de agua (pueden por tanto “vender” los caudales regenerados a la Confederación) o como adquirentes (pueden comprar aguas regeneradas ofrecidas por la Confederación previa su adquisición a terceros).

Este modelo de mercado difiere sustancialmente de los contratos de cesión. En este caso la iniciativa la tiene la Administración hidráulica, que puede decidir realizar ofertas públicas de adquisición de caudales a cambio de un precio, poniendo posteriormente esos caudales a disposición de otros usuarios dispuestos a pagar la cantidad que establezca la Confederación. Se trata del modelo de los “bancos del agua”, que se desarrolló con cierto éxito en California hace algunos años<sup>25</sup>.

Para que se pueda crear un centro de intercambio es necesario que así lo decida el Consejo de Ministros, que mediante un Acuerdo, a propuesta del Ministerio de Medio Ambiente, autoriza a las Confederaciones hidrográficas a realizar las ofertas públicas de adquisición y a la posterior cesión de los caudales obtenidos a terceros interesados. El precio lo fija la propia Confederación, que debe garantizar el cumplimiento de los principios de publicidad y concurrencia propios de la contratación pública.

Es importante indicar que tanto los contratos de cesión como los centros de intercambio pueden beneficiarse de los trasvases. Para circular los caudales objeto de cesión entre diferentes demarcaciones hidrológicas la normativa exigía una Ley habilitante, lo que hacía verdaderamente complicado llevar a efecto estas iniciativas. Sin embargo, con motivo de la aprobación de la Ley de Evaluación Ambiental, en el año 2013, basta con que la Dirección General del Agua autorice el uso de las infraestructuras<sup>26</sup>.

#### **¿PUEDEN LAS ADMINISTRACIONES PÚBLICAS PROMOVER INFRAESTRUCTURAS DE REUTILIZACIÓN?**

Las Administraciones públicas pueden promover estas iniciativas tanto de manera directa como mediante planes y programas

<sup>25</sup> Howit, 2007, 119 y ss.

<sup>26</sup> Véase la disposición final cuarta de la ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, en la que se modifica el artículo 72 del TRLA, flexibilizando el sistema y rebajando el rango en la toma de decisiones en los casos en que deba autorizarse una cesión de derechos que conlleve la utilización de infraestructuras que interconecten territorios de distintos planes hidrológicos de cuenca.

<sup>24</sup> Navarro, 2012.

de reutilización. El RDR invita a las Administraciones a aprobar planes y programas con esa finalidad. El objetivo es planificar las infraestructuras necesarias (colectores, EDAR/ERAR, infraestructuras de distribución del agua regenerada) y programar su ejecución con arreglo a las disponibilidades presupuestarias. La financiación de la construcción y operación del sistema puede realizarse mediante tarifas que los usuarios finales deberán asumir para disponer del agua regenerada.

La ejecución de estas infraestructuras permite poner a disposición de los interesados las instalaciones, si bien estos deben obtener la correspondiente concesión, o en su caso autorización administrativa complementaria, para poder disponer de las aguas. La propia Administración promotora de la iniciativa debe obtener concesión o autorización por parte de la Confederación si pretende utilizar directamente las aguas regeneradas, ya que una cosa es la ejecución de las obras y otra la capacidad para disponer y disfrutar de un bien de dominio público como es el agua regenerada.

A menudo, este tipo de infraestructuras se promueven indirectamente por las Administraciones territoriales (Estado o Comunidades Autónomas). En el caso de las obras estatales, es común encomendar la construcción y en su caso explotación a sociedades estatales. Si con posterioridad se opta por delegar la gestión de la ERAR a otra entidad, la normativa exige un convenio en el que se especifiquen las condiciones.

Finalmente, existe una fórmula interesante para ejecutar obra pública en general, e hidráulica en particular, incentivando con ella la colaboración público-privada tanto en el diseño como en la financiación, ejecución, mantenimiento y operación. Se trata del contrato de concesión de obra pública<sup>27</sup>. Mediante este instrumento se encarga a una empresa (seleccionada en licitación pública) que financie y ejecute las obras, a cambio de concederle su explotación en exclusiva durante un periodo de tiempo suficiente para recuperar la inversión y el beneficio industrial pactado. La empresa recuperará la inversión trasladando a los usuarios una tarifa por la utilización de la obra.

#### ¿QUÉ CALIDAD DEBE TENER EL AGUA REGENERADA Y PARA QUÉ USOS ES POSIBLE?

El agua regenerada no es apta para uso de boca, pero al margen de esta limitación, el agua regenerada puede utilizarse para muchos propósitos (agrarios, industriales, riego urbano, baldeos, lúdicos, etc). Cada uno de estos usos precisa un tipo diferente de agua regenerada, con condiciones de calidad variables<sup>28</sup>.

El Anexo IA del RDR especifica la calidad exigible en el punto de entrega del agua regenerada en función del tipo de uso. Si van a ser varios usos, siempre se exigirá el nivel de calidad más estricto asignado a cualquiera de ellos. Estos valores deben ser especificados en las concesiones y autorizaciones complementarias,

y son impuestos por la Confederación hidrográfica para cada proyecto. Es importante recalcar que se trata de valores paramétricos mínimos, que pueden ser incrementados si la Confederación, de forma razonada, así lo decide. Nunca puede reducirse el nivel de protección, por el contrario.

Los valores pueden verse alterados también por el efecto de normativas más rigurosas que, si bien no están destinadas a regular esta actividad, pueden incidir indirectamente en ella. Así, por ejemplo, el nivel de calidad exigido a un agua regenerada cuyo uso se vaya a realizar en el ámbito de un espacio natural protegido, puede ser mayor al establecido en el RDR, ya que en ese caso entrará en juego la normativa específica que regula ese espacio natural (i.e. un humedal protegido al que pudieran llegar parte de las aguas regeneradas).

El responsable de mantener la calidad del agua regenerada en el punto de entrega es el titular de la concesión o autorización de reutilización. A partir de ese momento, el responsable es el usuario final del agua. A menudo, ambas condiciones concurren en la misma persona, pero es posible que el titular de la concesión o autorización y el usuario final sean personas o entidades distintas.

#### CONCLUSIONES

En un contexto de escasez de recursos hidráulicos, consustancial a la realidad española, y que previsiblemente se agravará en los próximos años como consecuencia del cambio climático, la utilización de recursos no convencionales como son las aguas regeneradas se ha convertido en un factor estratégico. No cabe duda que estas aguas pueden contribuir a equilibrar el balance hídrico de las demarcaciones hidrográficas estructuralmente deficitarias. No se trata de que por sí solas vengán a resolver dichos déficits, pero sí pueden suponer un apoyo significativo al resto de fuentes convencionales y no convencionales.

Los proyectos de reutilización deben contribuir a alcanzar el buen estado ecológico de las masas de agua, así como favorecer su equilibrio cuantitativo. Deben servir a su vez para reducir los vertidos de aguas residuales tratadas en secundario al medio, aportando caudales de mayor calidad para usos deficitarios. La derivación de estos caudales deberá realizarse de manera que no comprometa el caudal ecológico de los cursos de agua a los que accederían las aguas depuradas. También pueden ayudar a reducir los vertidos de aguas residuales al mar.

El progreso tecnológico, así como la inversión en investigación, desarrollo e innovación, son aspectos importantes en este contexto, sobre todo desde la perspectiva del abaratamiento de los costes y mejora de la calidad del efluente. No cabe duda, además, de la importancia de implicar a la sociedad en estas actividades, de modo que los sistemas de reutilización sean transparentes y abiertos a la participación pública. En este sentido, no sobran las campañas educativas e informativas que ayuden a concienciar a la ciudadanía de la importancia y utilidad de la reutilización, en el marco del ciclo integral del agua.

<sup>27</sup> La concesión de obra pública es un contrato regulado en la Ley de Contratos del Sector Público (Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Contratos del Sector Público).

<sup>28</sup> Álvarez, 2010.

Los proyectos de reutilización deberían partir, por otra parte, de una planificación previa en la que se analicen las potenciales demandas, organizando las inversiones y esquemas organizativos para adaptarse al contexto. La planificación permite identificar los usos potenciales, determinar los tratamientos apropiados, aproximar los costes, así como identificar la existencia de una demanda solvente y dispuesta a asumirlos. Solo así se puede garantizar el buen fin de estos proyectos.

El marco jurídico actual, tras la aprobación del Real Decreto de Reutilización en 2007, proporciona seguridad jurídica a los actores implicados, así como garantías para proteger tanto la salud como el medio ambiente. El modelo prima a quien realiza la depuración del agua, incentivando la aplicación de tratamientos adicionales que acondicionen los efluentes para nuevos usos, lo que resulta razonable. No se impide con ello la aparición de nuevos actores, eventualmente interesados en obtener y gestionar dichos caudales, lo que se articula a través de la figura de la concesión, con o sin competencia de proyectos según el caso.

La reutilización es, por otra parte, un elemento importante en la planificación hidrológica, de modo que los planes deben evaluar estos aportes y articular la toma de decisiones atendiendo a su disponibilidad. Los planes hidrológicos de la demarcación son por ello instrumentos muy importantes para impulsar esta actividad y organizar los aprovechamientos resultantes, incluidos los usos ambientales. Son así mismo fundamentales para garantizar el cumplimiento de los objetivos de la DMA y del resto de Directivas del agua.

El RDR incorpora además la posibilidad de ceder a terceros los caudales regenerados, a través de los contratos de cesión de derechos de aprovechamiento, o incluso mediante centros de intercambio de derechos de agua, lo que proporciona un nuevo atractivo para el desarrollo de proyectos de regeneración. Además, tras las novedades incluidas por la Ley de Evaluación Ambiental, dichos caudales podrían perfectamente circularse entre diferentes demarcaciones hidrográficas, a través de infraestructuras de trasvase.

La mayor carencia que presenta esta regulación es, en mi opinión, la ausencia de previsiones relacionadas con la aplicación del principio de recuperación de costes. No hay en el Reglamento ninguna referencia a la necesidad de que los usuarios de estas aguas cubran los costes generados, lo que favorece situaciones en las que el último destinatario de las aguas no asume íntegramente la repercusión que le correspondería sobre los costes de la actividad. Estos aspectos terminan siendo regulados a través de convenios entre las ERAR y los usuarios, de manera a menudo poco transparente.

En definitiva, estamos ante un marco regulador que no pone excesivas trabas al desarrollo de la actividad, más allá de las imprescindibles tratándose de un bien demanial, cuya calidad sanitaria y ambiental es preciso garantizar; sin embargo, en mi opinión, sería deseable una regulación pormenorizada de los aspectos financieros, que son pieza clave para garantizar la sostenibilidad de estos proyectos, indiscutiblemente necesarios en nuestro contexto.

## BIBLIOGRAFÍA

- AFSSA. 2008: *Réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage ou l'irrigation* (en <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX-Ra-EauxUsees.pdf>).
- Álvarez, Santiago M. 2010: "Régimen de responsabilidad de los concesionarios y usuarios de aguas regeneradas", en Navarro, T. M. (coord.): *Reutilización de aguas regeneradas: aspectos tecnológicos y jurídicos*. Murcia, Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua, 327-356.
- Baltañas, A. 2010: "Viabilidad de la Reutilización en España", ponencia presentada en el VIII Congreso de AEDYR, Barcelona.
- Casado, Lucía. 2004: *Los vertidos en aguas continentales. Las técnicas de intervención administrativa*. Granada, Comares.
- Embid, A. 2003: "Consideraciones jurídicas generales sobre la Directiva marco de aguas con atención especial a las aguas subterráneas", en *Revista Interdisciplinaria de Gestión Ambiental*, 49, 3-16.
- Embid, A. 2007: "La Directiva Marco del Agua y algunos de los problemas de su proceso de implantación en España y otros países europeos", en *Ingeniería y Territorio*, 80, 20-27.
- Erice, María V. 2013: *La protección de las aguas subterráneas en el Derecho de Aguas español*. Pamplona, Aranzadi.
- Gil Olcina, Antonio, y Rico Amorós, Antonio M. 2015: *Consortio de Aguas de la Marina Baja*. Universidad de Alicante-Instituto Interuniversitario de Geografía.
- Hernández, Sonia M. y Álvarez, Santiago M. 2014: "El nuevo régimen de la reutilización de las aguas depuradas: en especial, las novedades en el nuevo plan hidrológico de la Demarcación del Segura", en *Revista Catalana de Dret Ambiental*, V, 2, 1-21.
- Howit, R. E. 2007: "Spot prices, option prices, and water markets: an analysis of emerging markets in California", en K. William Easter, M. W. Rosegrant, y A. Dinar (eds.): *Markets for Water: Potential and Performance*. Norwell, Massachusetts, Kluwer Academic Publishers, 119-140.
- Martín Mateo, R. 1992: *Tratado de Derecho Ambiental* (vol. II). Madrid, Trivium.
- Melgarejo, J., Prats, D. y de Santiago, F. 2015: "Un modelo de gestión exitoso: el Consorcio de Aguas de la Marina Baja", en Patricia Fernández, Armando Ortuño, y David Bautista Rodríguez (eds.): *Cómo se gestiona una ciudad*. Alicante, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alicante, 189-212.
- Molina Giménez, A. 2015: "La contaminación difusa del agua por actividades agrarias. Especial referencia al riego con aguas regeneradas", en Melgarejo, J., Molina, A., Ortega, A. y Benito, M. A. (coords.): *Agua y Derecho. Retos para el Siglo XXI*. Pamplona, Aranzadi.
- Navarro, T. M. 2013: "La utilización de los recursos hídricos no convencionales. Carencias y disonancias de un régimen jurídico inconcluso", en Embid, A. (dir.): *Usos del Agua (Concesiones, Autorizaciones y Mercados del Agua)*. Navarra, Civitas.
- Navarro, Teresa M. 2012: "Cuestiones jurídico-ambientales de la reutilización de aguas regeneradas", en Embid, A. (coor.): *Agua y Ciudades*. Navarra, Civitas, 389-426.
- Prats, D. y Melgarejo, J. 2006: *Desalación y reutilización de agua. Situación en la provincia de Alicante*. Alicante, Fundación COEPA.
- Sanz Rubiales, I. 1997: *Los vertidos en aguas subterráneas. Su régimen jurídico*. Madrid, Marcial Pons.
- Sanz Rubiales, I. 2004: "La contaminación difusa de las aguas por residuos ganaderos. Análisis jurisprudencial", en *Revista de Derecho*, 5.

## Tecnologías de depuración y reutilización: nuevos enfoques

### *Technologies of Wastewater Treatment and Reuse: New Approaches*

*Arturo Trapote-Jaume*

Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante. Alicante, España. atj@ua.es

**Resumen** — En este artículo se revisan las principales tecnologías actuales de depuración de aguas residuales urbanas y de regeneración de aguas depuradas para su reutilización, así como una aproximación a las tendencias en estos campos. La tipología de tratamientos y tecnologías aplicables abarca una amplia gama de combinaciones de procesos aerobios y anaerobios, de biomasa fija y suspendida, sistemas intensivos y extensivos, centralizados y descentralizados, etc. Además de optimizar la eficiencia de los procesos de tratamiento, las tendencias en I+D+i se están orientando, en buena medida, a la eliminación de los denominados contaminantes emergentes y al desarrollo de tecnologías de regeneración para la reutilización, entre las que cabe destacar los procesos de membrana. En todo caso, los futuros desarrollos tecnológicos deberían priorizar el uso eficiente y sostenible de la energía y de los recursos naturales, en general, y del agua, en particular.

**Abstract** — *This paper examines the principal current technologies of urban wastewater treatment and reclamation for reuse, and delineates the trends in these fields. The type of treatments and technologies cover a wide range of combinations of aerobic and anaerobic processes, fixed and suspended biomass, intensive and extensive systems, centralized and decentralized systems, etc. In addition to optimizing the efficiency of treatment processes, trends in I+D+i are largely focused on the elimination of the so-called emerging contaminants and the development of technologies of reclamation for reuse, which include membrane processes. In any case, future technological developments should prioritize the efficient and sustainable use of energy and natural resources in general and of water in particular.*

---

Palabras clave: agua, tecnologías de depuración, reutilización

Keywords: water, wastewater treatment, reused water

Información Artículo: Recibido: 19 marzo 2016

Revisado: 12 septiembre 2016

Aceptado: 25 octubre 2016

## INTRODUCCIÓN

La preservación del medio ambiente, en especial del hídrico, es hoy en día no solo objeto de una fuerte demanda social sino un mandato legal y la base de un desarrollo sostenible. La degradación del medio ambiente hídrico, a causa de la contaminación urbana, industrial y agrícola, supone un factor limitante del desarrollo económico, pues afecta de forma negativa a sus usos potenciales, desde el abastecimiento público hasta cualquier actividad recreativa, llegando incluso a afectar y modificar los ecosistemas.

El art. 93 del Texto Refundido de la Ley de Aguas define contaminación como “la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores, con la salud humana, o con los ecosistemas acuáticos o terrestres directamente asociados a los acuáticos; causen daños a los bienes; y deterioren o dificulten el disfrute y los usos del medio ambiente”.

Consecuentemente, un curso fluvial se considera contaminado cuando la composición o el estado de sus aguas ha sido directa o indirectamente modificado por la actividad antrópica, en una medida tal que se reducen las posibilidades de utilización para todas o algunas de las finalidades a que podía destinarse en su estado natural.

Una de las principales causas de la contaminación de los medios hídricos —junto con los vertidos industriales o de origen agropecuario y la contaminación difusa procedente de escorrentías, aguas de tormentas, transporte por vía atmosférica, etc.— son las aguas residuales urbanas no tratadas o solo parcialmente, esto es, las aguas recogidas en las aglomeraciones urbanas procedentes de los vertidos de la actividad humana doméstica (aguas residuales domésticas) o la mezcla de estas con las procedentes de actividades comerciales, industriales y agrarias integradas en el núcleo urbano, así como las aguas de lluvia.

En la tabla 1 se recoge la composición típica de un agua residual urbana, con tres grados posibles de contaminación (fuerte, media y débil). Generalmente, concentraciones elevadas de los parámetros corresponden a consumos de agua bajos y viceversa.

Es importante destacar que la escorrentía que genera la lluvia sobre las superficies urbanas (escorrentía urbana) se considera también agua residual, por cuanto moviliza las cargas contaminantes acumuladas en dichas superficies durante los periodos de tiempo seco (periodos entre precipitaciones), que son arrastradas y vertidas en los cauces fluviales, pudiendo afectar gravemente a los ecosistemas de los medios receptores. En la tabla 2 se recoge la composición típica de un agua de escorrentía urbana, referida a los parámetros más significativos, y sus respectivos valores.

Consecuentemente, y en contra de lo que hasta hace pocos años venía siendo habitual, hoy en día ya no se considera una práctica sostenible el vertido directo a los medios hídricos de las aguas de escorrentía, sobre todo a raíz de la Directiva 2000/60/CE, conocida como Directiva Marco del Agua (DMA). La DMA establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas y constituye el referente de las actuaciones en política de

Tabla 1. Composición típica de un agua residual urbana según el nivel de concentración de los parámetros contaminantes

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN (mg/l)		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales (ST)	1.200	700	350
Fijos	600	350	175
Volátiles	600	350	175
Sólidos en Suspensión (SS)	350	200	100
(SS sedimentables+SS coloidales) Fijos (SSF)	75	50	30
Volátiles (SSV)	275	150	70
SS sedimentables (SSs)	20	10	5
SS coloidales (SSc)	330	190	95
Sólidos Disueltos (SD)	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO <sub>5</sub> )	400	220	110
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1.000	500	250
Carbono Orgánico Total (COT)	290	160	80
Nitrógeno total (NT)	85	40	20
Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)	85	40	20
Nitrógeno Orgánico (N-NO)	35	15	8
Nitrógeno Amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	50	25	12
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0	0	0
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0	0	0
Fósforo total (PT)	15	8	4
Fósforo Orgánico (PO)	5	3	1
Fósforo Inorgánico (PI)	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50
Grasas	150	100	50

Fuente: Metcalf & Eddy, 2000.

Tabla 2. Parámetros de contaminación de la escorrentía urbana

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN (mg/l)	
	Rango	Valor medio
DBO <sub>5</sub>	9-38	20
DQO	60-200	105
SS	100-450	195
N total	1,2-6,0	2,7
P total	0,1-1,7	0,5
Coliformes Fecales, CF (N.º/100 ml)	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>

Fuente: Temprado et al., 1996.

aguas en la Unión Europea. Esta directiva incluye disposiciones para la protección de las aguas continentales (superficiales y subterráneas), las aguas de transición y las aguas costeras.

Todos estos motivos hacen imprescindible depurar las aguas residuales previamente a su vertido en los medios receptores.

Se entiende por depuración, o tratamiento de las aguas residuales, el “conjunto de operaciones encaminadas a eliminar o reducir los agentes contaminantes presentes en el agua residual”. En el equilibrio propio de la naturaleza, la depuración se

realiza en los cursos de agua, mediante los mecanismos de autodepuración. Sin embargo, en la actualidad, para mantener el ciclo natural y posibilitar la recuperación de la capacidad de autodepuración de los ríos, se hace necesario emplear sistemas de tratamiento de las aguas residuales.

El tratamiento de las aguas residuales en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) o, simplemente, depuradora, consiste en acelerar o intensificar los procesos de autodepuración de los medios receptores, forzándolos en un tiempo y espacio mínimos, con la finalidad de producir un efluente que pueda ser descargado sin causar serios impactos al medio ambiente.

Una EDAR está constituida por un conjunto de infraestructuras, mecanismos e instalaciones que llevan a cabo el tratamiento de las aguas residuales mediante la aplicación de operaciones de tipo físico, químico y biológico que permiten adecuar su calidad a la normativa de vertidos, de manera que los efluentes depurados que se vierten no alteren sustancialmente la calidad de las masas de aguas receptoras (imagen 1).

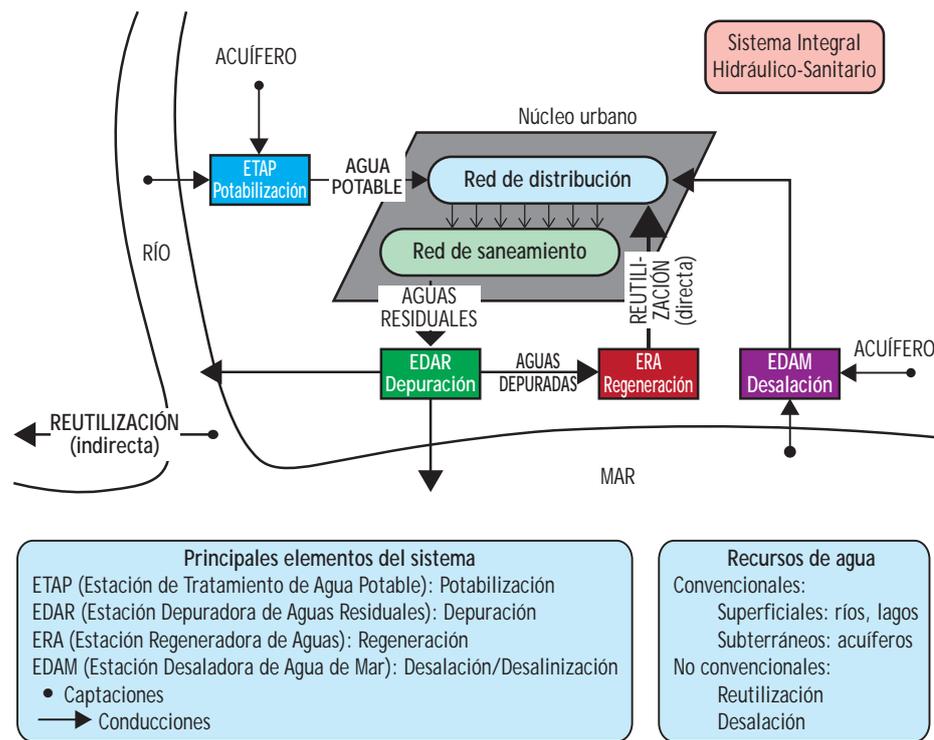
Avanzando en el nivel de tratamiento de las aguas residuales, los efluentes depurados pueden regenerarse, sometiéndose a tratamientos complementarios para adecuar su calidad a la normativa de reutilización. Estos tratamientos se llevan a cabo en Estaciones Regeneradoras de Aguas (ERA), esto es, un conjunto de instalaciones donde las aguas residuales depuradas se someten a

Imagen 1. Vista aérea de la EDAR "Rincón de León" (Alicante)



Fuente: Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana (EPSAR).

Figura 1. Esquema del Sistema Integral Hidráulico-Sanitario



Fuente: Elaboración propia.

los procesos de tratamiento adicional que puedan ser necesarios para adecuar su calidad al uso previsto (reutilización).

Las aguas residuales generadas en los núcleos urbanos han sido tradicionalmente reutilizadas en puntos situados aguas abajo para otras demandas de agua, mediante el vertido de estos efluentes a los cursos fluviales y su dilución en el caudal circulante. Esta es la denominada reutilización indirecta del agua. La reutilización directa o planificada del agua tiene un origen más reciente y supone el aprovechamiento directo de efluentes, con un determinado nivel de tratamiento previo, sin la existencia de un vertido o una dilución en un curso de agua.

Tanto la depuración como la reutilización —junto con la potabilización del agua y, en su caso, la desalación— son componentes intrínsecos del ciclo del agua. La figura 1 muestra el esquema del ciclo hídrico urbano, que podríamos denominar "Sistema Integral Hidráulico-Sanitario".

El esquema de la figura 1 representa de forma implícita una gestión conjunta de los recursos hídricos convencionales (aguas superficiales y subterráneas) y no convencionales (reutilización y desalación), de manera que, idealmente, el balance hídrico quede compensado dentro de una determinada unidad hidrológica.

En relación con todo lo anterior, el Gobierno acaba de concluir el segundo ciclo de la planificación hidrológica (2016-2021) —el primer ciclo abarcaba el sexenio 2009-2015— con la aprobación, a propuesta del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), de los planes hidrológicos de cuenca de las doce demarcaciones hidrográficas competencia del Estado y de cuatro planes hidrológicos de competencia autonómica,

correspondientes estos últimos a demarcaciones hidrográficas intracomunitarias.

La aprobación de los planes hidrológicos del segundo ciclo representa un impulso a una política del agua destinada a alcanzar un equilibrio entre la consecución de los objetivos ambientales y los objetivos de atención a las demandas. Asimismo, se da cumplimiento a la DMA y se recuperan los retrasos acumulados en materia de agua en los últimos años, con lo que nuestro país puede iniciar el tercer ciclo de planificación hidrológica junto a los demás miembros de la Unión Europea.

En los doce planes de competencia estatal se incluyen más de diez mil medidas a ejecutar, con una inversión prevista de 15.000 M€, a los que hay que añadir otros 2.500 M€ para los cuatro planes intracomunitarios, lo que hace una suma total de 17.500 M€. De este montante, aproximadamente el 65% corresponde a medidas destinadas a cumplir los objetivos ambientales y de protección frente a inundaciones establecidos en la normativa europea, y el 35% restante a las medidas previstas para la satisfacción de las demandas y otros usos sectoriales relacionados con el agua. En relación con los objetivos ambientales, se incrementan los caudales ecológicos y se mejora la calidad de las aguas mediante actuaciones de saneamiento y depuración.

#### MARCO NORMATIVO DE LA DEPURACIÓN Y DE LA REUTILIZACIÓN

El referente normativo de la depuración de las aguas residuales es la Directiva 91/271/CEE (D271) —parcialmente modificada por la Directiva 98/15/CE—, que contiene estipulaciones relativas a la recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas y el tratamiento y vertido de las aguas residuales procedentes de determinados sectores industriales. La D271 establece unos requisitos mínimos para el vertido de dichas aguas y unos diferentes plazos para cumplirlos, según el tamaño de la población en habitantes equivalentes (un habitante equivalente, h-e, es la unidad de contaminación que representa la carga orgánica biodegradable con una Demanda Bioquímica de Oxígeno de cinco días (DBO<sub>5</sub>) de 60 gramos de oxígeno por día), que el vertido afecte a aguas continentales o marinas, y que vierta a zonas sensibles o menos sensibles (tablas 3 y 4).

Los parámetros de control de los efluentes depurados se refieren a la materia orgánica —medida como DBO<sub>5</sub> o como DQO (Demanda Química de Oxígeno)—, a los sólidos en suspensión (SS) y, en el caso de vertidos a zonas sensibles eutróficas, a los princi-

Tabla 3. Requisitos exigidos a los vertidos de aguas residuales urbanas depuradas (Directiva 91/271/CEE)

Parámetro	Concentración (media diaria máx.)	Porcentaje mínimo de reducción (%)
DBO <sub>5</sub> (a 20 °C sin nitrificación)	25 mg/l O <sub>2</sub>	70-90
DQO	125 mg/l O <sub>2</sub>	75
SS totales	35 mg/l (>10.000 h-e)	90 (>10.000 h-e)
	60 mg/l (2.000-10.000 h-e)	70 (2.000-10.000 h-e)

Fuente: Directiva 91/271/CEE.

Tabla 4. Requisitos exigidos a los vertidos de aguas residuales urbanas depuradas para zonas sensibles (Directiva 91/271/CEE)

Parámetro	Concentración (media diaria máxima)	Porcentaje mínimo de reducción (%)
P total	2 mg/l (10.000-100.000 h-e) 1 mg/l (>100.000 h-e)	80
N total	15 mg/l (10.000-100.000 h-e) 10 mg/l (>100.000 h-e)	70-80

Fuente: Directiva 91/271/CEE.

pales nutrientes potencialmente eutrofizantes, esto es, el nitrógeno (N) y el fósforo (P).

En cuanto a la reutilización, la norma de referencia en España es el real decreto 1620/2007 (RD de reutilización), que establece los mecanismos legales que permiten disponer del agua residual depurada como recurso alternativo, impulsando, a su vez, planes de reutilización y de uso más eficiente del recurso hídrico. La norma determina los requisitos necesarios para llevar a cabo la actividad de utilización de aguas regeneradas (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), los procedimientos para obtener la concesión exigida en la ley, incluyendo disposiciones relativas a los usos admitidos y los criterios de calidad mínimos obligatorios exigibles para la utilización de las aguas regeneradas según los usos.

De acuerdo con el RD de reutilización, el agua regenerada podrá utilizarse para los siguientes usos:

- 1) Urbanos:
  - Residencial (riego de jardines privados y descarga de aparatos sanitarios).
  - Servicios (riego de zonas verdes urbanas -parques, campos deportivos y similares-, baldeo de calles, sistemas contra incendios y lavado industrial de vehículos).
- 2) Agrícolas:
  - Riego de cultivos de consumo en fresco en contacto directo con el agua regenerada.
  - Riego de cultivos que no se consumen en fresco (con tratamiento industrial posterior), riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne. Acuicultura.
  - Riegos de cultivos leñosos, flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo con el agua regenerada, riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes, cereales y semillas oleaginosas.
- 3) Industriales:
  - Aguas de proceso y limpieza. Otros usos industriales.
  - Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.
- 4) Recreativos:
  - Riego de campos de golf.
  - Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales sin acceso público.

- 5) Ambientales:  
 Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.  
 Recarga de acuíferos por inyección directa.  
 Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público. Silvicultura.  
 Otros usos (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares).

El real decreto de reutilización establece seis tipos de calidad del agua (A, B, C, D, E y F) según sus características bacteriológicas, puesto que el condicionante de los tratamientos de regeneración es el nivel de desinfección. En la tabla 5 se recogen estos tipos de calidad y los valores paramétricos máximos admisibles correspondientes.

Al mismo tiempo, el real decreto de reutilización prohíbe expresamente la reutilización de las aguas depuradas para los siguientes usos:

- a) Para el consumo humano, salvo situaciones de declaración de catástrofe en las que la autoridad sanitaria especificará los niveles de calidad exigidos a dichas aguas y los usos.  
 b) Para los usos propios de la industria alimentaria, tal y como se determina en el artículo 2.1 b) del real decreto 140/2003, de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, salvo lo dispuesto en el anexo I.A.3.calidad 3.1c para el uso de aguas de proceso y limpieza en la industria alimentaria.

- c) Para uso en instalaciones hospitalarias y otros usos similares.  
 d) Para el cultivo de moluscos filtradores en acuicultura.  
 e) Para el uso recreativo como agua de baño.  
 f) Para el uso en torres de refrigeración y condensadores evaporativos, excepto lo previsto para uso industrial en el anexo I.A.3.calidad 3.2.  
 g) Para el uso en fuentes y láminas ornamentales en espacios públicos o interiores de edificios públicos.  
 h) Para cualquier otro uso que la autoridad sanitaria o ambiental considere un riesgo para la salud de las personas o un perjuicio para el medio ambiente, cualquiera que sea el momento en el que se aprecie dicho riesgo o perjuicio.

**TECNOLOGÍAS DE DEPURACIÓN Y DE REGENERACIÓN**

El tratamiento de las aguas residuales en una EDAR y, en su caso, de las aguas depuradas en una ERA para su regeneración y posterior reutilización, se organiza en líneas, formadas por una serie de fases o etapas sucesivas. Cada una de estas fases se compone de diferentes procesos y de tecnologías específicas que se seleccionan en función de las características de los afluentes, del grado o nivel de tratamiento deseado y de la calidad requerida a los efluentes, teniendo en cuenta las circunstancias propias del emplazamiento de la EDAR-ERA (demográficas, geográficas, urbanísticas, usos del agua, etc.)

La figura 2 muestra el diagrama de flujo de las fases del tratamiento que componen las líneas de agua y de fango (líneas habituales de proceso) de una EDAR convencional (biológica) y de una ERA. Además, en una EDAR con digestión anaerobia de fangos puede existir una tercera línea, denominada línea de gas. Mediante el proceso de digestión anaerobia se genera biogás, formado mayoritariamente por metano (70%), con el que se produce electricidad por cogeneración, para cubrir, al menos en parte, las necesidades energéticas de la planta depuradora.

A continuación, se describen sucintamente los objetivos, las operaciones y las tecnologías utilizadas en cada una de estas fases.

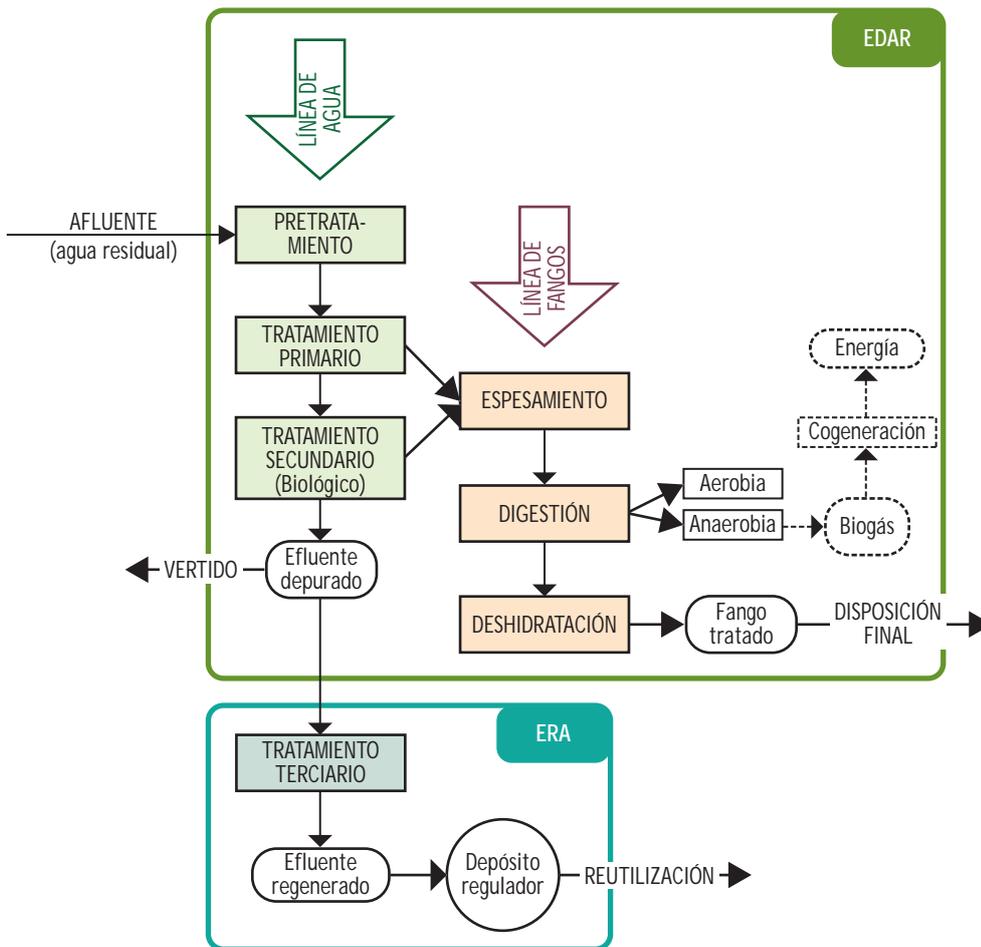
El pretratamiento tiene como objetivo separar del agua residual las materias groseras, que por su naturaleza o tamaño podrían causar problemas de operación y/o

Tabla 5. Tipos de calidad del efluente regenerado según los límites bacteriológicos del real decreto de reutilización

Usos	Tipo de calidad	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	<i>Nematodos intestinales</i>	<i>Legionella spp.</i> (UFC/100 ml)
Torres de refrigeración y condensadores evaporativos	A	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Residenciales			< 1 huevo/10 l	< 100
Recarga de acuíferos por inyección directa			No se fija límite	No se fija límite
Servicios urbanos	B	< 100-200	< 1 huevo/10 l	< 100
Riego agrícola sin restricciones				
Riego de campos de golf	C	< 1.000	< 1 huevo/10 l	No se fija límite
Riego de cultivos que no se consumen en fresco (con tratamiento industrial posterior), riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne. Acuicultura				
Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno				
Riegos de cultivos leñosos, viveros y cultivos industriales	D	< 10.000	< 1 huevo/10 l	< 100
Masas de agua sin acceso público				
Riego de bosques y zonas verdes no accesibles al público	E	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite
Ambientales: mantenimiento humedales, caudales mínimos	F	La calidad se estudiará caso por caso		

Fuente: Guía para la Aplicación del real decreto 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas.

Figura 2. Diagrama de flujo de las fases de tratamiento de una EDAR-ERA



Fuente: elaboración propia.

mantenimiento en las instalaciones (maquinaria, conducciones, etc.) y unidades de depuración posteriores. Tales son los casos de los grandes sólidos, materias flotantes de gran tamaño, gravas, arenas y sólidos de pequeño tamaño, aceites, grasas y flotantes de pequeño tamaño. Las operaciones y técnicas que comprende el pretratamiento son: el desbaste —mediante rejillas y/o tamices—, el desarenado y el desengrasado.

El tratamiento primario tiene como objetivo separar del agua residual los SS sedimentables por gravedad. La operación más frecuente es la decantación o sedimentación primaria, que se realiza en decantadores primarios.

Finalmente, en el tratamiento secundario se elimina la mayor parte de la materia orgánica (disuelta y coloidal) y de los SS no sedimentables. En la depuración de las aguas residuales urbanas se utilizan principalmente procesos de tipo biológico, motivo por el cual a este tratamiento se le suele denominar también como tratamiento biológico. Los sistemas de tratamiento pueden ser de biomasa suspendida y de biomasa fija. Entre los primeros, el sistema típico es el de fangos activados y entre los segundos, el de lechos bacterianos.

Estas tipologías de procesos se encuadran dentro de las denominadas “tecnologías duras o intensivas”, por contraposición

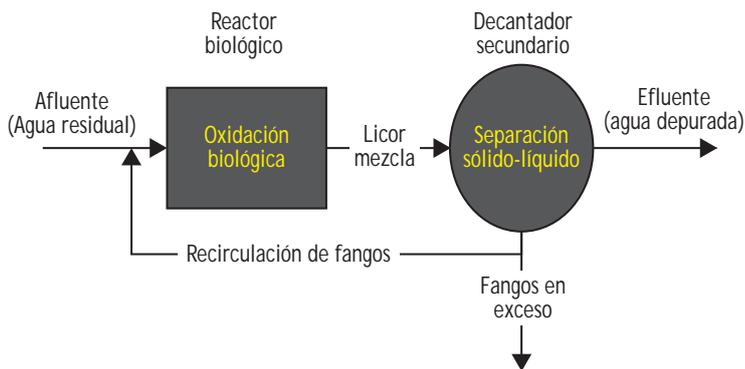
a las conocidas como “tecnologías blandas, naturales o extensivas” (lagunajes, humedales artificiales, filtros verdes, etc.). Las primeras, a diferencia de las segundas, tienen un mayor consumo energético y requieren menos espacio para su implantación. Generalmente, las tecnologías intensivas pueden dar servicio a núcleos urbanos de cualquier tamaño (en términos de h-e), gracias, sobre todo, a la gran diversidad de variantes disponibles que le confieren una enorme versatilidad, quedando las extensivas circunscritas a pequeñas poblaciones.

El sistema intensivo de depuración más ampliamente difundido a nivel mundial es el de fangos activados, que cuenta con numerosas variantes según el modo de funcionamiento (distintos procesos considerados como convencionales, aireación prolongada, canales de oxidación, reactor discontinuo secuencial o SBR, etc.). En su configuración básica, el proceso de fangos activados consta de dos fases o etapas en serie: una de oxidación biológica y otra de separación sólido-líquido (figura 3 e imagen 2).

La primera etapa (oxidación biológica) se realiza en un reactor biológico o biorreactor, agitado y aireado, en donde se provoca el desarrollo de un cultivo microbiano formado por gran número de microorganismos —principalmente bacterias aerobias, esto es, que precisan de oxígeno disuelto para respirar— los cuales, agrupados en flóculos, (bio)degradan la materia orgánica. La segunda etapa (separación sólido-líquido) tiene lugar en un decantador secundario o clarificador, donde se separan del efluente ya depurado los flóculos biológicos formados en el biorreactor. Una parte de los fangos producidos en el decantador secundario se recircula al reactor biológico para mantener una adecuada concentración de microorganismos en el mismo, mientras que el resto (fangos en exceso) se purga hacia la línea de fangos.

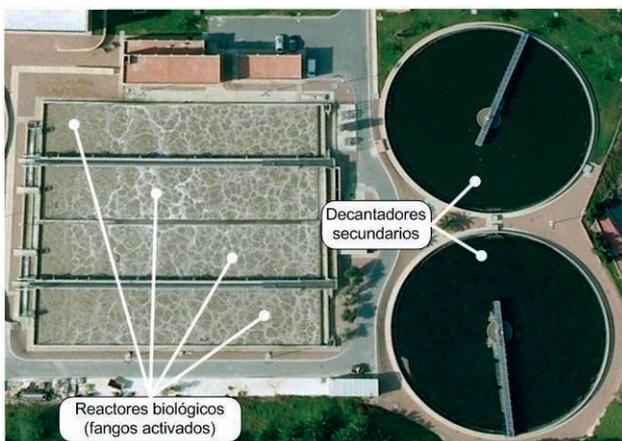
Los fangos son subproductos resultantes de la depuración del agua residual, concretamente, del tratamiento primario (fango primario) y del secundario (fango secundario, biológico, o en exceso). Se caracterizan por su extrema liquidez (ocupan mucho vo-

Figura 3. Esquema del tratamiento secundario de fangos activados



Fuente: elaboración propia.

Imagen 2. Tratamiento secundario por fangos activados de una EDAR urbana en servicio (EDAR "Rincón de León", Alicante)



Fuente: elaboración propia sobre imagen de Google Maps.

lumen) y su putrescibilidad (sanitaria y ambientalmente perjudicial), razones por las cuales deben ser adecuadamente tratados antes de su evacuación de la EDAR. El conjunto de procesos que se emplean para tratar los fangos conforma la línea de fangos, que normalmente está integrada por el espesado (en espesadores por gravedad o por flotación), para concentrar los fangos por eliminación de agua y reducir su volumen, mejorando el rendimiento de los procesos posteriores; la estabilización o digestión (en digestores aerobios o anaerobios), para reducir el contenido de la materia volátil a fin de hacer el residuo menos putrescible y más estable; y la deshidratación (en filtros banda, filtros prensa o centrífugas), para eliminar agua del fango y convertirlo en un (bio)sólido fácilmente manejable y transportable.

En la imagen 3 se indican las instalaciones de las líneas de agua (pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario) y de fangos (espesado, digestión y deshidratación) de una EDAR.

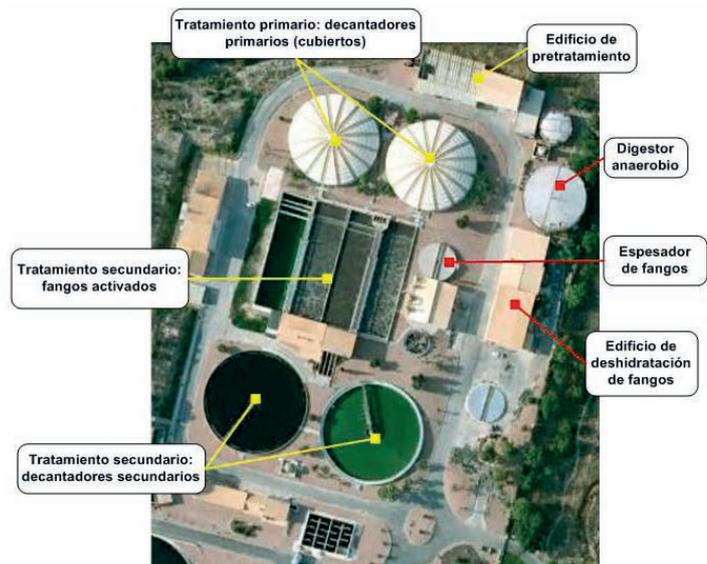
En cuanto al tratamiento terciario, está constituido por los procesos que se aplican a las aguas residuales,

después del tratamiento secundario, para obtener mejores rendimientos en la eliminación de DBO<sub>5</sub> y SS. Uno de sus principales objetivos es el de adaptar la calidad de las aguas residuales a las normas establecidas según el posterior uso del efluente (tratamientos de regeneración para reutilización) o el destino del medio receptor, por lo que también suelen denominarse tratamientos complementarios, de afino o avanzados. Incluye, asimismo, entre sus objetivos, la eliminación de nutrientes (fundamentalmente N y P, para evitar problemas de eutrofización), metales, etc. y la reducción de cargas excepcionales de tipo puntual o estacional.

En el caso concreto del tratamiento terciario de regeneración para reutilización, su objetivo es mejorar la calidad del efluente depurado en la EDAR para cumplir los requisitos de calidad de las aguas regeneradas conforme el real decreto de reutilización. Para ello, es preciso complementar las instalaciones de tratamiento previas con procesos avanzados que reduzcan la carga contaminante residual hasta valores admisibles para el uso al que vaya a destinarse el agua producto y eliminen los microorganismos patógenos para garantizar la adecuada calidad sanitaria del agua. Desde esta perspectiva, el objetivo principal del tratamiento de regeneración es reducir la cantidad de agentes patógenos que hayan sobrevivido a los tratamientos de depuración, así como reducir el nivel de sólidos en suspensión y turbidez, a fin de adaptarse a calidades mínimas exigidas para su uso, conforme el real decreto de reutilización.

Como se ha dicho anteriormente, el tratamiento terciario de regeneración se lleva a cabo en una ERA, que puede implantarse como una ampliación o mejora de la propia EDAR o diseñarse *ex novo* conjuntamente con esta (imagen 4).

Imagen 3. Elementos de la línea de agua (en color amarillo) y de la línea de fangos (en color rojo) de una EDAR (EDAR "Monte Orgegia I", Alicante)



Fuente: elaboración propia sobre imagen de Google Maps.

Imagen 4. Instalaciones del tratamiento terciario de la EDAR-ERA "Alicante Norte" (Alicante)



Fuente: elaboración propia sobre imagen de Google Maps.

Entre los procesos más utilizados en los tratamientos terciarios de regeneración, pueden destacarse los siguientes: físico-químico (coagulación + floculación + decantación lamelar), filtración (sobre lecho granular, filtros de discos, filtros de telas), nitrificación-desnitrificación (para eliminar nitrógeno), ósmosis inversa (en el caso de aguas salinas o salobres) y desinfección (cloración, ozonización, radiación UV). En la imagen 5 se muestran algunas de las tecnologías implicadas en estos procesos: coa-

gulación-floculación-decantación lamelar (físico-químico), discos de telas (filtración) y radiación UV (desinfección).

No obstante, cada caso particular deberá estudiarse individualmente para definir el tratamiento más adecuado, que dependerá tanto de la calidad del efluente depurado como del uso posterior del agua regenerada, de aspectos económicos, de la disponibilidad de espacio, etc.

Para un diseño inicial, pueden considerarse las líneas generales de tratamiento indicadas en la tabla 6, en función de los tipos de calidad del real decreto de reutilización (ver tabla 5).

#### SISTEMAS AVANZADOS DE TRATAMIENTO

A lo largo de los últimos años, los sistemas más o menos convencionales de biomasa suspendida (fangos activados) y de biomasa fija (lechos bacterianos) han ido evolucionando hacia sistemas más avanzados, que optimizan los rendimientos, el consumo energético y los requerimientos de espacio, como aspectos más significativos.

Es, por ejemplo, el caso de los sistemas de biomasa fija sobre lecho móvil y de los sistemas de biomasa fija sumergida. Entre los primeros, destacan el Biorreactor de Lecho móvil o MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*) y el Proceso Integrado de Biopelícula y Fangos Activados o IFAS (*Integrated fixed Film Activated Sludge*); y, entre los segundos, los reactores biológicos de lecho relleno o PBBR (*Packed Bed Biological Reactors*) —también denominados filtros inundados, biofiltros o filtros biológicos inundados, bio-

Imagen 5. Procesos de un tratamiento terciario (EDAR-ERA "Alicante Norte", Alicante): coagulación-floculación-decantación lamelar (izq.), filtración por discos de telas (centro) y desinfección por radiación UV (dcha.)



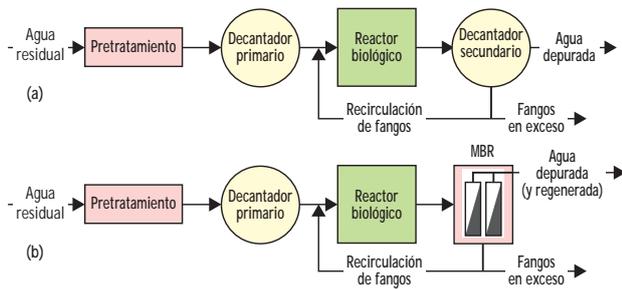
Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Líneas de tratamiento terciario de regeneración (T-1 a T-6) según los tipos de calidad de la Tabla 5 (A, B, C, D y E)

Tratamientos sin desalación				Tratamientos con desalación	
T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
Físico-químico (coagulación-floculación-decantación)	Físico-químico (coagulación-floculación-decantación)	Filtración	Filtración	Físico-químico (coagulación-floculación-decantación)	Físico-químico (coagulación-floculación-decantación)
Filtración	Filtración	Luz UV		Filtración	Filtración
Ultrafiltración (UF)	Luz UV	Desinfección		Filtración con membrana	Desalación Electrodialisis Reversible EDR
Desinfección	Desinfección			Ósmosis inversa (OI)	Luz UV
				Desinfección	Desinfección
Calidad: A	Calidad: B	Calidad: C, D	Calidad: E	Calidad: todas	Calidad: B, C, D, E

Fuente: elaboración propia (adaptado de *Guía para la Aplicación del RD 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas*).

Figura 4. Diagramas de bloques comparativos entre un sistema de fangos activos convencional (a) y un sistema MBR (b)



Fuente: elaboración propia.

reactores de lecho inundado, biofiltros granulares, etc. – y los reactores biológicos de lecho fluidizado o FBBR (*Fluidized Bed Biological Reactors*).

Sin embargo, los desarrollos más significativos se focalizan en el Biorreactor de Membrana o MBR (*Membrane BioReactor*). El MBR es una modificación del sistema convencional de fangos

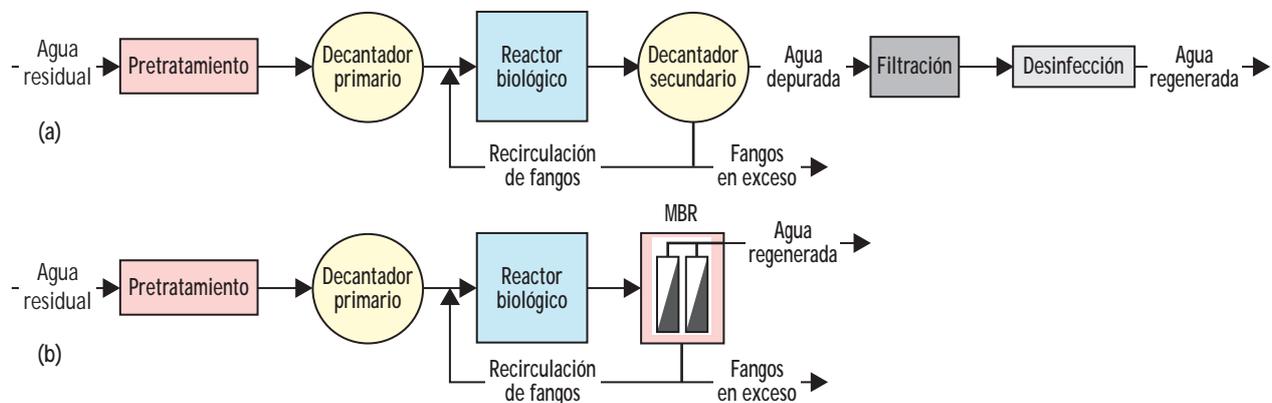
Imagen 6. Instalación de un módulo de MBR (izq.) y MBR en funcionamiento (dcha.)



Fuente: Koch Membranes System.

activados, en el que se sustituye el decantador secundario por unidades de membrana de microfiltración (MF, tamaño de poro entre 0,1 y 1 µm) o de ultrafiltración (UF, tamaño de poro entre 0,005 y 0,1 µm), para producir un efluente de alta calidad, libre

Figura 5. Diagramas de bloques comparativos entre un tratamiento biológico convencional con tratamiento terciario de filtración y desinfección (a) y un sistema MBR de tratamiento terciario (b)



Fuente: elaboración propia.

de sólidos en suspensión y de microorganismos, que verificaría las exigencias del real decreto de reutilización.

Los MBR son sistemas en los que se integra la degradación biológica de las aguas residuales (biodegradación) con la filtración de membrana (separación sólido-líquido) (figura 4 e imagen 6).

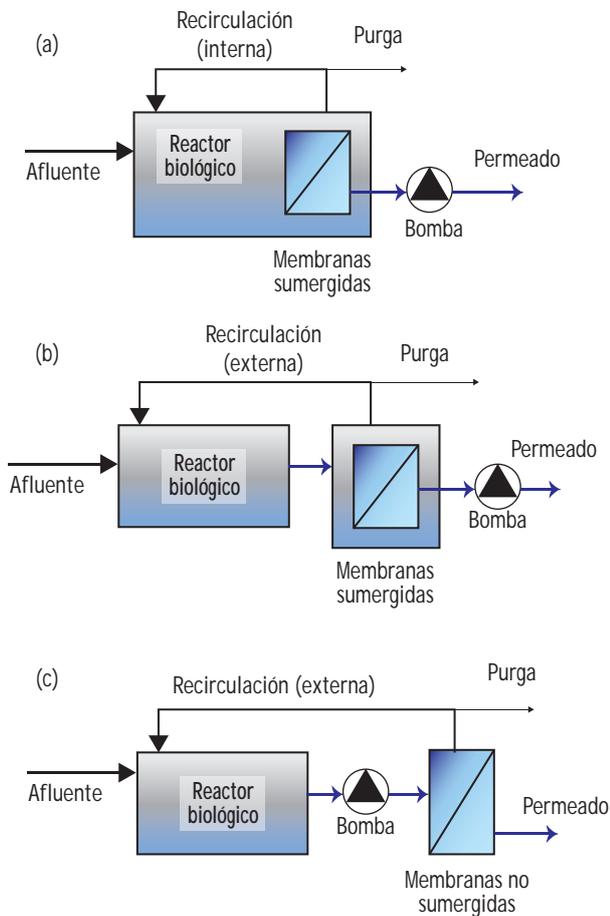
En el diseño *ex novo* de un sistema de depuración y de regeneración, el MBR puede operar simultáneamente como tratamiento secundario y terciario (figura 5), reduciéndose significativamente las necesidades de espacio.

Los MBR pueden adoptar diferentes configuraciones (figura 6): membrana sumergida integrada (a), membrana sumergida no integrada (b) y membrana externa (c), siendo las dos primeras las más empleadas en la actualidad. Los sistemas de membrana externa están prácticamente en desuso.

En los sistemas integrados las membranas están sumergidas y ubicadas dentro del reactor biológico, mientras que en los no integrados las membranas sumergidas se ubican en un tanque separado, lo que facilita su mantenimiento y reparación o sustitución. En los sistemas externos las membranas no están sumergidas y la filtración se realiza en módulos independientes del reactor biológico.

Por otro lado, las EDAR urbanas han estado tradicionalmente diseñadas para eliminar la materia orgánica (DBO<sub>5</sub>) y los sólidos en suspensión (SS), prestando, en general, poca atención a los compuestos nitrogenados y fosforados. De hecho, según la Directiva 98/15/CE (ver tabla 4) únicamente sería necesario eliminar estas sustancias en el caso de vertidos a zonas sensibles, por ejemplo, eutróficas (embalses, lagos, rías, etc.). A pesar de ello, en la actualidad, y sobre todo a raíz de la promulgación de la DMA, la mayoría de las EDAR están incorporando también procesos de eliminación de nutrientes, especialmente nitrógeno, por el impacto negativo que este elemento ocasiona en los medios hídricos receptores. Efectivamente, el nitrógeno (N) –junto con el fósforo (P)– es un factor de eutrofización, y su presencia o la de alguno de sus derivados en las aguas residuales es perjudicial para los cauces, debido a que los compuestos del nitrógeno (amoníaco, nitritos, etc.) consumen oxígeno, con la consiguiente reducción

Figura 6. Configuraciones más comunes de los MBR: (a) sistema sumergido integrado, (b) sistema sumergido no integrado, (c) sistema externo



Fuente: CEDEX, 2014.

del oxígeno disuelto en los ríos por debajo de los valores necesarios para la vida piscícola.

Para eliminar los compuestos orgánicos nitrogenados en las EDAR se aplican procesos de nitrificación-desnitrificación. La nitrificación es un proceso biológico mediante el cual el nitrógeno amoniacal del agua residual se oxida a nitrato. El proceso tiene lugar en condiciones aerobias, es decir, en presencia de oxígeno disuelto. La desnitrificación es un proceso por el cual los nitratos y nitritos se reducen a nitrógeno libre. Este proceso tiene lugar en un reactor biológico anóxico (sin oxígeno libre). Normalmente, ambos procesos se realizan de forma conjunta, como nitrificación-desnitrificación.

Uno de los esquemas funcionales más utilizados es el de desnitrificación preconnectada (figura

7). En este proceso conjunto de nitrificación-desnitrificación, el afluente entra en un reactor anóxico, en donde al no haber oxígeno libre las bacterias se ven obligadas a consumir nitrato para poder degradar la materia orgánica. En esta etapa, el nitrato es transformado a nitrógeno gas (desnitrificación) y eliminado del sistema. A continuación, en una segunda etapa, el agua residual es conducida a un reactor aerobio, en donde el amoníaco se convierte primero a nitrito (nitritación) y seguidamente a nitrato (nitratación). Esta segunda etapa, en la que el amoníaco se convierte a nitrato (nitrificación), requiere la presencia de oxígeno libre (proceso aerobio).

Los sistemas MBR también pueden diseñarse para la eliminación biológica de nitrógeno. La figura 8 muestra el diagrama de flujo completo de una EDAR con MBR no integrado y con nitrificación (N)-desnitrificación (DN).

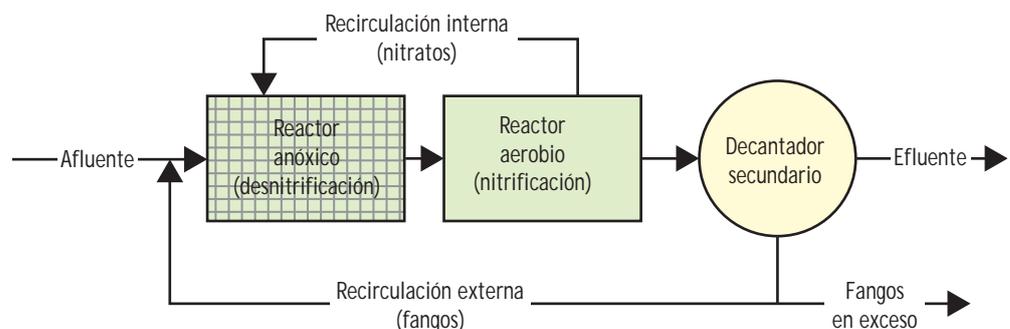
Al margen de los sistemas aerobios, pueden emplearse sistemas anaerobios en la línea de agua, los cuales, por otro lado, van siendo cada vez más utilizados en la línea de fangos, concretamente, en la digestión. Los dos sistemas anaerobios con mayor proyección son el MBR anaerobio o AMBR (*Anaerobic Membrane Biological Reactor*) y el reactor de manto de fangos de flujo ascendente o UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). El AMBR se encuentra aún en fase de desarrollo. Las investigaciones en planta piloto se vienen centrando, principalmente, en configuraciones de membrana externa.

El UASB es el sistema de biomasa fija que más desarrollo y difusión ha tenido en los últimos años, especialmente en Latinoamérica. En España, por el momento, no se aplica en la depuración de aguas residuales urbanas, aunque sí en la de aguas residuales industriales.

La innovación tecnológica del UASB reside en un dispositivo trifásico situado en la parte superior del mismo que permite separar internamente la biomasa, el efluente tratado y el biogás (figura 9).

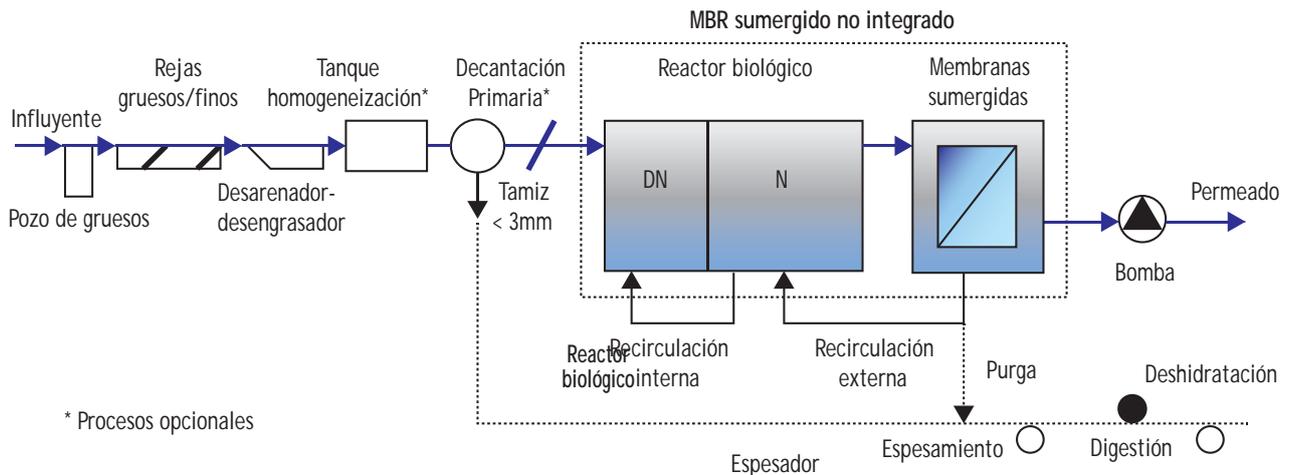
Los UASB tienen unos rendimientos en eliminación de DBO<sub>5</sub> del 60-70% mientras que, por ejemplo, un decantador primario elimina del orden del 30-40%, lo que convierte a estos sistemas en una posible alternativa a los tratamientos primarios habituales para pequeñas poblaciones (fosa séptica, tanque Imhoff, decantador primario).

Figura 7. Proceso conjunto de nitrificación-desnitrificación con desnitrificación preconnectada



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Diagrama de flujo de una EDAR con MBR sumergido no integrado y con nitrificación (N)-desnitrificación (DN)

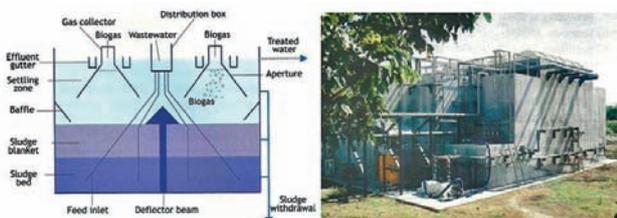


Fuente: CEDEX, 2014.

### TENDENCIAS EN I+D+i

Recientemente, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) ha publicado un documento, denominado *Innovación e Investigación en el sector del agua. Líneas Estratégicas (Idi agua)*, en el que se establecen las líneas estratégicas en I+D+i en el ciclo integral del agua. De acuerdo con este documento y en el ámbito de las tecnologías relacionadas con el

Figura 9. Elementos constitutivos de un UASB (izq.) e imagen de un UASB en servicio



Fuente: Henze y Van Loosdrecht (2008).

agua, la I+D+i se centra en la depuración, regeneración y reutilización del agua, así como en el desarrollo de tecnologías que apuesten por la eficiencia hídrica y energética. En el campo concreto de las tecnologías de depuración de las aguas residuales y de la regeneración de los efluentes depurados para su reutilización, gran parte de las actuaciones en I+D+i se orientan hacia los MBR.

Otra importante línea de actuación se refiere a la eliminación de nutrientes. Tal y como se ha expuesto anteriormente, existe un gran número de tecnologías y procesos de nitrificación-desnitrificación, más o menos convencionales, para la línea de agua. Las actuaciones en I+D+i seguirán profundizando en esta cuestión y, aún más, en el tratamiento de las denominadas "corrientes de retorno", que se generan en las EDAR con digestión anaerobia de fangos. Efectivamente, como resultado de la digestión anaerobia, se obtiene un fango con alta concentración de amonio y, en menor medida, de fosfatos. Normalmente, el fango

digerido es deshidratado antes de su disposición final y el líquido drenado se retorna al proceso biológico. La carga de nutrientes de esta corriente de retorno (*sidestream*) es considerable, y puede llegar a incrementar la carga de nitrógeno en el afluente en un 15-25%, con la consiguiente sobrecarga del sistema de nitrificación-desnitrificación de la línea de agua.

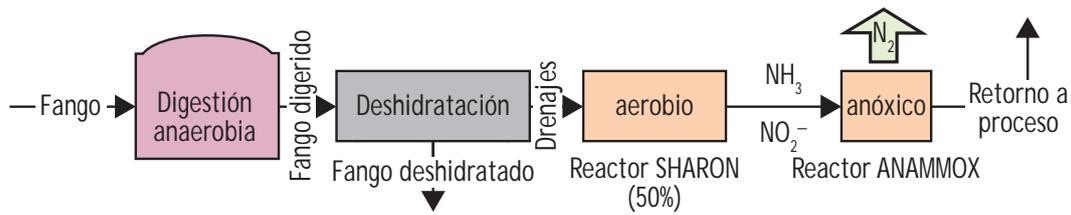
A fin de paliar este problema, se han desarrollado diversos procesos para el tratamiento de estas corrientes de retorno antes de reintroducirlas en la línea de agua, centrados, fundamentalmente, en la eliminación o reducción del amoníaco. Uno de los más novedosos es el proceso combinado SHARON+ANAMMOX. El proceso SHARON (*Single reactor system for High Ammonia Removal Over Nitrite*) es un sistema de nitrificación apropiado para aguas residuales con altas concentraciones de amonio (>0,5 g N/l). Se basa en la nitrificación por microorganismos aerobios y desnitrificación por microorganismos heterótrofos anaerobios, en donde la nitrificación y la desnitrificación se inhiben en un reactor simple con elevadas temperaturas, aireación limitada e intermitente. En este proceso, el 50% del amonio es convertido a nitrito en presencia de oxígeno.

El proceso ANAMMOX (*ANAerobic AMMONium OXidation*) representa una alternativa para el tratamiento de aguas con altas concentraciones de nitrógeno y bajas concentraciones de materia orgánica, debido a que es un proceso autotrófico (no necesita materia orgánica como fuente de carbono) y anóxico (no necesita oxígeno disuelto). Se trata de un proceso biológico mediante el cual ciertas bacterias (autótrofas anaerobias) en condiciones anóxicas oxidan anaeróbicamente el amonio directamente a nitrógeno gas.

El proceso combinado SHARON+ANAMMOX se realiza en dos reactores separados dispuestos en serie (figura 10). En el reactor Sharon (aerobio) se oxida aproximadamente el 50% del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), y en el reactor Anammox (anóxico) se realiza la desnitrificación a nitrógeno gas ( $\text{N}_2$ ).

Este proceso combinado produce poco fango y requiere menos del 40% de la energía de aireación que un proceso convencio-

Figura 10. Sistema SHARON (50%) + ANAMMOX para el tratamiento de las corrientes de retorno de la línea de fangos



Fuente: elaboración propia.

nal de eliminación de nitrógeno. Asimismo, no necesita materia orgánica para producir nitrógeno en la etapa de desnitrificación.

Una de las líneas propuestas en *IDI agua*, que viene suscitando el interés de las administraciones sanitarias y de la comunidad científica desde hace algún tiempo, es la eliminación de contaminantes emergentes o EC (*Emerging Contaminants*). Los EC se pueden definir como "contaminantes desconocidos o no reconocidos como tales, cuya presencia en el medio ambiente no es necesariamente nueva, pero sí la preocupación por las posibles consecuencias de la misma". La Directiva 2013/39/UE se refiere a los CE como "sustancias prioritarias" e incluyen compuestos tales como pesticidas, productos industriales, hormonas, fármacos y productos de higiene personal.

Los tratamientos convencionales de depuración no se han mostrado muy eficaces ante determinados CE, por lo que están evaluando nuevos sistemas que sean capaces de eliminarlos. En este sentido, las investigaciones realizadas hasta la fecha suelen limitarse a estudios en planta piloto, generalmente a nivel de laboratorio. Así, por ejemplo, se están evaluando procesos combinados anaerobios-aerobios, como el de un UASB seguido de un MBR (imagen 7), con unos primeros resultados satisfactorios.

Por otro lado, además de los procesos anteriores, que se encuadran dentro de los sistemas intensivos, hay que mencionar

Imagen 7. Planta piloto de un sistema combinado UASB+MBR para el estudio de la eliminación de contaminantes emergentes (Laboratorio del Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante)



Fuente: elaboración propia.

los sistemas extensivos, entre los que destacan los humedales artificiales (*constructed wetlands*). Se trata de sistemas en los que se llevan a cabo las funciones naturales de los humedales para el tratamiento de las aguas residuales. Estas funciones naturales (eliminación de materia orgánica carbonosa y nitrogenada, sólidos en suspensión, etc.) son realizadas por la vegetación (macrofitas arraigadas o en flotación), el suelo (en el caso de macrofitas arraigadas) y las comunidades microbianas que habitan el humedal.

En función del tipo de circulación del agua, los humedales artificiales pueden ser de flujo horizontal (o de flujo superficial) y de flujo vertical (o de flujo subsuperficial). Generalmente, los humedales de flujo vertical se utilizan como tratamiento secundario y los de flujo horizontal como tratamiento terciario.

Como ventajas añadidas, los humedales artificiales se integran perfectamente en el paisaje y contribuyen a la mejora ambiental del entorno (imagen 8).

Imagen 8: Humedal artificial de macrofitas en flotación (Plaza Ecópolis, Madrid). Ejemplo de integración paisajística



Fuente: Agua Inc (www.aguainc.com).

## CONCLUSIONES

Las tecnologías de depuración de aguas residuales y de regeneración de efluentes depurados para reutilización avanzan muy rápidamente. A ello están contribuyendo decisivamente las universidades y los centros de investigación, en muchas ocasiones a través de convenios de colaboración con empresas implicadas en el ciclo integral del agua.

Una parte sustancial de las actuales líneas de trabajo en I+D+i se centra en la eliminación de contaminantes emergentes.

En este sentido, se están evaluando tecnologías que incluyen sistemas anaerobios y de membranas, como los UASB y los MBR, respectivamente. En los próximos años esta tendencia no solo se mantendrá sino que, muy probablemente, se incrementará.

Uno de los temas pendientes es el de la depuración de las pequeñas poblaciones, entendidas como tales, según la D271, las de menos de 2.000 h-e. Sobre esta cuestión, habrá que incidir tanto en las tecnologías como en la tipología y planificación de los sistemas de depuración (centralizados o descentralizados, intensivos o extensivos, etc.).

Ineludiblemente, deberá seguir progresando la I+D+i relacionada con los tratamientos terciarios de regeneración para reutilización, principalmente para usos urbanos, agrícolas (de vital importancia en zonas de pluviometría irregular y escasa, como es el caso del arco mediterráneo peninsular) y, por supuesto, ambientales (recarga de acuíferos y caudales ecológicos).

Las mayores exigencias en la calidad de los vertidos a los cauces, propiciadas por la DMA, obligarán a redoblar esfuerzos en la eliminación de los compuestos nitrogenados en la línea de agua de las EDAR y en las corrientes de retorno, ya mediante procesos convencionales de nitrificación-desnitrificación, ya mediante tecnologías avanzadas tipo Sharon, Anammox, etc.

Una prioridad de las tecnologías, tanto actuales como futuras, es la optimización del consumo energético, con el objetivo, entre otros, de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido de nitrógeno, cloro-fluorocarbonos, etc.), principales responsables del calentamiento global y, por ende, del cambio climático. Con este objetivo, los desarrollos tecnológicos deben sustentarse en los principios del uso eficiente y sostenible de los recursos naturales, de la energía y, particularmente, del agua.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barceló, D. y Postigo, C. 2015: "Los contaminantes emergentes: Descripción y tratamientos", en *iAgua Magazine*, 4, en <http://www.iagua.es/blogs/damia-barcelo/contaminantes-emergentes-descripcion-y-tratamientos> (Consulta realizada el 28 de diciembre de 2015).
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) 2014: *Guía Técnica para la implantación de biorreactores de membrana*. Madrid, Servicio de Publicaciones del CEDEX.
- Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (en <https://www.boe.es/doue/1991/135/L00040-00052.pdf>).
- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (en <https://www.boe.es/doue/2000/327/L00001-00073.pdf>).
- Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de agosto de 2013, por la que se modifican las Directivas 2000/60/CE y 2008/105/CE en cuanto a las sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas (en <https://www.boe.es/doue/2013/226/L00001-00017.pdf>).
- Henze, M., Van Loosdrecht, M., Ekama, G. A. y Brdjanovic, D. 2008: *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. London, IWA Publishing (en [http://ocw.unesco-ihc.org/pluginfile.php/1025/mod\\_resource/content/1/Introduction%20%281%29.pdf](http://ocw.unesco-ihc.org/pluginfile.php/1025/mod_resource/content/1/Introduction%20%281%29.pdf)).
- Hernández, A. 1996: *Depuración de Aguas Residuales*. Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Hontoria García, E. 2015: *Preguntas y respuestas para diseñar y predimensionar. Memoria y experiencias en los sistemas de depuración*. Granada, Godel Impresiones Digitales, S.L.
- Melgarejo, J., Prats, D., Molina, A. y Trapote, A. 2015: "A case study of urban wastewater reclamation in Spain: comparison of water quality produced by using alternative processes and related costs", en *Journal of Water Reuse and Desalination*. DOI: 10.2166/wrd.2015.147.
- Metcalf y Eddy, 2000: *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid, McGraw-Hill.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2015: *Líneas estratégicas de innovación e investigación en el sector del agua (IDi agua)*, en [http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/sistema-espaniol-gestion-agua/Lineas\\_estrategicas\\_innovacion\\_investigacion.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/sistema-espaniol-gestion-agua/Lineas_estrategicas_innovacion_investigacion.aspx) (Consulta realizada el 21 de diciembre de 2015).
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010: *Guía para la Aplicación del R. D. 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas*. Madrid, Centro de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, en [http://www.mapama.gob.es/es/agua/publicaciones/GUIA\\_RD\\_1620\\_2007\\_\\_tcm7-178027.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/agua/publicaciones/GUIA_RD_1620_2007__tcm7-178027.pdf)
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010: *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Madrid, Centro de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas (BOE, 294, de 8 de diciembre de 2007), en [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-21092](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-21092).
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas (BOE núm. 176, de 24 de julio de 2001), en <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-14276>.
- Temprano González, J., Gabriel Cervigni, M., Suárez López, J. y Tejero Monzón, J. I. 1996: "Contaminación en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia: control en origen", en *Revista de Obras Públicas*, 3352, Madrid, 45-57.
- Trapote Jaume, A. 2013: *Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas*. Alicante, Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Trapote Jaume, A. 2013: *Infraestructuras Hidráulico-Sanitarias II. Saneamiento y drenaje urbano*. Alicante, Publicaciones de la Universidad de Alicante.

## Métodos de valoración ambiental aplicados a la regeneración y reutilización de aguas residuales en agricultura

### *Environmental Assessment Methods Applied to the Regeneration and Reuse of Wastewater in Agriculture*

*Oscar Alfranca-Burriel*

Universitat Politècnica de Catalunya. Castelldefels, Barcelona, España. oscar.alfranca@upc.edu

**Resumen** — El análisis económico y financiero de los proyectos de sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales se ha concentrado frecuentemente en los costes y beneficios privados, tanto por las dificultades metodológicas relacionadas con la estimación de las externalidades, como por la disponibilidad de datos necesarios para su valoración. La consideración de los costes y beneficios ambientales permite una mejora sustancial en el diseño y gestión de los sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales, ya sean públicos o privados. Como consecuencia, también se produce una mejora en la gestión de las inversiones en estos sistemas de tratamiento. El objetivo de este trabajo es presentar unos fundamentos básicos para los principales métodos de valoración ambiental. Y muy especialmente, cuando estos son aplicados en actividades relacionadas con el uso de aguas residuales en agricultura.

**Abstract** — *The economic and financial analysis of wastewater reuse systems projects has laid emphasis on the issues of private costs and benefits, both because of methodological difficulties related to estimating existing externalities and the lack of available data needed for its measurement. Taking full account of the environmental costs and benefits allows for a substantial improvement in the design and management of public and private wastewater reuse systems. Consequently, an improvement is also obtained in the management of investments in the treatment systems. The main objective of this paper is to present the essential theoretical foundations for the main environmental valuation methods, and most particularly when they are applied to wastewater use in agriculture.*

---

**Palabras clave:** métodos de valoración ambiental, aguas residuales, agricultura, preferencias reveladas, preferencias declaradas  
**Keywords:** environmental valuation methods, wastewater, agriculture, revealed preferences, stated preferences

**Información Artículo:** Recibido: 27 febrero 2016

Revisado: 21 septiembre 2016

Aceptado: 28 octubre 2016

La utilización de aguas residuales en agricultura ha recibido una atención creciente en los últimos tiempos. Los motivos principales son la escasez de agua para riego y el interés por disminuir la presencia de sustancias contaminantes en el medio ambiente. En los proyectos relacionados con el riego agrario, resulta imprescindible aplicar unos métodos específicos de valoración ambiental, puesto que las metodologías convencionales no son válidas para estimar todas sus consecuencias económicas y ambientales. Por ejemplo, el método de análisis coste-beneficio requiere de la monetización de los efectos ambientales relacionados, tales como la instalación de una planta desaladora y sus posibles efectos sobre el suelo marino. Habitualmente estos bienes y servicios ambientales no pueden asignarse mediante un mercado y carecen de precio. Todavía más compleja es la valoración de bienes que no presentan un uso claro, pero sí un valor por su propia existencia, como podría ser un tipo de alga específica o un paisaje rural. El objetivo de este trabajo es presentar una descripción de los principales métodos de valoración ambiental y, muy especialmente, algunas bases sobre su aplicación en el uso de aguas residuales en agricultura. El artículo comienza con una breve presentación de la literatura más reciente sobre este tema. Posteriormente, se describen algunos conceptos económicos esenciales en el análisis de proyectos sobre agua regenerada. La sección tercera trata sobre la colaboración público-privada en los servicios de saneamiento y abastecimiento de agua. Con posterioridad, se presentan algunos fundamentos sobre los principales métodos de valoración. Para acabar, se discuten algunos problemas metodológicos y se ofrecen unas conclusiones.

#### AGUA REGENERADA Y AGRICULTURA

La reutilización de agua para riego es una actividad cada vez más frecuente en agricultura, tanto en zonas rurales, como urbanas y periurbanas. Las aguas regeneradas y reutilizadas pueden contener diferentes sustancias, en función de la fuente en que fueron obtenidas y de su nivel de tratamiento<sup>1</sup>. Con frecuencia el precio de las aguas residuales tratadas es menor al de las aguas convencionales, lo que supone un incentivo usar aguas residuales por los regantes<sup>2</sup>.

Por ejemplo, algunos de los componentes principales de las aguas residuales y regeneradas como nitrógeno, fósforo y potasio pueden utilizarse como nutrientes para plantas. Entre los posibles elementos nocivos se hallan algunas sales, metales y metaloides, pesticidas, componentes tóxicos orgánicos y microcontaminantes<sup>3</sup>.

Existe un gran número de estudios en los que se estiman los beneficios para la actividad agraria relacionados con el agua regenerada<sup>4</sup>. Estas investigaciones descartan posibles consecuencias sanitarias cuando se cumplen unos protocolos establecidos.

1 Pescod, 1992. Qadir et al. 2007a. Jiménez y Asano, 2008. Keralta et al. 2010. Qadir et al. 2015.

2 Hurliman y McKay, 2007.

3 Siemens et al. 2008. Simmons et al. 2010.

4 Ver por ejemplo Hamilton et al. 2007. Qadir et al. 2007b. Scott et al. 2004a. Scott et al. 2004b. Scheierling et al. 2011.

Sin embargo, el problema podría ser diferente cuando el agua se obtiene de manera informal, sin consideración alguna por las condiciones sanitarias<sup>5</sup> puesto que la concentración de componentes nocivos (por encima de unos límites permitidos) podría originar problemas en la salud humana<sup>6</sup>.

#### EXTERNALIDADES Y BIENES PÚBLICOS EN LOS PROYECTOS DE AGUA REGENERADA

Una hipótesis fundamental en economía es que los cambios en los precios de los bienes modifican el bienestar de consumidores y de productores. Si bien la cuantía de estos cambios puede estimarse mediante el excedente del consumidor y el excedente del productor, en el caso de los bienes de no-mercado las variaciones en el bienestar originadas por modificaciones en los precios y cantidades consumidas, deben medirse mediante los cambios en la curva que indica la disposición a pagar por parte de los consumidores (puesto que no existe un precio para estos bienes).

Las curvas que representan la disposición marginal a pagar los bienes públicos y los bienes de no-mercado son imprescindibles para expresar la demanda de algunos servicios ambientales agrarios, tales como formación del paisaje rural o la mejora en la biodiversidad de una comarca. Sin embargo, esta disposición podría estimarse mediante la observación directa de las transacciones relacionadas, puesto que no existe un mercado para los bienes públicos y ambientales. Por tanto, la búsqueda de métodos alternativos que permitan estimar la demanda de estos bienes, resulta ineludible.

El valor económico de un recurso natural o ambiental puede calcularse como la suma de los valores presentes del bien, una vez descontados los flujos de sus servicios asociados. Los bienes ambientales inciden en el bienestar humano de manera diversa. Una primera etapa en la valoración de estos bienes consiste en determinar el rango de los impactos esperados, es decir, las características del bien que le otorgan su valor y que deberían recogerse mediante técnicas de valoración ambiental. La suma de los diferentes valores parciales permite calcular el Valor Económico Total, que representa el conjunto de efectos sobre el bienestar humano.

Dado que algunos de estos flujos y servicios no pueden comprarse o venderse en un mercado (y por tanto no tienen precio) el valor económico de este recurso natural podría ser muy diferente al de su valor comercial o residencial. Un precio de mercado sería muy difícil que pudiera recoger el valor de los servicios asociados a la biodiversidad de la zona o su función como elemento sustancial en la formación del paisaje rural.

Una hipótesis principal en la estimación de los costes y beneficios del agua regenerada es que cualquier intervención pública puede modificar el flujo de servicios asociados y por tanto provocar cambios en el valor presente de este bien. Es decir, que cualquier alteración en el flujo de bienes y servicios presentaría su contrapartida en el valor económico del bien. Algunos de estos flujos presentan vinculaciones con el mercado y podría generarse

5 Drechsel et al. 2010. Raschid-Sally y Jayakody, 2008.

6 WHO, 2006.

una respuesta a estos cambios. Sin embargo, muchos de estos flujos no están propiamente determinados por el mercado, sino por otros factores con características de bien público.

Las características que definen a un bien público son dos: la no exclusión y la no rivalidad. Por la capacidad de exclusión entendemos que existe la posibilidad de limitar el acceso de un individuo a este bien (ya sea para su consumo o para utilizarlo como factor de producción). La condición de rivalidad se refiere a la imposibilidad de que varios individuos puedan consumir la misma unidad del mismo bien. Si se satisfacen estas dos condiciones, un sistema de mercado descentralizado podría no alcanzar una asignación óptima. Es decir, que tal vez sería necesaria la intervención pública en su gestión (que requeriría de una mejora en los flujos de información asociados).

Las externalidades relacionadas con las aguas residuales aparecen cuando empresas o individuos generan costes o beneficios sobre otros agentes sociales y estos costes o beneficios no son compensados. Para garantizar la gestión eficiente de cualquier proyecto de agua regenerada, la cuantificación de estas posibles consecuencias resulta imprescindible. En un proyecto de reutilización, por ejemplo, deberían considerarse las siguientes externalidades positivas: aumento en la disponibilidad de agua, disminución en el uso de fertilizantes y disminución en la sobre explotación de acuíferos, entre otras. Las externalidades negativas se relacionan esencialmente con los riesgos químicos y biológicos.

Las aguas residuales presentan con frecuencia las características de bien público, puesto que buena parte de la sociedad las consume y se beneficia de ellas sin necesidad de pagar por su disponibilidad. Así, por ejemplo, resulta difícil la exclusión del consumo individual de un humedal artificial que se ha construido utilizando aguas residuales y que ha mejorado las condiciones de biodiversidad de la zona y sus valores paisajísticos. La naturaleza no rival de los beneficios relacionados con el consumo de aguas residuales, así como su dificultad de exclusión, justifican en la mayoría de los casos la necesidad de su regulación pública. Pese a las características de bien público de las aguas regeneradas, existen beneficios relacionados con su utilización o consumo que justifican las decisiones privadas. Es decir, que habría agentes privados dispuestos a invertir tiempo y esfuerzo (así como su posible coste de oportunidad) para utilizarlas como input en un proceso productivo. Esta perspectiva de bien privado podría referirse tanto a las aguas residuales tratadas como a las que no lo han sido. Por ejemplo, agencias de agua en Australia, Israel y los Estados Unidos pueden vender aguas tratadas a posibles agricultores y propietarios de campos de golf, (ya sea directamente o mediante un programa de recarga de acuíferos) y obtener beneficios mediante su uso como agua de riego<sup>7</sup>.

Un aspecto fundamental en la asignación de aguas residuales tratadas es que, a causa de la presencia de externalidades, bienes comunales, y de las características de bien público de algunos de estos bienes (por ejemplo, en una zona de humedales) el funcionamiento del mercado no permite siempre la asignación

de las aguas residuales a los usos más valiosos, a unos precios que incorporen todos sus valores sociales. Por los mismos motivos, tampoco podría darse un proceso de revelación de preferencias al precio que permitiera reflejar todos los valores sociales del agua regenerada. Es decir, que en un mercado sin restricciones, el precio de las aguas residuales podría ser ineficiente. Un aspecto sustancial es que, con frecuencia, los consumidores están dispuestos a pagar un precio superior al de mercado, antes que renunciar a alguno de los servicios ambientales asociados.

El cálculo de los costes y beneficios ambientales cada vez resulta más habitual en los proyectos hidráulicos. Sin embargo, su elevada complejidad metodológica, así como la dificultad para contrastar empíricamente las valoraciones, determina que la aplicación de estos métodos presente con frecuencia muchas dificultades. En el caso de las aguas residuales, queda patente la importancia de los efectos ambientales en la Directiva Marco del Agua (DMA). La DMA representa un paradigma en la aproximación a la planificación hidrológica y entre sus conceptos fundamentales se encuentra el de recuperación de los costes. Este principio implica que en el cálculo de los costes y beneficios relacionados con la reutilización del agua deberían considerarse no solamente los costes financieros, sino también los costes y beneficios ambientales.

La valoración económica de los bienes ambientales supone una información muy relevante en los proyectos de reutilización. El valor total de un bien se define como la suma de su valor de uso y de no-uso. Los valores de uso son los que derivan de la utilización del bien, y se ven afectados por cualquier cambio en el entorno. El valor de no-uso se refiere a la disposición a pagar por unos recursos que no se utilizan, ni piensan utilizarse en el futuro. El principal de estos valores es el valor de existencia, que refleja el bienestar que unas personas obtienen del simple conocimiento de que un bien existe. Por su propia naturaleza, los valores de no-uso son al mismo tiempo valores no comerciales.

El principio de recuperación de costes en la DMA comporta que en los proyectos de aguas regeneradas se consideren no solamente los costes financieros, sino también los costes y beneficios ambientales. Con frecuencia no existe un mercado para estos bienes, y por tanto no pueden asignarse mediante un precio. Es decir, que para reconocer su valor monetario sería necesario aplicar unas técnicas de valoración ambiental. La valoración económica de los bienes ambientales resulta fundamental en el proceso de toma de decisiones de la gestión pública.

En la gestión de las empresas de aguas residuales, los dos objetivos principales son la recuperación de los costes de inversión y el suministro de agua con un grado de calidad aceptable para los usuarios. La recuperación de los costes mediante la venta del agua tratada para riego agrario suele ser un objetivo incumplido, que solamente se satisface gracias a la intervención pública. En los países en desarrollo resulta extraño que los agricultores paguen por el agua (ya sea esta superficial o de pozo) más allá de unos costes de extracción. Por otra parte, no es extraño que las aguas tratadas o canalizadas reciban algún tipo de subsidio.

Aunque no es muy habitual que el precio del agua para riego permita recuperar todos los costes relacionados con la instala-

7 Mills et al. 2004. Van Roon, 2007.

ción de la planta, sí que existe un cierto margen para determinar un precio que permita garantizar la recuperación de los costes iniciales (cuando no incluso la obtención de un beneficio, en el caso de las industrias). En general, la utilización más rentable de las aguas residuales se relaciona con el consumo humano. En este caso, el agua puede atravesar por diversos procesos como microfiltración, ósmosis inversa o irradiación mediante rayos UVA (o alguna tecnología que permita un grado de desinfección similar). Estos procesos permiten crear agua con un nivel de calidad semejante al agua de consumo común, por lo que su precio también sería superior, y podría utilizarse para usos domésticos o ambientales.

El uso de los flujos de agua tratada descargada en el medio ambiente desde plantas de tratamiento municipales constituye una estrategia fundamental para el ahorro en los cuerpos naturales de agua. Los flujos de aguas tratadas (si se descargan sin haber recibido el tratamiento necesario) podrían ocasionar efectos negativos sobre los cuerpos receptores. La viabilidad de una planta de reutilización depende de circunstancias locales que determinan su balance de costes y beneficios. En la mayoría de las ocasiones, el mayor beneficio radica en la disponibilidad de agua para consumo humano, que es posible obtener a partir de agua de riego, agua para uso industrial, o bien agua utilizada con fines ambientales. En resumen, el análisis de un proyecto de planta de tratamiento debería realizarse desde una perspectiva municipal o regional, y aplicando un análisis coste-beneficio, en el que se consideren no solamente los efectos privados sino también los sociales y ambientales.

## EL ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO

El análisis coste-beneficio es un método para la toma de decisiones y suele aplicarse en la selección de proyectos para la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales. En la selección se consideran no solamente los proyectos con un coste menor (análisis coste-eficiencia) sino aquellos en que la diferencia entre ingresos y costes es máxima.

Desde la década de los años 50, cuando se desarrollaron las técnicas más básicas del análisis coste-beneficio, se han producido unos cambios muy significativos en la naturaleza de los problemas analizados, así como en los instrumentos analíticos utilizados. Estos métodos son los que permiten el análisis y la valoración de bienes ambientales relacionados con los proyectos de aguas residuales.

El método de análisis Coste-Beneficio se desarrolló inicialmente para calcular el Valor Actualizado Neto (VAN), en proyectos públicos de inversión, y muy especialmente en inversiones relacionadas con el agua, que utilizaban los factores de producción con la finalidad de obtener un conjunto de productos finales (como agua potable, energía hidroeléctrica y agua de riego). La mayoría de estos bienes se comercializan en el mercado, de modo que la estimación de su valor monetario es inmediata.

El análisis coste-beneficio constituye un instrumento fundamental para la toma de decisiones relacionada con el agua regenerada y permite contrastar si la decisión de reutilizar el agua es

la correcta en comparación con otros usos alternativos del agua. En este método, la calidad del agua residual podría considerarse como un input más en el proceso productivo y devenir un fundamento esencial en la gestión sostenible del agua.

Si existen diferencias sustanciales entre el valor obtenido mediante el uso del agua y el que podría obtenerse a través de su mejor utilización posible, estaría justificada la consideración del coste de oportunidad como un coste del proyecto (si no se escoge el uso más rentable). Algunos problemas esenciales en la gestión del agua son las condiciones relacionadas con su calidad y el decrecimiento de su disponibilidad. Estas consecuencias podrían comportar algunos efectos muy relevantes como la intrusión salina, la contaminación por agroquímicos, el deterioro de humedales y estuarios, la destrucción de hábitats o la disminución de la biodiversidad.

## COSTES DE INFRAESTRUCTURAS DEL AGUA

Las condiciones competitivas de mercado no se dan habitualmente en el sector de las aguas residuales, a causa en buena parte de los elevados costes de infraestructura, que podrían inducir el suministro de unos servicios a precios ineficientes (excesivamente altos) desde una perspectiva privada.

En los proyectos de agua regenerada, los costes de inversión en la infraestructura inicial (creación, expansión o rehabilitación de la red de tuberías) suelen ser muy elevados. Habitualmente estos costes se refieren a inversiones que suponen un gasto de construcción único e irreversible, y resulta complejo evaluar su disponibilidad. Dado que se trata de inversiones que suponen un gasto de construcción único e irreversible, suelen considerarse como un monopolio natural.

Un monopolio natural es un monopolio en una industria que es la única capaz de producir a un coste medio mínimo en el largo plazo, con una diferencia muy substancial respecto al resto de competidores. La consecuencia principal es que, como se trata de un mercado con una sola empresa, los precios podrían ser excesivamente elevados, la producción ineficiente y reducirse la calidad tanto en la producción final como en los servicios de distribución. Esta situación suele darse en industrias en las que los costes de capital son muy elevados (y fundamentales para el desarrollo del negocio) y las economías de escala son substanciales en relación al tamaño del mercado. Es decir, se trata de un mercado en el que existen grandes barreras de entrada.

Muchos autores han propuesto el uso de aguas residuales en diferentes escalas y otros han descrito métodos y guías para promover el uso seguro de las aguas residuales<sup>8</sup>. De hecho, la provisión de un servicio como el suministro de aguas residuales por parte de las empresas requiere de un balance entre los intereses públicos y privados, que pueden presentar intereses divergentes. Así, la vertiente pública suele asociarse a la responsabilidad y la obligación de proporcionar servicios a los habitantes y a los contribuyentes de una zona. Por otra parte, si el servicio lo ofrece una empresa privada, debería asegurarse una compensación, que

8 Ensink y Van der Hoek, 2009. Molinos et al. 2012.

podría ser imprescindible para cubrir los riesgos asociados con el mantenimiento de las infraestructuras necesarias.

### **EL PARTENARIADO PÚBLICO-PRIVADO (PPP) EN LA GESTIÓN DE LOS SERVICIOS DE SANEAMIENTO Y ABASTECIMIENTO DE AGUA**

Durante gran parte del siglo XX, los sistemas de abastecimiento de agua en la mayoría de las áreas urbanas de los países industrializados fueron de propiedad pública. Así, los servicios de abastecimiento y saneamiento se desarrollaban con criterios en los que primaba la capacidad de pago de los usuarios y se gestionaban con bajas expectativas de beneficio privado. Es decir, bajo un principio de equidad social. De lo anterior, el agua se consideraba como un bien público y su acceso como una condición previa para la participación política y social.

El partenariado público-privado es un tipo de organización que se ha aplicado especialmente en la provisión de agua para el consumo público. Otros sectores, como el sanitario, también utilizan con frecuencia esta forma societaria a causa del elevado gasto inicial en infraestructuras. Existe una variación considerable entre la inversión de capital y la transferencia de tecnología, la gestión y los recursos operativos que intervienen en cada sector. Las asociaciones PPP se han utilizado en una variedad de formas en los sectores de infraestructura, incluyendo la inversión de capital en proyectos muy especializados, tales como aeropuertos, carreteras, puentes y los proyectos de generación de energía, así como en proyectos de educación y servicios de salud. El problema más importante relacionado con el uso de agua regenerada para la producción agraria está relacionado con la salud. Así, el objetivo primordial en el tratamiento de las aguas residuales radica en sus condiciones sanitarias y en los posibles efectos sobre la salud pública que podría conllevar su consumo.

La incapacidad del sector privado para ampliar la cobertura de los servicios en barrios de rentas bajas, con independencia de su capacidad de pago, fue determinante para que la mayoría de gobiernos municipales asumieran la gestión pública de estos servicios. El resultado fue que gran parte de los sistemas de suministro de agua acabaron gestionados por los poderes públicos, con el objetivo fundamental de alcanzar su universalización. En los casos en los que se mantuvo la gestión privada (como en Inglaterra y Francia) se procedió a una regulación muy detallada. Por ejemplo, en las empresas inglesas los dividendos estaban limitados y cualquier excedente debía ser reinvertido en el sistema.

En este nuevo escenario, el sector público asumió la responsabilidad de gestionar y promover el suministro de agua potable en la mayor parte del mundo industrializado. En este sistema, las empresas ofertantes acaban configurando un monopolio natural en el que no son aplicables las reglas del mercado. En la nueva regulación, a este servicio se le exigen condiciones de acceso universal y salud pública, además de convertirse en un sector que requiere de fuertes inversiones para la ampliación de las coberturas a zonas de bajo poder adquisitivo, con tasas de retorno privadas muy reducidas.

Pese a que se ha producido un aumento considerable de los acuerdos PPP en el sector del agua y las aguas residuales durante las dos últimas décadas, todavía existen particularidades en la utilización de esta forma de organización en el sector del agua regenerada. Esencialmente, el principal elemento diferenciador es que el agua constituye un elemento primordial para la vida humana. Por este motivo, al contrario de otros servicios públicos, como la electricidad, comunicaciones o aeropuertos, los individuos no disponen de alternativas a la utilización de este servicio, lo que comporta la obligación de garantizar este servicio a todos los posibles usuarios (tanto si pueden pagar su utilización como si no es así). Dado que este servicio suele considerarse como básico, suele haber una discusión sobre si debería haber un beneficio o no asociado con su funcionamiento. En el caso del agua regenerada, esta dificultad se manifiesta en el bajo beneficio del servicio si se compara, por ejemplo, con sectores como las telecomunicaciones.

En la posición de dominio monopolístico que suelen presentar las empresas PPP en el sector de las aguas residuales, se manifiesta la ventaja de un dominio previo para mercados y servicios. Resulta habitual que, en el largo plazo, el control en la gestión y oferta de estas empresas, comporte algún tipo de regulación pública de control.

### **MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DEL VALOR AMBIENTAL APLICADOS A LAS AGUAS RESIDUALES**

La sobreexplotación de los recursos hídricos suele considerarse como uno de los principales efectos que derivan, entre otros, de la inexistencia de un mercado, puesto que para este tipo de bienes no resulta posible el ajuste entre oferta y demanda. Los instrumentos reguladores disponibles permitirían fijar un precio, basado en algún tipo de normativa pública (de especial importancia en las aguas residuales). En este caso, resulta esencial la disponibilidad de métodos de valoración que permitan considerar el valor de las posibles externalidades relacionadas con los servicios generados.

La valoración de las aguas residuales se realiza mediante un conjunto de técnicas que permiten cuantificar el valor económico de los bienes ambientales. Su objetivo principal es la expresión en unidades monetarias de los cambios en el bienestar de las personas, asociados con las transformaciones relacionadas con el uso o la existencia de las aguas residuales. Bajo la hipótesis de que el bienestar de las personas se origina mediante la satisfacción de sus preferencias, la medida del bienestar podría expresarse a través de su disposición a pagar (o a ser compensado) por el cambio sobre un estado inicial. Existen dos grandes grupos de métodos para la valoración de bienes y servicios que se fundamentan en las preferencias de los individuos: los métodos de preferencias reveladas y los métodos de preferencias declaradas.

La principal distinción entre estos métodos de valoración radica en la fuente de los datos. Así, los datos pueden obtenerse mediante observaciones directas de las personas afectadas, o bien a través de un conjunto de respuestas a preguntas hipotéticas. En el primer caso, la información se obtiene por la revelación

de las preferencias (método de preferencias observadas o reveladas). Y en el segundo, las preferencias se declaran (método de preferencias declaradas o hipotéticas).

Los métodos de valoración se fundamentan en un conjunto de hipótesis básicas:

- \* Los cambios ambientales deben incidir en la utilidad de los individuos de forma significativa (mayor que cero) en términos monetarios.
- \* El valor total de un cambio en las condiciones ambientales es igual a la suma de los cambios individuales.
- \* Los diferentes cambios en el medio ambiente pueden ser comparables una vez calculados en unidades monetarias.
- \* Otros bienes ambientales del mismo valor podrían actuar como bienes sustitutivos, sin pérdida de bienestar.

Los valores de no-uso se corresponden con aquellos beneficios que no necesitan de una relación directa entre los consumidores y el bien. Es decir, que no es necesaria la utilización del bien (ya sea directa o indirecta) para obtener su valor. Estos valores suelen conocerse como el valor de existencia, y derivan sencillamente del conocimiento de que este bien existe, ya sea por sí mismo o para el uso que pueda hacerse de él.

#### MÉTODOS DE VALORACIÓN DEL AGUA REGENERADA.

##### CONCEPTOS PRINCIPALES

Las externalidades generadas por el agua, así como sus características de bien público, permiten explicar los fallos en los mecanismos de mercado y la necesidad de utilizar métodos de valoración ambiental para gestionar la toma de decisiones, tanto públicas como privadas.

La valoración económica de los recursos ambientales se fundamenta en que estos recursos presentan impactos diversos sobre la utilidad de los individuos. En el caso de las aguas tratadas, la valoración monetaria de estos efectos podría considerarse como un indicador de los cambios en la utilidad de las personas, directamente relacionado con la disponibilidad del agua. Esta hipótesis se sustenta en que los consumidores deben escoger entre bienes diversos y en la utilidad que puede obtenerse mediante su utilización.

La economía ha desarrollado un conjunto de técnicas para estimar el valor de los bienes de no-mercado. Bajo el supuesto de que el bienestar de las personas se origina mediante la satisfacción de sus preferencias, la medida del bienestar podría expresarse a través de su disposición al pago o de la compensación ante un cambio en la situación o estado inicial.

Existen básicamente dos métodos para estimar los cambios en la demanda o en la oferta de los bienes de no-mercado. Los métodos basados en las preferencias reveladas y los métodos basados en las preferencias declaradas. El primero se fundamenta en la estimación del valor a partir de la observación de bienes muy semejantes. El segundo, a partir de las respuestas a unas preguntas hipotéticas.

#### MÉTODOS DE PREFERENCIAS REVELADAS

Los cambios en los precios de los bienes modifican el bienestar de consumidores y de productores. La magnitud de estos cambios puede calcularse mediante el excedente del consumidor y el excedente del productor, respectivamente. En el caso de bienes de no-mercado, los cambios en el bienestar generados por las modificaciones en las cantidades consumidas (no existe precio para estos bienes) pueden medirse mediante los cambios en la curva, que indicaría la disposición a pagar por parte de los consumidores. Las curvas que representan la disposición marginal a pagar son necesarias para caracterizar bienes públicos y bienes de no-mercado, tales como los servicios del medio ambiente (por ejemplo, el mantenimiento de unos humedales artificiales) pero no pueden estimarse a partir de la observación directa de las transacciones en estos bienes. Dada la ausencia de mercado para bienes públicos y ambientales, es necesario emplear métodos alternativos para calcular su demanda.

Los métodos de preferencias reveladas se basan en las relaciones que se establecen entre los bienes o servicios ambientales objeto de valoración y los que se adquieren en el mercado. Las personas revelan en su comportamiento con respecto al bien privado el valor que realmente le otorgan al bien ambiental. Debido a la relación entre bien privado y bien ambiental que implica los métodos de preferencias declaradas, la aplicación de estos métodos se circunscribe a la estimación de los valores de uso. Otra limitación de los métodos de preferencias declaradas es que solo pueden medir la valoración de los bienes a posteriori, una vez consumidos, por lo que no permiten estimar valores para niveles de calidad que todavía no han sido experimentados. En estos casos podrían extrapolarse los valores obtenidos en situaciones ex-ante como en proyectos de características parecidas o bien utilizar métodos de preferencias declaradas. Los principales métodos de preferencias reveladas son el método del coste de viaje, costes evitados y el método de los precios hedónicos.

La principal finalidad del método del coste de viaje consiste en estimar el valor recreativo del recurso considerado (por ejemplo, un humedal) mediante un indicador como el gasto que los visitantes deben realizar para llegar a visitar este lugar. Gracias al conocimiento de este gasto resulta posible estimar una función de demanda, que podría indicar la disponibilidad al pago por día de visita. Es decir, que el método se basa en el reconocimiento de que los gastos necesarios en el viaje son un componente principal en el coste de visita del recurso. Este supuesto provoca que puedan producirse variaciones en los resultados según cual sea la muestra de visitantes utilizada.

El método del coste de viaje se modeliza con frecuencia como una demanda agregada (por ejemplo, la correspondiente a todos los visitantes de un humedal) o bien como demandas individuales, que después pueden agregarse. La función de demanda individual (representada, por ejemplo, mediante el número de visitas) suele especificarse como una función dependiente de un conjunto de características socioeconómicas y ambientales, entre las que se incluye el precio de entrada al lugar. Este se con-

sidera un buen indicador puesto que habitualmente el precio se mantiene constante en el tiempo.

Los métodos de los costes evitados, coste de reposición o coste de sustitución son métodos utilizados para estimar el valor de los servicios que ofrecen los ecosistemas<sup>9</sup>. El cálculo se basa en cualquiera de los costes necesarios para evitar daños por los servicios perdidos, y muy especialmente con el costo de reemplazar los servicios del ecosistema, o el costo de la prestación de servicios sustitutivos. Así, por ejemplo, los primeros estudios sobre los efectos de la contaminación del agua sobre los productos se basaban en el método de la función de daños ambientales. Esta aproximación se fundamenta en la estimación de una función daño-dosis que relaciona las medidas de polución con la medida física del daño (por ejemplo, mediante el inventario de materiales expuestos al riesgo de contaminación). Para calcular el valor total de la posible externalidad, una vez calculado el daño individual, este se multiplica por el conjunto de unidades afectadas.

Estos métodos no proporcionan medidas fundamentadas en la voluntad de pagar por un producto o servicio. Por el contrario, se basan en el supuesto de que si las personas incurrían en gastos para evitar daños causados por servicios de los ecosistemas perdidos o para reemplazar algún servicio de los ecosistemas, estos servicios deberían ser reemplazados. Es decir, que los métodos se aplican más correctamente en aquellas situaciones en que los gastos para evitar daños o reemplazo de factores, van a ser efectivamente realizados. Un ejemplo es el trabajo de Ramírez y Ríos<sup>10</sup>, que presenta un modelo de valoración de costos ambientales sobre la calidad del agua potable en municipios del Departamento de Risaralda (Colombia). Por medio de este trabajo, se pudo establecer que la contaminación del agua por coliformes fecales era una variable significativa, aunque no la única, para explicar la morbilidad por enfermedad diarreica aguda (EDA). Se comprobó además que las deficientes condiciones de tratamiento y desinfección afectaban la salud de los pobladores de los municipios del departamento, especialmente en lo que se refiere a la población con necesidades básicas insatisfechas o la población más vulnerable.

El método de los precios hedónicos se basa en la teoría de las características<sup>11</sup>, y consiste en identificar la influencia de la calidad ambiental sobre determinados factores sobre el valor final de un bien. Es decir, que el método permite explicar el valor total de un bien en función de un conjunto de características. Por ejemplo, una planta de regeneración sería preferida en función de variables como la velocidad, eficiencia energética o dimensión (entre otras). De lo anterior, el valor total de un bien dependerá de la evaluación de todas sus características y, como en cualquier función de demanda, el cambio en una de las características puede modificar el precio final del bien.

Una de las principales limitaciones de este método reside en la gran necesidad de información estadística para poder identificar todas las variables explicativas. La fiabilidad de los datos

es otra de las principales restricciones de este método, así como los valores de no-uso del bien, o las posibles expectativas de los consumidores sobre la evolución de los precios.

Debido a la relación entre bien privado y bien ambiental que fundamenta los métodos de preferencias reveladas, la aplicación de estos métodos se circunscribe normalmente a la estimación de los valores de uso. Otra limitación de los métodos de preferencias reveladas es que solo pueden medir la valoración de los bienes a posteriori, una vez consumidos, por lo que no permiten la estimación de valores para niveles de calidad que todavía no han sido experimentados.

En resumen, los métodos de preferencias reveladas se basan en las relaciones que se establecen entre los bienes o servicios ambientales valorados y los que se adquieren en el mercado. Una hipótesis fundamental es que las personas revelan en su comportamiento con respecto al bien privado el valor que realmente se le otorga al bien ambiental.

#### MÉTODOS DE PREFERENCIAS DECLARADAS

Los métodos de preferencias declaradas se refieren a un conjunto de técnicas basadas en las declaraciones de individuos sobre sus preferencias al plantearse cuáles son sus preferencias entre diversas opciones que describen un conjunto de situaciones o escenarios hipotéticos. Esta es la principal diferencia con los métodos de preferencias reveladas, que se fundamentan sobre situaciones observadas.

Los métodos de preferencias declaradas necesitan del diseño de encuestas específicas para obtener la información necesaria. Aquí aparece un primer aspecto fundamental: definir las variables relevantes que intervienen en el modelo de valoración, así como los niveles en que estas variables determinan los resultados. La siguiente etapa en la construcción del diseño es analizar las respuestas obtenidas. En términos generales, se pueden distinguir tres tipos de respuestas declaradas:

- Elección. El encuestado selecciona en cada escenario planteado la alternativa preferida.
- Jerarquización. El encuestado ordena las alternativas presentadas de acuerdo a sus preferencias.
- Escalamiento. El encuestado presenta el grado de preferencia entre opciones a partir de una escala semántica. Es decir, que se presentan unas posibilidades de respuesta ordenables y semánticamente autónomas y con un significado acabado (por ejemplo, buenísimo, bueno, normal, menos bueno).

Es importante destacar que para garantizar la calidad de la encuesta suelen realizarse encuestas piloto o trabajos simulados antes de su realización.

El Método de Valoración Contingente es uno de los métodos de preferencias declaradas más representativo. Este método simula un mercado mediante un cuestionario, en el que el encuestador realiza el papel de oferente del bien y el encuestado de demandante<sup>12</sup>. El cuestionario establece las condiciones en las que

<sup>9</sup> ECM, 2005.

<sup>10</sup> Ramírez y Ríos, 2010.

<sup>11</sup> Esta teoría fue inicialmente propuesta por Lancaster, 1971, y desarrollada posteriormente por Griliches, 1971, y Rosen, 1974.

<sup>12</sup> Mitchell & Carson, 1989.

tendría lugar el intercambio y por ello se conoce como escenario de la valoración, simulando un cambio en la provisión del bien. Entonces, se pregunta al individuo por la máxima cantidad de dinero que estaría dispuesto a pagar o, alternativamente, se le presenta un precio que la persona entrevistada puede aceptar o no.

Los principales métodos de elección son dos: el método de ordenación contingente y los experimentos de elección. La diferencia sustancial radica en que, mientras que en el experimento de elección se solicita a las personas entrevistadas la elección de la opción preferida entre diferentes alternativas, la ordenación contingente se fundamenta en la ordenación de las alternativas según sus propias preferencias. Las alternativas están compuestas por diferentes combinaciones de bienes (que se describen mediante sus atributos) y el coste asociado a cada una de ellas. Estos métodos presentan la ventaja respecto a los basados en la valoración contingente de que obligan a los electores a representar sus métodos de elección entre un conjunto de atributos, por ejemplo en el caso de unos humedales<sup>13</sup>.

Los métodos de los Experimentos de Elección consisten en presentar a la persona entrevistada un conjunto de alternativas que contienen atributos comunes de un bien, pero con diferentes características. Al sujeto entrevistado se le solicita que elija la alternativa preferida para cada conjunto. Cada conjunto de elección se realiza entre una alternativa constante (el estado actual en el cual se encuentra el bien sin ningún cambio) y una serie de alternativas propuestas. La elección realizada por el individuo indica una preferencia por los atributos de una alternativa respecto de las otras. Este método se fundamenta en valorar cambios en los atributos del bien, lo que permite transformar las respuestas en una estimación y en magnitudes monetarias.

En cuanto a unos humedales artificiales en los que se utiliza agua regenerada, los métodos de elección podrían utilizarse si, en lugar de valorar un escenario determinado, pudiera interesar la valoración separada de los distintos indicadores o atributos del humedal. Estos podrían ser, por ejemplo, el grado de biodiversidad, la calidad del suelo, problemas relacionados con la intrusión salina, o algunos elementos específicos del propio paisaje de humedales. En una situación como esta, el ayuntamiento de la zona afectada podría estar interesado en conocer el valor de los distintos atributos de la zona, como podrían ser la presencia de determinadas aves migratorias, el valor de las actividades recreativas o la posibilidad de desarrollar actividades productivas relacionadas con la agricultura.

En estos casos, la valoración ambiental de un humedal construido también podría fundamentarse en la aplicación reiterada del método de valoración contingente, si bien en algunos casos podría ser más precisa la aplicación de otros métodos alternativos que permitieran estimar los diferentes valores por separado. De este modo podría recogerse la valoración de atributos diversos, así como la consideración de diferentes medidas para representar la calidad o cantidad del agua residual utilizada en el humedal.

La forma de plantear las preguntas resulta fundamental en la aplicación del método y constituye una característica esencial del procedimiento utilizado. Existen diversas variantes:

- Si a la persona entrevistada se le pide que ordene un conjunto de alternativas según sus preferencias, este método se conoce como ordenación contingente (*contingent ranking*).
- Si se le solicita que puntúe cada una de las alternativas en una escala (por ejemplo, entre 1 y 10), este método se conoce como *contingent rating*.
- Si se le requiere que elija la opción preferida entre un conjunto de alternativas, entonces se denomina método de los experimentos de elección (*choice experiment*).

## CONCLUSIONES

El análisis económico y financiero de los proyectos relacionados con los sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales se ha concentrado tradicionalmente en los costes y beneficios privados, tanto por las dificultades metodológicas relacionadas con la estimación de las externalidades existentes, como por la disponibilidad de los datos necesarios para su valoración.

La consideración de los costes y beneficios permite una mejora sustancial en el diseño y gestión de los sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales, ambientales, tanto públicos como privados. Como consecuencia, también se origina una mejora en la gestión de las inversiones en estos sistemas de tratamiento.

La reutilización de aguas residuales es una actividad con tendencia al monopolio natural, a causa de los muy elevados costes relacionados con la instalación de las infraestructuras necesarias para el tratamiento, distribución y gestión del agua. No suele ser rentable, desde el punto de vista económico privado, la oferta de estos servicios cuando existe más de una empresa en un mercado.

La posición monopolística, combinada con la necesidad básica del agua convierte la provisión de agua reutilizada en un servicio muy susceptible al entorno económico y político, tanto en su creación, como en su expansión en el largo plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Birol, E., Karousakis, K., y Koundouri, P. 2006: "Using a choice experiment to account for preference heterogeneity in wetland attributes: The case of Cheimaditida wetland in Greece", en *Ecological Economics*, 60, 1, 145-156. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.06.002>.
- Drechsel, P. y Evans, A. E. V. 2010 "Wastewater Use in Irrigated Agriculture", en *Irrigation and Drainage Systems*, 24, 1, 1-3. doi:10.1007/s10795-010-9095-5
- Drechsel, P., Scott, CA, Raschid-Sally, L., Redwood, M., B. y Bahri, A. 2010: "Wastewater Use in Agriculture: Challenges in Assessing Costs and Benefits", en Drechsel, P., Qadir, M. y Wichelns, D. (eds.): *Wastewater*. Colombo, Springer, 139-152.
- Ensink, J. H. y Van der Hoek, W. 2009: "Implementation of the WHO guidelines for the safe use of wastewater in Pakistan: balancing risks and benefits", en *Journal of Water and Health*, 7, 3, 464-468. doi: 10.2166/wh.2009.061. PMID: 19491496
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005: *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio*. Washington, D.C., Island Press.

13 Birol et al. 2006.

- Griliches, Z. 1971: *Price Indexes and Quality Change. Studies in New Methods of Measurement*. Cambridge, Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674592582>.
- Hamilton, A. J., Stagnitti, F., Xiong, X., Kreidl, S. L., Benke, K. K. y Maher, P. 2007: "Wastewater Irrigation: The State of Play", en *Vadose Zone Journal*, 6, 4, 823-840. doi:10.2136/vzj2007.0026.
- Hurlimann, A. y McKay, J. 2007: "Urban Australians using recycled water for domestic non-potable use. An evaluation of the attributes price, saltiness, colour and odour using conjoint analysis", en *Journal of Environmental Management*, 83, 1, 93-104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.02.008>. PMID: 16678338
- Jiménez, B. y Asano, T. 2008: "Water reclamation and reuse around the world", en Jiménez B. y Asano, T. (coords.): *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*. Londres, IWA, 1-26. DOI: 10.2166/9781780401881
- Keraita, B., Drechsel, P. y Konradsen, F. 2010: "Up and down the sanitation ladder: Harmonizing the treatment and multiple-barrier perspectives on risk reduction in wastewater irrigated agriculture", en *Irrigation and Drainage Systems*, 24, 1, 23-35. DOI 10.1007/s10795-009-9087-5.
- Lancaster, K. 1971: *Consumer demand: A new approach*. New York, Columbia University Press. PMCID: PMC197617
- Mills, R. A., Karajeh, F. y Hultquist, R. H. 2004: "California's Task Force evaluation of issues confronting water reuse", en *Water Science and Technology*, 50, 2, 301-308. PMID: 15344805
- Mitchell, R. C. y Carson, R. T. 1989: *Using surveys to value public goods: The contingent valuation method*. Washington, Resources for the Future.
- Molinos-Senante, M., Garrido-Baserba, M., Reif, R., Hernández-Sancho, F. y Poch, M. 2012: "Assessment of wastewater treatment plant design for small communities: Environmental and economic aspects", en *Science of The Total Environment*, 427-428, 11-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.023>. PMID: 22578695
- Pescod, M. B. 1992: "The Urban Water Cycle, including Wastewater Use in Agriculture", en *Outlook on Agriculture*, 21, 4, 263-270.
- Qadir, M., Sharma, B. R., Bruggeman, A., Choukr-Allah, R., Karajeh, F. 2007a: "Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries", en *Agricultural Water Management*, 87, 1, 2-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2006.03.018>.
- Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., Minhas, P. S., Drechsel, P., Bahri, A. y McCornick, P. 2007b: "Agricultural use of marginal-quality water- opportunities and challenges", en Molden, D.: *Water for food. Water for life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. London, Earthscan, 425-457.
- Qadir, M., Scott, C. A. 2010: "Non-pathogenic trade-offs of wastewater irrigation", en Drechsel, P., Scott, C. A., Raschid-Sally, L., Redwood, M. y Bahri, A. (eds.): *Wastewater irrigation and health: assessing and mitigating risks in low-income countries*. London, Earthscan-International Development Research Centre (IDRC)-International Water Management Institute (IWMI), 101-126.
- Qadir, M., Mateo-Sagasta, J., Jiménez, B., Siebe, C., Siemens, J. y Hanjra, M. A. 2015: "Environmental Risks and Cost-Effective Risk Management in Wastewater Use Systems", en Drechsel, P., Qadir, M. y Wichelns, D. (eds.): *Wastewater*. Colombo, Springer, 55-72. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9545-6-4>
- Raschid-Sally, L. y Jayakody, P. 2008: *Drivers and Characteristics of Wastewater Agricultura in Developing Countries: Results from a Global Assessment*. Research Report 127. Colombo, Sri Lanka, International Water Management Institute.
- Ramírez Vasco, C. L., Ríos Millán, C. P. y Morales Pinzón, T. 2010. "Estimación de costos inducidos derivados de la calidad del agua potable en Risaralda", en *Scientia et Technica*, 44, 117-122.
- Rosen, S. 1974: "Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition", en *Journal of Political Economy*, 82, 1, 34-55. <https://doi.org/10.1086/260169>
- Scheierling, S. M., Bartone, C. R., Duncan Mara, D., Drechsel, P. 2011: "Towards an agenda for improving wastewater use in agriculture", en *Water International*, 36, 4, 420-440. <http://dx.doi.org/10.1080/02508060.2011.594527>.
- Scott, C. A., Faruqui, N. I. y Raschid-Sally, L. 2004: *Wastewater Use in Irrigated Agriculture*. Wallingford, CAB International-IWMI-IDRC.
- Scott, C. A., Drechsel, P., Raschid-Sally, L., Redwood, M., y Bahri, A. (eds.) 2010: *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*. London, Earthscan-International Development Research Centre-International Water Management Institute.
- Siemens, J., Huschek, G., Siebe, C., Kaupenjohann, M. 2008: "Concentrations and mobility of human pharmaceuticals in the world's largest wastewater irrigation system, Mexico City-Mezquital Valley", en *Water Research*, 42, 8-9, 2124-2134. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2007.11.019>. PMID: 18083208
- Simmons, R., Qadir, M. y Drechsel, P. 2010: "Farm-based measures for reducing human and environmental health risks from chemical constituents in wastewater" en Drechsel, P., Scott, C. A., Raschid-Sally, L., Redwood, M. y Bahri, A. (eds.): *Wastewater irrigation and health: assessing and mitigating risk in low-income countries*. London, UK: Earthscan; Ottawa, Canada: International Development Research Centre (IDRC); Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI), 209-238.
- Van Roon, M. 2007: "Water localization and reclamation: steps towards low impact urban design and development", en *Journal of Environmental Management*, 83, 4, 437-447.
- World Health Organization (WHO), 2006: "Wastewater use in agriculture", en *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater* (Vol. 2), en [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/wastewater/wwuvol2intro.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/wwuvol2intro.pdf).

## Reutilización de aguas regeneradas: aproximación a los costes de producción y valoración de su uso

### *Reuse of Reclaimed Water: Estimating the Costs of Production and Utilization*

*Alberto del Villar-García*

Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, Madrid, España. alberto.delvillar@uah.es

**Resumen** — El presente trabajo tiene dos objetivos principales. Por una parte, analizar los costes de producción del agua regenerada y los servicios asociados para su reutilización en la producción de bienes y servicios. Y, por otro lado, determinar el valor económico de las actividades productivas sustentadas con estos recursos no naturales. Se ha podido analizar actuaciones y proyectos que representan más del veinte por ciento del volumen total de agua reutilizada en España, obteniendo una estimación de indicadores de costes de inversión y de explotación, junto a un indicador de coste medio de producción y distribución de 1,10 €/m<sup>3</sup>. A partir de indicadores de productividad se estima que el valor económico de los bienes y servicios producidos por la reutilización es de unos 2.165 millones de euros anuales.

**Abstract** — *This paper has two main objectives. On the one hand, it analyses the costs of available reclaimed water and the associated production of goods and services. On the other hand, it seeks to determine the economic value of the activities sustained with these resources. It has been possible to analyze water treatment projects and related initiatives representing more than 20% of the total reused water in Spain, which has yielded estimates of the indicators of investment and operating costs, as well as an average production cost of about 1.10 €/m<sup>3</sup>. Indicators of productivity have estimated that the economic value of goods and services produced by reused waste water is about 2,165 million €/yr.*

---

**Palabras clave:** reutilización, coste del agua, precios del agua, productividad del agua y valor económico del agua

**Keywords:** Reused water, water cost, water prices, water productivity and economic value of water

**Información Artículo:** Recibido: 15 marzo 2016

Revisado: 21 septiembre 2016

Aceptado: 30 octubre 2016

*Nothing is more useful than water; but it will purchase scarce anything; scarce anything can be had in exchange for it. A diamond, on the contrary, has scarce any value in use; but a very great quantity of other goods may frequently be had in exchange for it<sup>1</sup>.*

## INTRODUCCIÓN

Hace más de dos siglos que Adam Smith formuló la llamada "Paradoja del Valor", poniendo como ejemplo el nulo valor económico del agua (a pesar de ser el principal soporte vital) frente a los diamantes. El factor diferencial que motiva esta valoración es la escasez, medida en términos de oferta-demanda. En la actualidad, la afirmación de Adam Smith sobre el agua no puede ser asumida como totalmente cierta, al menos en lo que se refiere a una buena parte de España. La oferta de recursos hídricos es insuficiente para cubrir la demanda de los mismos, por lo que podemos deducir que el agua sí tiene un valor económico.

El agua tiene un marcado carácter económico como "activo productivo", tanto en la función de producción de las actividades económicas como de elemento integrado de un ecosistema que produce bienes ambientales. Su uso es competitivo y finito, es decir, la apropiación de este elemento para una actividad concreta incapacita su uso en otra actividad. Este carácter es lo que ha motivado la constante búsqueda de agua y la regulación hasta el límite de las fuentes naturales en determinadas regiones. Alcanzado este límite, no ha quedado más remedio que recurrir a dos soluciones: incrementar la eficiencia en su uso y aumentar la oferta de agua con recursos de otras procedencias (desalación o reutilización) o regiones (trasvases).

Obviando la problemática de los trasvases de agua, la regeneración de aguas residuales presenta una ventaja adicional sobre la desalación al reducir el impacto que generan los vertidos de las aguas residuales (aun con cierto tratamiento, ya que no elimina totalmente la carga contaminante) sobre las masas de agua. Presentando esta última, por tanto, un doble valor como solución a los problemas generados en el medio ambiente derivados de la escasez y la contaminación.

Con esta perspectiva, en los últimos años se ha incrementado la capacidad de regeneración de aguas residuales urbanas para su reutilización en determinadas actividades, tanto productivas como ambientales. De acuerdo a las cifras recogidas en las estadísticas oficiales del INE<sup>2</sup>, a nivel nacional se reutiliza de media alrededor del 12% de las aguas residuales generadas, con diferencias considerables entre regiones.

El proceso de toma de decisiones respecto a la planificación y gestión de los recursos hídricos requiere de una alimen-

tación constante de información que implemente cotas elevadas de eficiencia. Es vital conocer las magnitudes económicas que plantean la producción y el uso de aguas regeneradas en las actividades económicas y la corrección de externalidades. Mediante la valoración financiera conocemos los flujos de costes e ingresos (precios) que se generan en el proceso de producción y distribución a los usuarios de este tipo de recursos. No obstante, la mera aproximación contable a estos flujos financieros no nos permite conocer el alcance económico completo del uso de este recurso. Precisamos, para completar el análisis, una valoración económica basada en los impactos positivos de la utilización de tales recursos. Incluyendo una cuantificación de las actividades económicas que son sostenidas con aguas regeneradas.

Nuestro propósito es realizar una aproximación al "valor" de este recurso desde cuatro "perspectivas". Proceso en el que determinaremos cuáles son los costes de los servicios de producción y distribución del agua regenerada, cuáles son los precios y el flujo de ingresos financieros estimados por su distribución y comercialización, cuáles son y cómo podemos cuantificar las externalidades corregidas con este tipo de recursos, y cuál es el valor de las actividades que son sustentadas con esta tipología de recursos.

## LA IMPORTANCIA DE LA REUTILIZACIÓN EN ESPAÑA

De acuerdo a la información estadística recogida en el Instituto Nacional de Estadística, en 2013 (último año disponible) se reutilizaron en el conjunto de España unos 544,7 hectómetros cúbicos de agua. Esta cifra es un 12% inferior al volumen reutilizado en 2011, ejercicio en el que se reutilizó el mayor volumen de agua de la última década, y similar al volumen de agua reutilizada en el año 2012. La Comunidad Valenciana constituye por sí sola el 46% del total nacional, junto con Andalucía y la Región de Murcia engloban casi las tres cuartas partes del volumen de aguas reutilizadas.

Si consideramos que técnicamente solo es viable poder reutilizar como máximo un rango comprendido entre 50-60% de las aguas residuales procesadas por los sistemas de depuración, en algunas regiones (Comunidad Valenciana y Región de Murcia) este nivel ya ha sido alcanzado en 2012, no existiendo volúmenes importantes de recursos de esta procedencia a los que poder recurrir en el futuro. No obstante, en otras regiones con limitaciones en sus recursos hídricos, caso de las regiones mediterráneas no señaladas anteriormente (Andalucía y Cataluña) y los dos archipiélagos (Baleares y Canarias), todavía queda recorrido en el recurso a este tipo de aguas.

La reutilización está llamada a convertirse, junto a la desalinización, en la única fuente de incremento de nuevos recursos en los próximos años. Agotada la vía de regulación de recursos superficiales, sobreexplotadas las aguas subterráneas, solo queda la alternativa de ahorrar/mejorar la eficiencia y los recursos no convencionales. Es tan significativa la nueva aportación de este recurso, que el Plan Nacional de Calidad de las Aguas (2007-2015) fijaba un objetivo de volumen reutilizado de 1.200-1.300 hm<sup>3</sup>/

1 "Nada es más útil que el agua; pero esta no comprará nada; nada de valor puede ser intercambiado por ella. Un diamante, por el contrario, tiene escaso valor de uso; pero una gran cantidad de otros bienes pueden ser frecuentemente intercambiados por este" (Adam Smith: *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, 1776).

2 <http://www.ine.es/jaxi/tabla.do?path=/t26/p067/p01/serie/10/&file=01005.px&type=pcaxis&L=0>.

Tabla 1. Volumen de agua reutilizada en España (2009-2014)

Volumen de agua reutilizada	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Andalucía	120.369.806	124.253.159	115.852.664	88.735.488	64.694.900	57.335.295
Aragón	1.472.208	1.961.999	1.472.190	1.468.099	1.475.129	1.528.985
Asturias, Principado de	0	1.964.001	2.746.916	0	0	13.938.255
Baleares, Illes	46.431.749	34.934.997	40.383.986	43.532.381	69.790.894	55.651.915
Canarias	34.153.631	31.474.273	31.037.181	30.555.266	25.519.489	27.728.320
Cantabria	0	0	0	3.883.412	2.160.391	1.948.005
Castilla y León	3.719.451	3.716.265	927.598	2.767.036	5.518.526	3.926.670
Castilla-La Mancha	7.576.865	5.341.396	1.535.421	1.532.566	8.435.507	5.583.405
Cataluña	43.492.067	35.479.584	30.128.657	30.097.920	30.327.905	25.299.975
Comunitat Valenciana	172.834.013	156.602.263	304.904.325	270.064.277	250.116.692	248.946.060
Extremadura	0	0	805.565	0	0	55.115
Galicia	1.010.737	1.011.689	1.011.653	1.009.498	1.009.568	457.710
Madrid, Comunidad de	6.957.729	6.990.872	9.357.276	11.727.867	11.854.381	14.550.725
Murcia, Región de	94.107.669	85.592.441	65.596.402	61.869.573	68.774.129	66.877.855
Navarra, Comunidad Foral de	0	0	0	0	0	0
País Vasco	4.767.659	6.368.773	5.580.160	3.182.777	4.799.784	6.707.970
Rioja, La	0	0	0	0	0	0
Ceuta y Melilla	55.588	173.060	119.049	121.798	183.806	171.915
<b>España (Total)</b>	<b>536.949.172</b>	<b>495.864.772</b>	<b>611.459.045</b>	<b>550.547.960</b>	<b>544.661.099</b>	<b>530.708.175</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de INE, 2015. Cifras en metros cúbicos.

año, cifra aún lejos de alcanzarse. Dicho volumen vendría a representar el 25% de las aguas residuales depuradas en el conjunto de España, y hasta el 45% de las aguas residuales del conjunto de las regiones mediterráneas y de los dos archipiélagos. Este dato permite valorar lo ambicioso del objetivo del PNCA (2007-2015) y la razón por la que no se ha conseguido alcanzar más del 50% de los volúmenes previstos.

#### APROXIMACIÓN A LOS COSTES DE PRODUCCIÓN

En nuestro intento de aproximación al valor de la reutilización en España comenzaremos abordando los costes de producción de los servicios para la aplicación de este tipo de recursos. En esta búsqueda, señalaremos los diferentes factores (4) que inciden en la producción de estos servicios y analizaremos algunos casos específicos representativos.

Para la aplicación de aguas reutilizadas se requiere de servicios de producción, transporte y distribución. Estos servicios no son homogéneos en el territorio ni para toda materia prima (aguas depuradas tratadas), por lo que hay que tener en cuenta ciertos factores que inducirán a un mayor o menor coste de los servicios dependiendo de los proyectos y el uso al que estén destinadas las aguas tratadas.

Siguiendo la secuenciación de los servicios, el principal elemento determinante del coste de producción es el destino final de este recurso. De acuerdo a la normativa vigente (real decreto 1620/2007) según el uso final de este recurso es necesario cumplir con ciertos parámetros de calidad del agua, estando prohibi-

da la utilización de aguas reutilizadas para algunos usos como el consumo humano<sup>3</sup>.

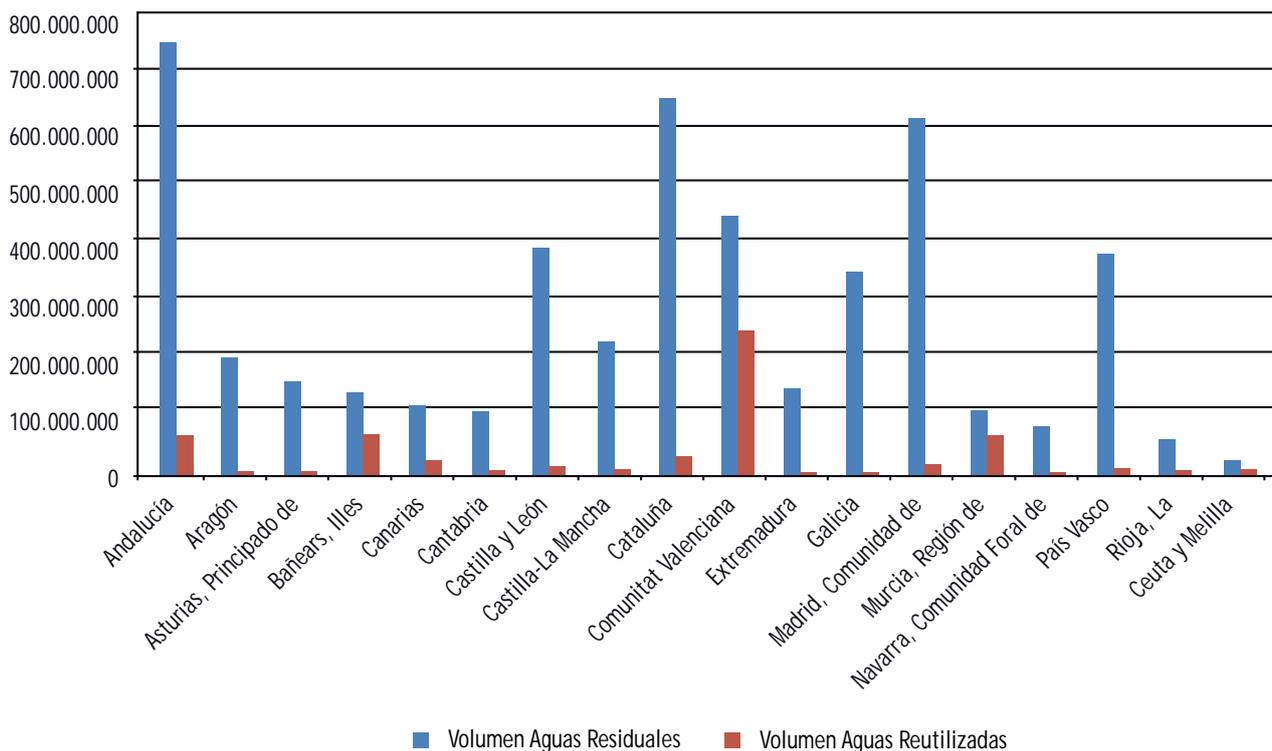
Los mayores requisitos de calidad se encuentran en los usos urbanos (riego de jardines privados o descarga de aparatos sanitarios) frente a los usos de ocio (riegos de campos de golf) y ambientales (mantenimiento de humedales) en los que hay menores valores de cumplimiento de los criterios de calidad de las aguas a reutilizar.

El segundo elemento que influye en el coste de producción de este recurso es el nivel de calidad de las aguas depuradas con tratamiento de acuerdo a la normativa y cumpliendo los requisitos de la Directiva 91/271 (Tratamiento secundario). Perogrullo: a menor nivel de carga contaminante, menores costes adicionales de tratamiento para su reutilización. Es obvio que aguas que solo requieren de una filtración adicional y desinfección tendrán un menor coste que aquellas que requieren procesos más complejos (ultrafiltración, ósmosis, electrodiálisis, etc.) derivados de su carga contaminante o calidad del efluente.

El tercer elemento que conjuga en los costes de producción es la dimensión del proyecto. Por la aplicación de economías de escala aquellos proyectos de mayor volumen de aguas tratadas presentarán menores costes unitarios que otros similares de menor tamaño. Es obvio que la consecuencia de este principio conlleva que los proyectos prioritarios tienen que establecerse en aquellos lugares donde exista cantidad suficiente de recursos

<sup>3</sup> Salvo situaciones de declaración de catástrofe en las que la autoridad sanitaria especificará los niveles de calidad exigidos a dichas aguas y los usos (artículo 4 del real decreto 1620/2007).

Gráfico 1. Volumen de agua depurada y reutilizada (Año 2012)



Fuente: Elaboración propia a partir de INE, 2015. Cifras en metros cúbicos.

potenciales de esta naturaleza y demanda de los mismos que den lugar a una dimensión óptima en el diseño de los sistemas de producción.

Por último, siendo un elemento novedoso en los requisitos del real decreto 1620/2007, los costes de análisis y requisitos formales de carácter administrativo suponen una partida nada desdeñable en ciertos sistemas de producción y distribución de aguas reutilizadas<sup>4</sup>. La normativa impone el control, y la responsabilidad del titular de la concesión o autorización, de la calidad del agua regenerada “hasta el punto de entrega” (artículo 5.4 del real decreto 1620/2007). Este factor encarece esta rúbrica del coste de distribución del agua regenerada por el imperativo de controlar (analíticas) todos los puntos de distribución. En los casos de un solo punto de entrega, este coste sería indiferente, pero en sistemas con múltiples usuarios enganchados en una red de distribución esta partida no es baladí.

Los demás elementos que configuran los costes del sistema son propios y de idéntica naturaleza a cualquier proceso de producción, que requiere de una inversión inicial y de mantenimiento de las instalaciones, junto con una serie de costes operativos y de explotación en la producción. Las economías de escala son aplicables (y deseables) a estos procesos productivos.

Teniendo presente lo anterior, cifrar de forma global los costes de producción de los servicios del agua materializados con

4 En el caso de algunos sistemas integrados con cierta experiencia, el coste de control analítico apenas representaba un 1%-2% de los costes de explotación antes del real decreto 1620/2007; mientras que a partir de la aplicación de este requisito esta partida ha dado un salto hasta el 6%-10% de estos costes.

aguas regeneradas presenta algunas dificultades. Existen estudios por parte de algunos autores y organismos que tratan de simplificar estas cifras en términos de “costes medios”. El problema de suministrar este tipo de información es la amplitud de casos y circunstancias donde los niveles indicados no son siquiera representativos. De hecho, en los cálculos del Plan Nacional de Reutilización de Aguas de finales del 2010 se proporciona una estimación de costes unitarios según el tratamiento necesario, dando lugar hasta seis alternativas posibles.

Según lo recogido en este documento, el coste total unitario estaría comprendido entre 0,0624 €-0,5515 € por cada metro cúbico regenerado, a los que habría que incluir el coste de transporte y distribución. Otros autores<sup>5</sup> han estimado junto a los costes de producción el alcance que tienen los costes de distribución para grandes sistemas (más de cinco hm<sup>3</sup>/año), determinando costes medios de producción de 0,062 €/m<sup>3</sup> (al que habría que añadir el coste de distribución) estimando un coste de inversión para la implantación de 4,5 €/m<sup>3</sup>; y 0,1897 €/m<sup>3</sup> (con el coste de distribución ya agregado) con 7,5 €/m<sup>3</sup> de coste de implantación.

En otros casos, los costes de producción de estos servicios en entornos muy desfavorables (con necesidad de tratamientos más sofisticados) pueden superar este rango de valores. En el caso de Gran Canaria, en un sistema que distribuye alrededor de 5 hm<sup>3</sup>/año<sup>6</sup>, es necesario recurrir a procesos de membranas y de ósmosis inversa en pequeñas unidades de producción (en un total de

5 Mujeriego, 2005. Bravo Guajardo, 2012.

6 Dato medio correspondiente al periodo 2009-2013.

Tabla 2. Costes unitarios del agua en función del tratamiento de regeneración

Tratamiento de regeneración	Costes	
	Implantación €/m <sup>3</sup>	Explotación €/m <sup>3</sup>
Físico-Químico + Filtración + Filtración de Membranas + Cloro residual	0,82	0,20
Físico-Químico + Filtración + Ultravioleta + Cloro residual	0,12	0,09
Filtración + Ultravioleta + Cloro residual	0,05	0,06
Filtración	0,03	0,06
Físico-Químico + Filtración + Filtración de Membranas + Ósmosis Inversa + Cloro residual	1,14	1,09
Físico-Químico + Filtración + Electrodiálisis Reversible + Ultravioleta + Cloro Residual	1,04	

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010, 58.

14 instalaciones que, salvo en tres casos, no llegan a superar un volumen de tratamiento de 500.000 m<sup>3</sup>/año para adecuar la calidad del agua regenerada, destinada en su mayor parte para uso en procesos agrarios. Este particular, unido a una orografía muy desfavorable para el suministro y a un complejo sistema de distribución y bombeos, hacen alcanzar costes medios cercanos a 1,40 €/m<sup>3</sup> (con un nivel de 0,48 €/m<sup>3</sup> para los costes de explotación del tratamiento terciario sin considerar los costes de inversión). Los costes de implantación (inversión) de los tratamientos superan los 4 €/m<sup>3</sup> debido a las dificultades señaladas y el reducido tamaño de las plantas de tratamiento, representando hasta casi 4 veces las cifras previstas en el PNRA (tabla 2), mientras que la inversión en implantación de los sistemas de distribución llega a alcanzar los 9,35 €/m<sup>3</sup>. En estas circunstancias, los costes energéticos representan casi el 30% de los costes de explotación debido a los fuertes desniveles que se tienen que superar en virtud de la accidentada orografía del terreno y la extensión de la red de distribución.

Junto al caso anterior, el Programa de Reutilización de Agua de la Comunidad de Madrid (Madrid Dpura, 2005-2010) ha supuesto una inversión final de 600 millones de euros (incluyendo las redes de transporte y distribución, con más de mil doscientos kilómetros de longitud) para una capacidad de reutilización de unos 70-80 hm<sup>3</sup>/año en riego de zonas verdes públicas, usos industriales, de recreo y baldeo de calles. Estas cifras ponen de manifiesto un indicador de unos ocho €/m<sup>3</sup> como coste de implantación (inversión) de la regeneración y distribución.

Los costes de explotación del programa Madrid Dpura no se han difundido ni son de acceso público. Pero dado que la tarifa variable aplicada por el Canal de Isabel II para este recurso se sitúa (2015) en un intervalo entre 0,16-0,35 €/m<sup>3</sup>, puede darnos una idea aproximada de los costes de explotación de unos 15-20 millones de euros anuales, sin incluir el capítulo de inversiones y su correspondiente amortización.

Tenemos otros dos casos de grandes proyectos, para uso industrial del agua regenerada, cuyo coste de inversión y explotación ha corrido a cargo de los usuarios. Son el caso de la papelera Holmen Paper en la Comunidad de Madrid y el Camp de Tarragona en Cataluña.

En el caso de la papelera Holmen, cuyo proyecto en 2010 se concibió para sustituir caudales de agua potable por agua regenerada, el sistema está diseñado con una capacidad de hasta 4,5 hm<sup>3</sup>/año (12.400 m<sup>3</sup>/día, aunque actualmente la papelera utiliza

unos 7.800 m<sup>3</sup>/día) y para un período de explotación, en principio, no más allá del 2030. La inversión en el sistema (con una conducción de unos 4.150 metros hasta la fábrica) es de unos 12,7 millones de euros, lo que nos proporciona un indicador de implantación de unos 2,82 €/m<sup>3</sup>. Dados los elevados requisitos de calidad del agua (superiores en algunos aspectos a los fijados en el real decreto 1620/2007) los costes son elevados, pero asumibles por la empresa ya que ahorra la tarifa del agua potable. El CAE<sup>7</sup> de la inversión alcanza los 0,23 €/m<sup>3</sup>, mientras que los costes anuales de explotación se sitúan alrededor de los 0,50-0,60 €/m<sup>3</sup>, suponiendo un coste unitario total de unos 0,73-0,83 €/m<sup>3</sup>. Magnitud competitiva respecto al precio del recurso al que ha sustituido, que no es otro que el de las redes generales de distribución del Canal de Isabel II.

En el caso del proyecto del Camp de Tarragona, las cifras son diferentes debido a la amplia red de transporte y distribución asociada al proyecto (unos 18.000 metros). La producción de agua regenerada exige una inversión de unos 34 millones de euros (poco más de dos €/m<sup>3</sup> de coste de implantación para el diseño de 45.000 m<sup>3</sup>/día), junto con unos 17,75 millones de € para la red de transporte y distribución (un total de casi cincuenta y dos millones de euros). En una primera fase, el volumen anual de agua suministrada será de unos 6,8 hm<sup>3</sup> (19.000 m<sup>3</sup>/día), y el coste de explotación se ha calculado en unos 0,434 €/m<sup>3</sup> (sin incluir analíticas) al que habría que añadir los costes de transporte y distribución en 0,117 €/m<sup>3</sup>. Todo ello nos lleva a considerar un coste total medio de 1,16 €/m<sup>3</sup> para el agua reutilizada.

Los anteriores proyectos se referían a recursos de muy alta calidad que son empleados en procesos industriales o en gran escala. No obstante, esta no es la tónica general de la reutilización. La mayor parte de los proyectos tienen como destino el uso agrario o recreativo (riego de campos de golf), con menores requisitos de calidad del recurso que permiten el uso de técnicas menos costosas, y en ámbitos y dimensiones a nivel local.

Encontramos numerosas actuaciones cuyos efluentes tienen como destino el uso agrario sustituyendo o complementando otros recursos, sobre todo en el arco mediterráneo de la península. A modo de ejemplo, podemos citar el caso de la EDAR de

<sup>7</sup> El Coste Anual Equivalente (CAE) es utilizado como medida comparativa entre distintos sistemas y tratamientos dado que homogeniza los costes de inversión y los costes anuales de explotación, facilitando el análisis de las actuaciones y obviando la comparación entre la mayor o menor necesidad de inversión o los mayores o menores costes de explotación.

Tabla 3. Rango de costes unitarios de producción y distribución del agua regenerada en España

	Implantación €/m <sup>3</sup>	Explotación €/m <sup>3</sup>	CAE €/m <sup>3</sup>
Producción agua regenerada	0,20-4,50	0,06-0,48	0,08-0,84
Distribución agua regenerada	4,00-8,00	0,15-0,40	0,47-1,04
			0,55-1,88

Fuente: Elaboración propia.

Jumilla<sup>8</sup> (Murcia). Puesta en marcha en 2014 con una vigencia de 25 años, que ha supuesto una inversión final de unos cuatro millones de euros financiados por distintas Administraciones Públicas (47% Fondos Europeos, 25% MAGRAMA, 25% por la CARM y 3% usuarios), con unos costes de explotación anuales de unos cien mil euros para producir 1,5 hm<sup>3</sup>/año con destino a la Comunidad de Regantes de Miraflores (1.329 ha). La CCRR asume los costes de explotación anuales (calculados en 0,067 €/m<sup>3</sup>)<sup>9</sup> y transporta y distribuye los caudales a sus socios. La actuación tiene como objetivo complementar los recursos subterráneos (3,9 hm<sup>3</sup>/año) y alcanzar un volumen total de unos cuatro mil m<sup>3</sup>/ha/año que se utilizan de forma localizada. De acuerdo a estos datos, el coste unitario de producción sería de unos 0,086 €/m<sup>3</sup> con un coste de implantación (subvencionado) de 2,67 €/m<sup>3</sup>.

En el caso de riegos de campos de golf y jardines públicos, tenemos una actuación sobre la EDAR de Cerro del Águila (Málaga)<sup>10</sup> que produce unos 5,36 hm<sup>3</sup>/año para su uso en los municipios de Fuengirola y Mijas. El terciario ha tenido un coste de inversión de unos seis millones de euros y la red de transporte y distribución de 6,7 millones de euros. El coste de implantación se estima en unos 2,37 €/m<sup>3</sup> y el coste de explotación anual en unos 2,6 millones de euros. Los indicadores que se obtienen son del orden de 0,49 €/m<sup>3</sup> como coste de mantenimiento y conservación anual y 0,17 €/m<sup>3</sup> como repercusión de la inversión (CAE), lo que totaliza un coste de 0,66 €/m<sup>3</sup> en la producción y posterior transporte y distribución del recurso.

Las actuaciones en esta materia cuyos efluentes tengan como destino el uso ambiental también presentan diferencias significativas en relación al destino y características de los efluentes de la fase de tratamiento secundario de las EDAR. A modo de ejemplo podemos analizar el caso de la EDAR de Sueca<sup>11</sup> (Valencia), con un doble uso (agrícola y ambiental) de sus efluentes y requisitos de calidad diferentes en cada caso. En este particular, el uso ambiental requiere de unas condiciones de calidad

8 Puede consultarse el proyecto y la inversión asumida por el MAGRAMA en el siguiente enlace: [http://www.magrama.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/informes-de-viabilidad-de-obras-hidraulicas/943\\_CHS\\_APPROVECHAMIENTO\\_AARR\\_EDAR\\_JUMILLA\\_tcm7-164341.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/informes-de-viabilidad-de-obras-hidraulicas/943_CHS_APPROVECHAMIENTO_AARR_EDAR_JUMILLA_tcm7-164341.pdf).

9 En línea con los costes de producción estimados en otras fuentes (Simón Andreu, 2014) para la región de Murcia y el tipo de uso del recurso regenerado, estimado entre 0,055-0,08 €/m<sup>3</sup>.

10 Puede consultarse el proyecto en la página WEB del MAGRAMA en el siguiente enlace: [http://www.magrama.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/informes-de-viabilidad-de-obras-hidraulicas/966\\_ACM\\_Reutilizacion\\_Cerro\\_del\\_Aguila\\_tcm7-163999.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/informes-de-viabilidad-de-obras-hidraulicas/966_ACM_Reutilizacion_Cerro_del_Aguila_tcm7-163999.pdf).

11 Puede consultarse el proyecto en el siguiente enlace: [http://www.magrama.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/informes-de-viabilidad-de-obras-hidraulicas/reutilizacion\\_aguas\\_residuales\\_en\\_albufera\\_sur\\_mma\\_interne\\_tcm7-27301.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/informes-de-viabilidad-de-obras-hidraulicas/reutilizacion_aguas_residuales_en_albufera_sur_mma_interne_tcm7-27301.pdf).

del caudal regenerado muy superior al uso agrícola (debido a la afección a un espacio natural con una mayor figura de protección afectado por elevados niveles de eutrofización -La Albufera de Valencia-), por lo que es necesario un doble tratamiento (ultravioletas y filtros verdes) que suponen un mayor desembolso en la inversión. Las cifras de esta actuación en materia de uso

ambiental (puesta en marcha en 2014) suponen unos diecisiete millones de euros de inversión en los tratamientos de regeneración y transporte, además de un coste de explotación anual de 1,2 millones de euros aproximadamente. Para un volumen anual estimado de unos 4,23 hm<sup>3</sup>, los indicadores obtenidos presentan niveles de unos 4,04 €/m<sup>3</sup> como coste de implantación (inversión) y un CAE unitario total de 0,59 €/m<sup>3</sup>, casi un 50% superior al coste unitario atribuido para el uso en riego agrícola (0,41 €/m<sup>3</sup>).

Como puede apreciarse surgen grandes dificultades para homogeneizar los valores y proporcionar cifras razonables sobre el coste de producir y distribuir esta tipología de recurso. No obstante, vamos a tratar de proporcionar ese dato genérico global acerca del coste financiero de producir y distribuir agua regenerada, teniendo presente que su tratamiento debe hacerse con las reservas oportunas al considerar un dato basado en intervalos. Habiendo analizado actuaciones que suponen la producción de más de ciento veinte hm<sup>3</sup>/año (representativos del 20% del volumen de agua regenerada en España) se pueden proporcionar unos rangos de inversión de implantación en producción y distribución de agua regenerada, niveles de los costes de explotación y el coste anual equivalente (CAE), tanto para la producción de este recurso como para su posterior transporte y distribución.

Las diferencias más significativas en la producción de este recurso proceden de los requisitos de calidad del agua regenerada para los usos asignados, en tanto que los costes del sistema de transporte y distribución son consecuencia de las redes e infraestructura necesarias para su suministro a los usuarios.

En términos medios, con una capacidad instalada actual de producción de unos seiscientos cincuenta hm<sup>3</sup> anuales y una producción y distribución de unos quinientos cincuenta hm<sup>3</sup> de media en los últimos años, podemos cuantificar la inversión realizada en unos cinco mil millones de euros (1.500 millones de euros en módulos de tratamiento terciario y producción de agua regenerada, y 3.000 millones de euros en los sistemas de transporte y redes de distribución. El CAE de esta inversión se cuantifica en casi trescientos veinte millones de euros, en tanto en cuanto que los costes de explotación no ligados a la inversión se estiman en unos doscientos ochenta y seis millones de euros anuales. Todo esto se traduce en un coste total anual de unos seiscientos seis millones de euros, lo que nos proporciona un indicador de 1,10 €/m<sup>3</sup> (0,44 €/m<sup>3</sup> de coste de producción y 0,66 €/m<sup>3</sup> de coste de transporte y distribución).

Como se ha mencionado con anterioridad, estas cifras son estimaciones a partir del análisis de actuaciones que representan una quinta parte del volumen total del agua reutilizada en España. Cabe considerar que los proyectos y actuaciones que se han

llevado a cabo hasta el momento son aquellos que requerían de una mayor urgencia o eran de menor complejidad y bajo coste. La tónica general de los proyectos futuros presenta costes marginales crecientes y, por tanto, tenderán a incrementar los costes de este tipo de recursos.

#### PRECIOS DE LOS SERVICIOS DE AGUAS REUTILIZADAS

En el apartado precedente hemos analizado los costes de producción y distribución del agua regenerada para su posterior reutilización. Sin embargo, no hay que confundir estos costes con el precio final satisfecho por los usuarios. La utilización de estos recursos suele llevar aparejada una parte importante de subvenciones para promover el empleo de esta fuente y la sustitución de caudales de origen natural.

En general, existe una fuerte componente de subvención en los costes de inversión, que son asumidos en su totalidad (o casi) y en muchos casos por las Administraciones Públicas. Es práctica común diferenciar al tipo de usuario y aplicar políticas de precios diferentes en función de este. Los recursos cuyo destino sea la reutilización en actividades de riego de cultivos, los usuarios suelen sufragar una mínima parte de los costes de inversión y asumen la totalidad de los costes de explotación. Sin embargo, los usuarios industriales, urbanos y los campos de golf suelen satisfacer entre el 40% y el 100% de la inversión, además de la totalidad de los costes de explotación.

Siguiendo los ejemplos aportados con anterioridad, en el caso del aprovechamiento de las aguas regeneradas de la EDAR de Jumilla, dado que los usuarios asumen un 3% del total de la inversión, el pago que realizan en términos medios por cada metro cúbico que reutilizan en sus cultivos viene a situarse en unos

por ciento del coste total de generación del recurso, en línea con otras actuaciones similares.

En el caso especial de las Islas Canarias, el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria aplica una sola tarifa por el agua regenerada<sup>12</sup> de 0,41 €/m<sup>3</sup> para todos los usos (generalmente riego agrícola y aplicación en campos de golf). Esta tarifa, aunque elevada en relación a otras aplicadas en diferentes lugares de España para la reutilización en regadío, supone una subvención de algo más del sesenta por ciento respecto al coste de producción, transporte y distribución calculado, como se mencionó en el apartado anterior debido a las características de la producción de estos servicios.

Las actuaciones cuyos recursos regenerados tengan aplicación en la reutilización para otros usos diferentes de los de regadío, no presentan tan generosos valores de subvención, aunque no están exentas de una rebaja en los precios respecto a los costes. Es el caso de las actuaciones con destino a usos urbanos (riego de parques y jardines o baldeos de calles) o usos en actividades de ocio (riego de campos de golf). En estas actuaciones, suele existir una parte de subvención en la inversión y no se han encontrado casos de subvenciones en los costes de explotación corrientes. En caso de existir financiación para la inversión a cargo de fondos europeos, no se traslada este componente de la financiación a los precios que abonan los usuarios del servicio (este componente de financiación suele rondar el 20-25% del total). Otra parte de subvención que se suele dar (de uso no exclusivo en este tipo de actuaciones) es la aplicación de dilatados períodos de amortización de las inversiones (alcanzando incluso los 30-40 años) que reduce la factura anual en concepto de amortización, y que tiene como consecuencia la rebaja en el precio del servicio realizado con estos recursos.

En el caso del riego de algunos campos de golf de la provincia de Málaga que utilizan recursos regenerados para el riego de sus instalaciones, los precios medios pagados por este servicio se han estimado en casi 0,63 €/m<sup>3</sup>, con una subvención de unos 0,034 €/m<sup>3</sup> que apenas representa el 5% del coste total. Esta subvención es consecuencia de la no repercusión en los precios de

Tabla 4. Tarifas reutilización Canal Isabel II en la Comunidad de Madrid

	2008	2012	2016
Cuota servicio regeneración	5,1468 € × iR × m <sup>3</sup> /día	5,5532 € × iR × m <sup>3</sup> /día	5,7362 € × iR × m <sup>3</sup> /día
Cuota servicio transporte	5,2419 € × iT × m <sup>3</sup> /día	5,6559 € × iT × m <sup>3</sup> /día	5,8422 € × iT × m <sup>3</sup> /día
Consumo regeneración <25%	0,2711 €/m <sup>3</sup>	0,2925 €/m <sup>3</sup>	0,3021 €/m <sup>3</sup>
25%<Consumo regeneración<75%	0,1979 €/m <sup>3</sup>	0,2135 €/m <sup>3</sup>	0,2206 €/m <sup>3</sup>
Consumo regeneración >75%	0,1247 €/m <sup>3</sup>	0,1345 €/m <sup>3</sup>	0,1390 €/m <sup>3</sup>
Consumo transporte <25%	0,0517 €/m <sup>3</sup>	0,0557 €/m <sup>3</sup>	0,0574 €/m <sup>3</sup>
25%<Consumo transporte<75%	0,0378 €/m <sup>3</sup>	0,0408 €/m <sup>3</sup>	0,0422 €/m <sup>3</sup>
Consumo transporte >75%	0,0237 €/m <sup>3</sup>	0,0256 €/m <sup>3</sup>	0,0265 €/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia a partir de los decretos de aprobación de tarifas de la Comunidad de Madrid (Años 2008, 2012 y 2016).

0,074 euros. Dicha magnitud podría situarse en línea del coste del recurso al que complementa, de origen subterráneo, que era una de las cláusulas de entendimiento de la Administración con los usuarios para la realización del proyecto.

Como puede apreciarse, las actuaciones ligadas a la reutilización en el sector de regadío presentan un fuerte componente de subvención ligado a la inversión. En el caso que nos ocupa, EDAR de Jumilla, esta subvención representa casi el setenta y uno

de la financiación que tiene su origen en fondos europeos que, en este caso, alcanza el 20% de la inversión total.

En el caso de la reutilización en servicios de bien público de carácter local, caso de riego de parques y jardines urbanos o baldeo de vías públicas, los titulares (ayuntamientos) siguen dos estrategias de aplicación de los costes soportados por la reu-

<sup>12</sup> 15 €/hora de agua (la hora de agua equivale a unos treinta y seis metros cúbicos).

tilización del agua. En determinados casos se aplican los cargos sobre los presupuestos municipales, sin componente de precio a los usuarios de los servicios del agua; mientras que en otras circunstancias se repercuten total o parcialmente sobre el coste de los servicios del agua que sufragan los usuarios. En este último caso estamos ante una subvención cruzada de los usuarios de los servicios del agua al conjunto de la población (sea o no sea usuaria del servicio).

En los usos ambientales, al tratarse de un bien público, no se aplican precios por estos servicios, siendo los costes asumidos por la Administración competente.

Los usos industriales suelen sufragar casi la totalidad del coste de las instalaciones y de los costes corrientes de explotación anuales. Las grandes actuaciones buscan en estos proyectos la garantía del suministro y condiciones de calidad para la explotación económica.

En el supuesto de sistemas integrados de redes de abastecimiento de aguas regeneradas para su reutilización en actividades industriales, ocio (campos de golf) y usos municipales (riego de zonas verdes y baldeos de vías públicas) como es el caso de la red del Canal de Isabel II en la Comunidad de Madrid, se aplican sistemas tarifarios que discriminan a los usuarios por el volumen de recursos consumidos y la capacidad contratada utilizada. Aquellos usuarios con un consumo bimestral superior a los 150.000 metros cúbicos, se les aplica una tarifa negociada y adaptada a la inversión y los costes incurridos (caso de la papelera Holmen anteriormente citado). Para volúmenes de reutilización inferiores a la cifra anterior se aplica una tarifa con dos componentes y cuatro conceptos. Un componente por el agua regenerada y otro componente por el transporte desde la planta de regeneración hasta el punto de suministro. En ambos componentes se aplica una parte fija como cuota de servicio y otra parte variable como cuota de consumo.

Las cuotas de servicio en ambos casos son personalizadas para cada usuario a través de los factores (el factor iR y el factor iT), que recogen un porcentaje de inversión que se imputa por la prestación de los servicios de regeneración y transporte respecto a la inversión total en cada uno de ellos, cuyo cálculo y análisis se realiza de forma individual para cada usuario, al que se multiplica por los metros cúbicos día contratados.

Tabla 5. Valor unitario aguas reutilizadas

Reutilización	Valores (€/m <sup>3</sup> )		
	Bajo	Alto	Más probable
Uso urbano (Industria) <sup>4</sup>	79,44	226,95	107,82
Uso urbano (Baldeos y zonas verdes) <sup>1</sup>	0,50	1,86	1,09
Uso ambiental <sup>1</sup>			
Uso ocio/turismo (Golf) <sup>2,4</sup>	1,30	15,93	9,87
Uso regadío <sup>3</sup>	0,50	5,00	2,75

Fuente: Elaboración propia.

1 Cifras obtenidas de INE (2015).

2 Cifras obtenidas de Custodio, E. 2015, 146.

3 Cifras obtenidas de Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2007.

4 Cifras obtenidas de Melgarejo y Villar, 2010.

El importe satisfecho por la utilización de este recurso por parte de los usuarios es bastante competitivo. Esta tarifa lleva más de una década en vigor y se ha venido actualizando anualmente para ajustar los precios al coste de los servicios.

La tarifa del Canal de Isabel II está planteada para estabilizar la oferta y demanda de este tipo de recurso. En el supuesto de que el usuario utilice menos capacidad que la contratada el precio por el agua reutilizada puede llegar a más que duplicarse con respecto a la situación inicialmente planteada, ya que el objetivo es ajustar la producción de agua regenerada con el consumo de este recurso para evitar excesos de capacidad (y los costes fijos no recuperables asociados a ese exceso de capacidad). Una forma muy inteligente de conseguir el equilibrio financiero.

#### APROXIMACIÓN A LA VALORACIÓN DEL USO DE LAS AGUAS REUTILIZADAS

La reutilización de aguas regeneradas en las diferentes actividades presenta un incremento de valor económico considerable. La posibilidad de utilizar nuevos recursos permite incrementar la producción de bienes y servicios que, de otra manera, no hubiera sido posible sin aportes de nuevos recursos hídricos.

En términos globales, las aguas regeneradas que se producen en España y pueden ser susceptibles de reutilización en distintas actividades económicas representan aproximadamente un 2,5% del total de recursos hídricos disponibles empleados. Dado que muchas actividades (sobre todo el regadío) utilizan recursos de diversa procedencia (superficiales, subterráneos, regenerados o desalación) no es posible discriminar de forma precisa la participación en la producción de bienes y servicios de cada uno de ellos. En este caso, la aproximación al valor de las actividades soportadas con aguas regeneradas suponemos presenta los mismos indicadores de productividad que las que utilizan otro tipo de recursos.

A nivel territorial, son las comunidades autónomas del arco mediterráneo y el archipiélago balear las más beneficiadas por el incremento de recursos de esta naturaleza. La reutilización supone más del 13% del total de recursos hídricos empleados en la Región de Murcia en el conjunto del regadío, y más del 7% en la Comunidad Valenciana dentro del mismo sector.

En términos nacionales, el 71% del agua reutilizada se emplea en actividades de regadío (aproximadamente unos 390 hm<sup>3</sup> anuales), en usos ambientales se emplean unos 46,5 hm<sup>3</sup> al año (un 17% del total de las aguas reutilizadas), en usos urbanos para baldeos de vías públicas y riego de zonas verdes se destina el 4% del total (22 hm<sup>3</sup> anuales), los usos industriales son poco representativos en alrededor del 1% del total (5,4 hm<sup>3</sup> anuales) y los usos de ocio en riegos de campos de golf suponen unos 38,3 hm<sup>3</sup> al año (7% del total).

Para poder asignar un valor económico al uso de este recurso, relacionaremos la productividad del agua reutilizada con la actividad económica a la que va destinada, salvo en el caso de los usos urbanos destinados a riego de zonas verdes y baldeos de vías públicas, y los usos ambientales (mantenimiento de caudales y

recargas de acuíferos) que se determinará el valor económico en términos de coste del recurso sustituido. El motivo fundamental es que ambos casos son servicios de bien público que no presentan un valor directo de mercado con el que podamos comparar, por lo que empleamos el precio del recurso para usos urbanos como medida del valor de sustitución. Todos estos valores se pueden obtener de diferentes fuentes en los últimos años, dentro de unos rangos de variación.

Aplicando estos valores a los volúmenes de agua reutilizada para cada uso de media en los últimos años, obtenemos una valoración económica del agua reutilizada en torno a 2.165 millones de euros anuales (cifra en un rango comprendido entre un mínimo de 737 millones de euros y un máximo de 4.014 millones de euros aproximadamente). Esta cifra nos proporciona un indicador medio de 3,95 €/m<sup>3</sup> (entre 1,35 y 7,33 €/m<sup>3</sup>).

Si confrontamos esta cifra con el coste de producción que hemos obtenido en el apartado 3 (606 millones de euros anuales), vemos que el retorno de la inversión en este tipo de recursos es sobradamente positivo (en una relación de más de 1 a 3).

Existen otras valoraciones que podemos medir en términos económicos más allá del valor de la producción de bienes y servicios. Es el caso de la corrección de ciertas externalidades como la eliminación de vertidos de carga orgánica al medio natural. Al suponer un tratamiento mejorado respecto del requerido por la normativa para su vertido al medio natural (tratamiento secundario), se elimina cierta carga de contaminación que, de otro modo, acabaría en los cursos naturales.

Anualmente, unos cuatrocientos cincuenta hectómetros cúbicos de aguas depuradas no son vertidos al medio natural (con tratamiento secundario), disminuyendo el aporte de carga orgánica. Si estimamos que el proceso de tratamiento secundario elimina un 92% del nitrógeno y el fósforo, y el 95% de la DBO<sub>5</sub>, por recurrir a solo tres indicadores de carga de las aguas residuales, podemos establecer el total de estos componentes que se elimina mediante el tratamiento terciario. El agua residual urbana presenta unos valores medios<sup>13</sup> de estos componentes cifrados en 40 mg/l de nitrógeno total, 8 mg/l de fósforo total y unos 200 mg/l de DBO<sub>5</sub>. El tratamiento secundario nos dejaría un efluente cuya composición todavía tendría ciertos niveles de estos parámetros (de media: 3,2 mg/l de nitrógeno, 0,6 mg/l de fósforo y 10 mg/l de DBO<sub>5</sub>), que permitirían mejorar los niveles de fertilización en actividades de riego.

En términos absolutos, el tratamiento terciario y su posterior reutilización elimina vertidos totales al medio natural que podemos cifrar en unas 1.450 toneladas de nitrógeno, 290 toneladas de fósforo y 4.500 toneladas de DBO<sub>5</sub>. En su mayor parte, dado que el 81% del volumen de agua reutilizada se aplica en riegos (cultivos, zonas verdes y campos de golf), se podría reducir la factura en aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosfatados, en algo más de 2,5 millones de €/año, si tenemos en cuenta los precios medios por tonelada de este tipo de abonos y de acuerdo a su concentración.

13 Metcalf & Eddy, Inc. 1995.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha querido destacar la importancia estratégica de la reutilización de aguas residuales regeneradas en su apartado económico. Esta importancia estratégica deriva de la condición de fuente de diversificación de recursos, que permite incrementar la capacidad productiva y su uso sin aumentar la presión sobre el medio natural. En términos relativos, la reutilización representa un 2,5% del volumen total de recursos hídricos aplicados, con unos quinientos cincuenta hectómetros cúbicos.

Junto a este factor cuantitativo, la reutilización añade una ventaja adicional al ser un recurso más “predecible” que los que tienen una procedencia natural. Los volúmenes de aguas residuales suelen ser estables, lo que produce efluentes constantes y de poca variación en volumen para su regeneración y posterior aplicación para la producción de bienes y servicios.

No obstante, la regeneración de aguas residuales tratadas tiene el inconveniente de incurrir en costes elevados, superiores a la media de los recursos de origen natural. Costes que, por otra parte, tampoco son excesivamente desproporcionados y que son perfectamente asumibles en las actividades a las que pueden ir destinados estos caudales, ya que estos inputs productivos generan un importante valor añadido.

Los precios que se aplican por parte de los operadores a los usuarios de este tipo de recursos son bastante ajustados y competitivos con otras fuentes (desalinización). Se sitúan por debajo del coste de producción, dado que existe un fuerte componente de subvención pública (sobre todo para los usos en actividades de regadío) en el coste de inversión y puesta en marcha de las infraestructuras (plantas de tratamiento y redes de transporte y distribución). En este sentido, los precios aplicados al uso de estos recursos permiten la cobertura de los costes corrientes de explotación y de una parte de los costes de inversión.

Algunos operadores han creado estructuras de tarifas que podríamos calificar de “inteligentes” e “incentivadoras” (es el caso del Canal de Isabel II) en el uso de estos recursos, primando la estabilidad y la utilización próxima a la plena capacidad productiva en el consumo que realizan los usuarios acogidos al suministro de esta fuente de recursos.

La reutilización permite mejorar la calidad ambiental, reduciendo el nivel de vertidos de carga contaminante al medio natural, a la par que proporciona la posibilidad de ahorrar costes de fertilización a los usuarios.

En términos cuantitativos, las actividades económicas que son sustentadas por la reutilización se pueden estimar en unos 2.165 millones de euros anuales, en un rango de valores que se sitúan entre 737 y 4.014 millones de euros. Esta cifra presenta un indicador medio de 3,95 €/m<sup>3</sup>, que podemos confrontar con el coste medio de producción, transporte y distribución de esta tipología de recurso (1,10 €/m<sup>3</sup>). Resultados que validan económicamente la estrategia de reutilización.

## BIBLIOGRAFÍA

Bravo Guajardo, L. M. 2012: “Viabilidad Económica del uso de agua del Sistema de Regeneración y Reutilización Agua para el riego agrícola

- en el Parc Agrari del Baix Llobregat”, tesis Fin de Máster, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, en <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/18390>.
- Custodio, E. 2015: *Aspectos hidrológicos, ambientales, económicos, sociales y éticos del consumo de reservas de agua subterránea en España. Minería del agua subterránea en España*. Barcelona, AQUA-LOGY-CETAqua-UPC.
- Instituto Nacional de Estadística 2015: *Estadística sobre el suministro y saneamiento del agua*. Madrid.
- Melgarejo, J. y Villar, A. 2010: *Análisis comparativo del uso y gestión del agua en la provincia de Alicante y su entorno competitivo*. Alicante, COEPA.
- Metcalf & Eddy, Inc. 1995: *Ingeniería de aguas residuales*. Nueva York, Mc Graw Hill.
- Ministerio de Medio Ambiente, 2007: *El agua en la Economía Española: Situación y perspectivas*. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009: *El Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y depuración 2007-2015. La puesta en marcha del Plan Nacional de Calidad de las Aguas 2007-2015: nuevos objetivos*. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010: *Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Informe de sostenibilidad ambiental*. Madrid.
- Mujeriego, R. 2005: “La reutilización, la regulación y la desalación de agua”, en *Ingeniería y Territorio*, 72, 16-25.
- Simón Andreu, P. J. 2012: “Reutilización de aguas regeneradas en la Región de Murcia”. Ponencia al Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA, 2012). Madrid, 26-30 de noviembre 2012, en <http://www.iagua.es/noticias/reutilizacion/13/01/10/la-reutilizacion-de-aguas-regeneradas-en-la-region-de-murcia-25584>. PMID: 24952358

## Reutilización de agua para la agricultura y el medioambiente

### *Water Reuse in Agriculture and the Environment*

*Amparo Melián-Navarro*

Universidad Miguel Hernández. Orihuela, Alicante, España. amparo.melian@umh.es

*M.<sup>a</sup> Ángeles Fernández-Zamudio*

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Moncada, Valencia, España. fernandez\_marzam@gva.es

**Resumen** — En el presente artículo se revisan los usos que pueden tener las aguas regeneradas en agricultura y con una finalidad medioambiental. Aunque tras un correcto tratamiento de depuración las opciones de uso de las aguas residuales son muchas, se destinan mayoritariamente a una finalidad agraria. Las ventajas de regar con esta fuente complementaria de agua es que se reduce la sobreexplotación de los acuíferos y se puede aprovechar la carga nutricional del agua para disminuir la cantidad de fertilizante aportado. En las próximas décadas parece que además de en agricultura, las aguas regeneradas cada vez se utilizarán más para diferentes usos urbanos y ambientales. A nivel medioambiental, las aguas depuradas facilitan el mantenimiento de los humedales y los caudales mínimos ecológicos.

**Abstract** — *This article analyses reused water for agricultural and environmental purposes. After proper purification treatments have been applied there are many options available for the use of the reclaimed wastewater, but most of it is used in agriculture. It is possible to reduce the overexploitation of aquifers with this additional source of water, and we can take advantage of the nutritional value of the water to reduce the amount of fertilizers used in commercial farming. In the next decades it seems that in addition to agriculture reclaimed water will be used increasingly for different urban and environmental purposes. At the environmental the use of treated water facilitates the maintenance of wetlands and minimum ecological flows.*

---

**Palabras clave:** depuración de agua, agua regenerada, agricultura de regadío, humedales, sostenibilidad ambiental

**Keywords:** wastewater purification, purified water, irrigated agriculture, wetlands, environmental sustainability

**Información Artículo:** Recibido: 14 marzo 2016

Revisado: 21 septiembre 2016

Aceptado: 2 noviembre 2016

## INTRODUCCIÓN<sup>1</sup>

El agua es esencial para la vida y el bienestar de las personas. En el último siglo ha pasado de ser un recurso natural "inagotable" a ser "limitante" para el desarrollo económico y social.

La demanda del agua se ha elevado notoriamente en todas las zonas urbanas, donde la población hace un uso mucho más intensivo del agua del que hacía hace décadas. Esta fuerte demanda, en el caso de España, es con frecuencia mayor en áreas donde las precipitaciones son escasas y que tienen un balance hídrico claramente deficitario. A la gran exigencia de caudales y la escasez natural del recurso, se unen los problemas de contaminación y dificultades en los tratamientos, lo que complica la disponibilidad de agua y hace más necesaria la búsqueda de alternativas que garanticen el suministro.

La reutilización de las aguas es en sí un fenómeno real, un hecho constatado y empleado en todo el mundo y a lo largo de la historia de la humanidad. Desde la antigüedad los núcleos poblacionales siempre dieron importancia no solo a disponer de un volumen determinado de agua, sino que también se buscaba que esta tuviera la suficiente calidad. Sin embargo, hasta el siglo XIX no se puso de manifiesto la necesidad de una adecuada gestión del agua residual como medio de protección de la salud pública<sup>2</sup>. A partir de la década de los 70 en la normativa europea se ha dado un papel prioritario a la depuración de las aguas, ya que toda el agua vertida a un cauce puede ser empleada aguas abajo con distintos fines.

El propio ciclo natural de las aguas supone que un mismo recurso sea utilizado de forma directa o indirecta por diversos usuarios, por lo que los procesos de regeneración de aguas que ya han sido utilizadas se vuelven imprescindibles.

Entre todos los usos que se dan a las aguas regeneradas, el mayoritario es el agrario (aproximadamente un setenta por ciento del total), básicamente para el riego de cultivos y pastos. Le siguen el uso medioambiental, sobre todo las funciones de recarga de acuíferos y la recuperación de humedales. Además, están los usos recreativos (especialmente campos de golf), el urbano y el industrial (principalmente en el sector textil). El agua depurada se utiliza para un fin agrario en alrededor de cincuenta países<sup>3</sup>, surte el 10% de todas las tierras de regadío del mundo, siendo esta su utilidad principal, pero en la actualidad también son cada día más numerosos sus fines medioambientales.

Precisamente por su relevancia y significación, en este artículo se va a desarrollar de forma explícita la utilidad y uso del agua depurada en las dos áreas que también se encuentran vinculadas entre ellas: la agricultura y el medio ambiente.

## GENERALIDADES SOBRE EL USO DEL AGUA REGENERADA

El uso cada vez más extendido de la reutilización del agua permite aumentar las dotaciones a la vez que se reduce la so-

breexplotación de los acuíferos. Esto es especialmente importante en países como los del área mediterránea, donde el aporte de este tipo de agua tiene claras ventajas económicas y medioambientales. Al contribuir al equilibrio entre la oferta y la demanda suponen una solución coste-eficacia correcta, un efecto que es aún más valorado en las zonas hidrológicamente deficientes<sup>4</sup>.

Numerosos autores<sup>5</sup> apelan a la importancia de conseguir nuevos usos para las aguas regeneradas: "la reutilización de recursos obtenidos de la regeneración de aguas residuales debería considerarse irrenunciable, tanto desde el punto de vista social como ambiental y sanitario", ya que "además de optimizar el propio proceso de depuración, con la utilización de estos recursos no convencionales se consigue rebajar la presión de la demanda sobre los determinados recursos hídricos convencionales".

Las aguas regeneradas son un recurso más dentro de la gestión hídrica y aunque no puedan considerarse un recurso convencional sí tienen un papel clave en la planificación integral del agua. A pesar de ello su importancia a nivel cuantitativo es todavía muy baja, representando en torno a un tres por ciento del total de recursos hídricos disponibles. Sin embargo, la mejora de la calidad de los efluentes es fundamental para su posterior aprovechamiento, no hay que olvidar que el agua puede tener una vida casi ilimitada si es bien gestionada.

En líneas generales, el agua regenerada puede destinarse a actividades que no requieran un recurso de gran calidad, lo que permite liberar los volúmenes de mejor calidad para otros usos más exigentes<sup>6</sup>. Otro objetivo fundamental del procedimiento de regeneración de aguas es sobre todo ambiental, ya que con la depuración del agua se evita el vertido de contaminantes a cauces fluviales, acuíferos o al mar. De no hacerlo, los problemas se agravan, ya que las aguas residuales que no son tratadas generan efectos adversos como eutrofización, malos olores, impacto visual, contaminación directa de otras aguas, etc.<sup>7</sup>

De forma tradicional el agua regenerada ha sido siempre una garantía para los suministros del riego, sobre todo en las zonas con mayor déficit hidrológico, siendo utilizada en la agricultura desde hace siglos. En la actualidad es cada vez más frecuente el intercambio de agua destinada en su inicio a fines agrícolas para dedicarla a un uso urbano, una demanda creciente y en la que puede obtenerse un mayor valor económico y social. Es por ello que se dice que el agua regenerada ofrece beneficios tanto a usuarios urbanos como a agricultores y, por supuesto, al medio ambiente.

Con excepción del uso para alimentación humana y para el ganado, un agua que ha sido convenientemente depurada puede destinarse prácticamente a cualquier fin. Es cierto que su calidad final no siempre será igual, sino que dependerá del tratamiento al que haya sido sometida. El coste de obtención suele ser proporcional a la calidad final obtenida, lo que dependerá también de las características iniciales que tenía el agua residual de partida.

1 Este trabajo ha sido financiado en parte por la Fundación Séneca-Agencia de la Ciencia y la Tecnología, con cargo al Proyecto: El papel de los mercados del agua en la gestión integrada de los recursos hídricos en las cuencas deficitarias. (Ref. 19325/PI/15).

2 Molinos et al. 2012.

3 Aquarec, 2006.

4 FAO, 2013.

5 Hernández et al. 2006.

6 Melgarejo, 2009.

7 Morugán-Coronado, 2011.

Tabla 1. Resumen de algunas experiencias realizadas con aguas residuales

Año	Lugar	Destino-Uso
1912-1985	Golden Gate, California (USA)	Riego de jardines y abastecimiento lagos artificiales
1926	Gran Cañón, Arizona (USA)	Cisternas wc, riego de parques y jardines
1929	Pomona, California (USA)	Riego de parques y jardines
1942	Baltimore, Maryland (USA)	Enfriamiento de metales y acero
1960	Colorado (USA)	Riego de campos de golf
1961	Irvine Ranch, California (USA)	En riegos, industria y cisterna wc
1962	La Soukra (Túnez)	Riego de cultivos de naranjos
1969	Wagga Wagga (Australia)	Riego de parques, zonas deportivas y cementerios
1970	Enstra (Sudáfrica)	Procesos de fabricación del papel
1976	Orange Water District, California (USA)	Recarga de acuíferos
1977	Dan Project, Tel-Aviv (Israel)	Recarga de acuíferos y riego agrícola
1984	Gobierno de Tokio (Japón)	Cisterna wc
1985	El Paso, Texas (USA)	Recarga de acuíferos
1987	Monterey, California (USA)	Riego de cultivos
1989	Shoalhaven Heads (Australia)	Riego de parques y jardines, Cisterna wc
1989	Gerona (España)	Riego de campos de golf
1999	Willunga Basin, Adelaide (Australia)	Riego de cultivos de uvas

Fuente: Morugán Coronado, 2011, en base a un trabajo de Keremane, 2010.

Gracias a las mejoras tecnológicas implementadas en las últimas décadas y contando con las infraestructuras que posibiliten el intercambio real de derechos de aguas entre las partes involucradas, hoy por hoy son muchos los posibles usos del agua regenerada. Los principales y que se dan en diversas partes del mundo son<sup>8</sup>: agricultura (semilleros y cultivos), uso urbano no potable (lavaderos, sanitarios, baldeo de las calles, limpieza, jardines, parques, aire acondicionado, etc.), medioambiental (lucha contra incendios forestales, caudales ecológicos, recarga de zonas húmedas, recarga artificial de acuíferos, control de la intrusión marina, etc.), industria y construcción (refrigeración, alimentación de calderas, mezcla de materiales, limpieza de maquinaria) y otros muy diversos (acuicultura, fusión de nieve, limpieza de ganado, eliminación de polvo, etc.).

Algunas experiencias con aguas residuales<sup>9</sup>, según su principal destino, y de las que se tiene constancia desde principios del siglo pasado son los recopilados en la tabla 1.

Algunos de estos usos no están exentos de cierta controversia y tienen dificultades para su aceptación social. Se insiste en los posibles problemas de salud pública (transmisión de patógenos) y otras limitaciones atribuyéndoles un efecto negativo sobre la calidad de los cultivos. Ante el grupo de detractores, una correcta gestión, responsabilidad y un mayor conocimiento científico y técnico es lo que favorecerá una mayor implantación, una utilidad más eficiente y mejor aceptación social.

El uso de estas aguas está muy regulado y exige el cumplimiento de la normativa al respecto. En primer lugar, se nombra la Directiva del Consejo Europeo (1991/271/CEE) de mayo de

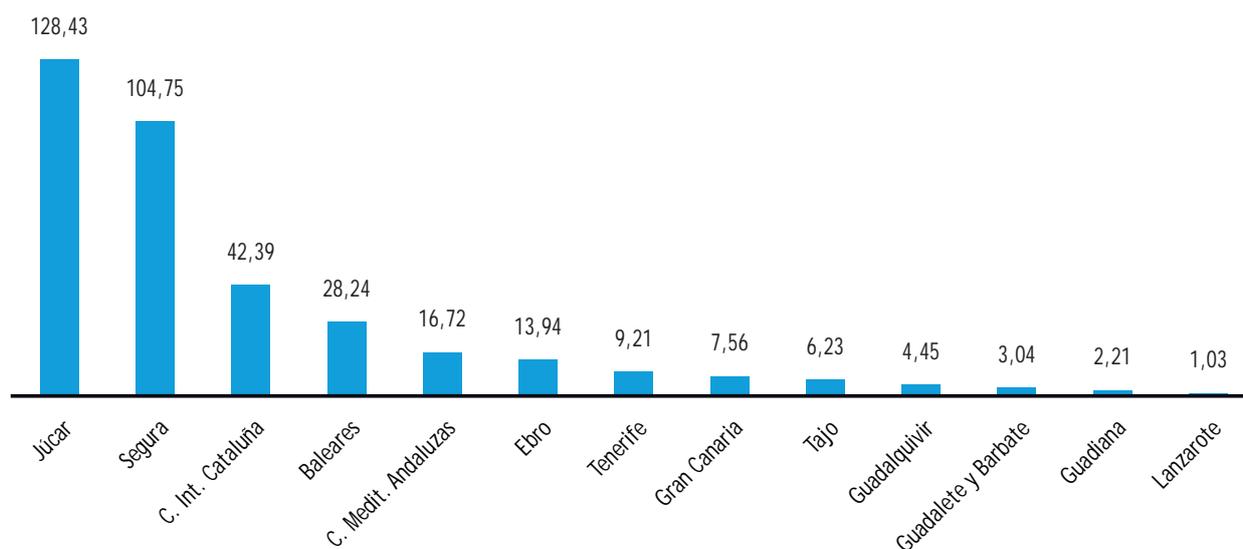
1991, que legislaba sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Esta norma fue transpuesta al ordenamiento jurídico del Estado español por el real decreto ley 11/95 y real decreto 509/96, con los que se intenta dar cumplimiento a la norma legal europea, e impulsar el tratamiento correcto de las aguas residuales urbanas antes de su vertido. Más recientes son la Directiva comunitaria 2000/60/CE del 23 de octubre de 2000, denominada Directiva Marco del Agua, que recoge de manera muy amplia los aspectos que condicionan la protección y gestión de las aguas. Posteriormente el real decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, se concentra de forma específica en los usos permitidos y criterios de calidad que se exigen en la reutilización de las aguas depuradas. En el caso del agua destinada a fines agrarios se encuentran en el nivel segundo de exigencias en calidad, medida en parámetros como turbidez, concentración máxima de *Echerichia coli*, etc., y solo por debajo de las aguas destinadas al uso urbano, donde los criterios son más exigentes.

La necesidad hace que el mayor número de sistemas o plantas depuradoras (llamadas también Estaciones de Depuración de Aguas Residuales, o EDAR) en nuestro país se hallen en el arco mediterráneo, Andalucía y los archipiélagos de Baleares y Canarias. En estas zonas coexiste una alta demanda urbana y/o agrícola con el agotamiento de las fuentes tradicionales de obtención de agua, debido a la salinización de los acuíferos o las escasas precipitaciones. Madrid, por su importante población, también requiere de un extenso servicio en plantas depuradoras.

En el gráfico 1 se representa el volumen de agua que se reutiliza en cada demarcación hidrográfica, destacando sobre todas las demás la demarcación del Júcar y del Segura, así como otras áreas mediterráneas. Es evidente que ante la falta de disponibilidad de agua solo cabe utilizar fuentes alternativas de suministro.

<sup>8</sup> Asano, 1991.

<sup>9</sup> Morugán-Coronado, 2011.

Gráfico 1. Volumen de agua reutilizada según demarcación hidrográfica (en Hm<sup>3</sup>/año). Datos para 2007


Fuente: CEDEX, 2008.

La práctica de la depuración de aguas residuales en España no ha dejado de crecer en las últimas décadas, y desde la década de los 70 se trata de una tecnología que se ha extendido a todos los núcleos poblacionales. Solo en el periodo 2000-2005 el volumen de agua reutilizada aumentó un 69%<sup>10</sup>, evidencia de que la sociedad cada día es más consciente del esfuerzo que debe hacer por regular sus vertidos, a la par que se encuentran cada día más fines para las aguas regeneradas.

#### LA IMPORTANCIA DEL RIEGO PARA LA ACTIVIDAD AGRARIA

La agricultura es una gran consumidora de agua. Con el riego se incrementa el aprovechamiento potencial de los suelos y se facilita que las plantas utilicen plenamente los demás factores de producción, mejorando así sus rendimientos. Los regadíos se han vuelto un factor esencial para las economías rurales y con ellos se ayuda a la supervivencia de gran parte de la población mundial.

Al final del siglo XX, la agricultura empleaba por término medio el 70% de toda el agua utilizada en el mundo. La FAO estima que el agua destinada al riego aumentará aún un 14% para 2030, sin embargo, no puede incrementarse al ritmo insostenible que se ha dado en las décadas finales del siglo XX.

En el caso de España la transformación de secanos en regadío ha sido durante muchos años la gran esperanza de la agricultura española. Las políticas hidrológicas del siglo XX impulsaron la financiación y la ejecución de grandes obras públicas, pasándose del millón de hectáreas tradicionalmente regadas en España a los 3,5-3,7 millones de hectáreas actuales.

Esta intensificación fue mayor desde 1986, cuando España se incorpora a la Unión Europea. La modernización de las estructuras agrarias en general y del riego en particular, incrementó notablemente la capacidad de producción, facilitando una gran

diversificación de cultivos, en la que el clima mediterráneo es un aliado clave. Las cifras oficiales hablan de que entre 1986 y 2009 se produjo un aumento de la superficie regada cercano a las setecientas mil hectáreas, es decir un crecimiento del 22%<sup>11</sup>.

Según afirma el Ministerio de Agricultura, el regadío es una pieza fundamental del sistema agroalimentario español, ya que aporta más del cincuenta por ciento de la producción final agraria, a pesar de que las tierras regadas solo ocupan el 13% de la superficie agrícola útil. En término medio una hectárea de regadío produce unas seis veces lo que una hectárea de secano, y genera una renta cuatro veces superior<sup>12</sup>.

Pero el regadío también presenta grandes contradicciones. Esta actividad exige disponer de costosas infraestructuras que deben ser renovadas y requieren continuas inversiones para su mantenimiento. Por otra parte, estas infraestructuras han hecho del riego el gran consumidor de agua (aproximadamente el sesenta y ocho por ciento del consumo total), generando polémica y recelos entre los diferentes grupos sociales, ya que surge una gran competencia por un recurso natural realmente escaso en nuestras latitudes y al que la industria, las actividades turísticas y de ocio, la construcción, etc., también quieren acceder.

El regadío español consume 24.500 Hm<sup>3</sup> de agua al año, de las que dos terceras partes proceden de aguas superficiales y una tercera parte de aguas subterráneas. Otras fuentes menos convencionales, como las aguas regeneradas o las aguas desaladas, son todavía poco frecuentes. Dado que la presión del regadío sobre el consumo de recursos hídricos ya es excesiva, sobre todo en parte de la España central y las zonas mediterráneas, donde más desequilibrio hay entre oferta y demanda de agua, se hace patente que deban encontrarse alternativas a las fuentes tradicionales si se pretende mantener estos niveles de consumo.

<sup>11</sup> FNCA, 2016.

<sup>12</sup> MAGRAMA, 2016.

<sup>10</sup> INE, 2008.

En cualquier caso, no está de más recordar que las mejoras tecnológicas que se están generalizando en los regadíos, permiten regar un mayor número de hectáreas con mucha menos cantidad de agua. Es el caso del riego por goteo, que se está extendiendo de manera mayoritaria, y en la mayoría de los casos permite sustituir con gran eficiencia a los sistemas de gravedad e inundación, que son modalidades de riego que requieren de volúmenes mucho mayores de agua.

El reconocimiento social que siempre ha tenido el regadío ha venido ligado a las ventajas del desarrollo económico que ha propiciado. Pero tras un crecimiento descontrolado del número de pozos irregulares y la expansión del riego en zonas con un fuerte déficit de agua, se constata un aumento de la contaminación difusa por nitratos y a la par una disminución en la apreciación social de la población sobre esta modalidad de agricultura. En este momento las administraciones y regantes deben propiciar una nueva cultura del agua. Los objetivos ambientales tan reseñados por la DMA, o Directiva Marco del Agua (2000/60/CE), implican una estricta regulación de los nuevos regadíos, la reducción del consumo de agua y una mejora evidente de la eficiencia de las infraestructuras y de los sistemas de riego.

#### POSIBILIDADES QUE OFRECEN LAS AGUAS REGENERADAS EN AGRICULTURA

Si durante años las necesidades de agua en la agricultura se cubrían plenamente con aguas subterráneas y superficiales, en la actualidad esto no es siempre posible. La disponibilidad de aguas subterráneas hoy por hoy es mucho menor, debido a la sobreexplotación continuada de muchos acuíferos<sup>13</sup>. Tampoco es siempre posible conseguirla por almacenamiento, por lo que surge la necesidad de buscar nuevas alternativas.

A lo anterior se añade otro problema, y es la mala calidad de los recursos tradicionales, ya que las aguas están salinizadas o contaminadas por fertilizantes y otros productos químicos. La posibilidad de utilizar el agua depurada como parte del ciclo hidrológico es la evidencia de la continua adaptación que realiza el ser humano con el medio ambiente.

Encontramos antecedentes de aplicación de aguas residuales a terrenos agrícolas desde la antigüedad, aprovechando su valor fertilizante (ya lo hacían griegos y romanos) o como estrategia para la eliminación de contaminantes antes del vertido a los ríos (referencias hechas en China, Inglaterra o Alemania desde el s. XVI). No obstante, es durante el siglo XX y en el presente cuando más se ha avanzado en este sistema alternativo de depuración. Básicamente los objetivos han sido regular los recursos hídricos en zonas deficitarias, a la vez que favorecer la resolución de ciertos problemas medioambientales, como ir creando barreras contra la intrusión marina.

En agricultura el problema de escasez de agua viene parejo al de la pérdida de la calidad del suelo. La escasez del agua conlleva la salinización de los terrenos y puede generar desertificación a largo plazo. La falta de precipitaciones disminuye los lavados naturales incrementando la concentración de sales en el

suelo y afectando al rendimiento de los cultivos. Por su parte, los cultivos y su modelo de gestión también tienen sus efectos sobre el suelo: afectan a sus propiedades físicas y químicas, al contenido original de materia orgánica, modifican la estructura, estabilidad, capacidad de amortiguación y retención de agua, la actividad biológica y el intercambio de nutrientes.

El uso de agua regenerada para el riego de los cultivos puede tener un efecto directo en la fertilidad y productividad del suelo, en principio se prevé un impacto positivo, al ser estas aguas ricas en nutrientes y materia orgánica. Sin embargo, un riego prolongado con aguas regeneradas podría generar determinados problemas ambientales, lo que obliga a aplicar un estricto manejo de este tipo de aguas y frecuentes controles para evitar efectos nocivos.

Entre todos los efectos directos y beneficiosos de utilizar el agua depurada para el riego, hay que mencionar la reducción del uso de fertilizantes y el incremento de la productividad agraria en las tierras áridas propias de zonas de baja pluviometría. Por ello se dice que el uso de aguas depuradas en la agricultura es una opción de futuro al incrementar la viabilidad técnica y económica de los cultivos en muchas zonas donde la agricultura es una actividad principal pero que sin embargo dispone de recursos hidrológicos escasos<sup>14</sup>.

Por otro lado, sigue siendo preciso superar las dificultades de su aceptación social, para lo que es imprescindible una gestión adecuada<sup>15</sup>. Los inconvenientes se centran en dos aspectos, por una parte en el coste, no solo del recurso en sí sino de toda la infraestructura que se requiere para poder ser llevado a cabo, y por otra la respuesta del cultivo, ya que todas las especies no se adaptan por igual a este suministro. Por ejemplo, se analizan los efectos de utilizar las aguas recicladas en cultivos leñosos<sup>16</sup> y en cultivos hortícolas<sup>17</sup>.

Si bien en la práctica se constata que el uso de aguas depuradas es limitado en agricultura básicamente por el precio<sup>18</sup>, el garantizar unos determinados suministros hidrológicos también tiene beneficios medioambientales<sup>19</sup>. Otros estudios no alaban las bondades del agua regenerada sino que remarcan más sus inconvenientes, especialmente nombran su elevado precio (debido a su coste de obtención y transporte), el que necesiten ser mezcladas con otras aguas (algo que dificulta su gestión) y sobre todo inciden en los riesgos en cuanto a la posible toxicidad, sobre todo de algunos elementos químicos.

#### DATOS SOBRE LA APLICACIÓN DEL AGUA REGENERADA EN AGRICULTURA

Según información publicada por el Ministerio de Agricultura<sup>20</sup>, el principal destino del agua depurada es la actividad agraria

13 Ibáñez et al. 2008. Van Camp et al. 2010.

14 Melián, 2005. Navarro Caballero, 2010. Nicolás et al. 2011.

15 Candela et al. 2007; Carr et al. 2011.

16 Alcón et al. 2012a.

17 López-Cunquejo, 2001.

18 Montesinos, 2004.

19 Alcón et al. 2012b.

20 Puig, 2012.

(sobre el 71%), mientras que el uso menos representativo es el urbano, al que se dirigiría solo el 4% del volumen de agua regenerada. Las previsiones indican que el principal incremento será para un uso ambiental (el que se estima consumirá del 17,7% en 2006 al 21,9% en el año 2021), el industrial (que pasará del 0,3% al 12% en ese mismo periodo) y el urbano (que pasará del 4% al 9,1%). En esa evolución se cree que proporcionalmente mermarán las cantidades destinadas a agricultura y actividades de ocio recreativo.

Según el informe CEDEX<sup>21</sup> de un volumen de aguas regeneradas anual de 261 Hm<sup>3</sup>/año, el 70% fue destinado a actividades agrarias. Las Comunidades Autónomas que mayores volúmenes reutilizan para el riego agrícola son: Valencia (113,5 Hm<sup>3</sup>/año) y Murcia (83,5 Hm<sup>3</sup>/año). Solo estas dos Comunidades Autónomas acaparan el 75,41% de las aguas reutilizadas para un fin agrario, o lo que es igual, el 53,53% del total del caudal regenerado en España el año analizado.

Como es lógico las Comunidades Autónomas con mayor déficit de agua y que a su vez dependen de una agricultura intensiva y muy productiva, son las que más invierten en mecanismos para tener fuentes alternativas de agua que complementen a las tradicionales, como es el caso de las aguas depuradas.

#### VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL USO DEL AGUA REGENERADA EN AGRICULTURA

Con la reutilización de aguas residuales que han sido depuradas, no solo se ayuda a paliar los problemas de escasez de agua en las zonas áridas y semiáridas, también se resuelve un problema medioambiental. Ocurre con frecuencia que el agua residual tratada resulta tener una mejor calidad que el agua original de la zona, adecuándose de mejor manera a su uso en riego<sup>22</sup>. Esto se observa al comparar la analítica de un agua depurada con la de agua de pozo. En general los parámetros claves están controlados en ambos, e indican que las dos son aptas para el riego, sobre todo si nos referimos a salinidad, elementos potencialmente fitotóxicos o bacteriológicos. Pero la realidad es que en zonas con acuíferos sobreexplotados los niveles de boro y sodio son menores si se utiliza un agua que ha sido depurada. Se podría decir, por lo tanto, que la depuración mejora la calidad de unos recursos hidrológicos que están naturalmente deteriorados.

Además, en el caso de que se emplee en el riego de los cultivos un agua regenerada que contenga un determinado nivel de nitratos, esto podrá suponer un ahorro en el posterior uso de fertilizantes. Se trata de aprovechar dichas aguas de modo que se reduzcan los *inputs* agrícolas, por lo que se producirá un efecto medioambiental positivo (menor aporte de nitratos, menor por lo tanto concentración de nitratos en el agua que percola o de escorrentía y menos riesgo de contaminación de los acuíferos) y un efecto económico sobre la renta del agricultor (al reducirse el coste de los abonos, que suele ser uno de los principales insumos de los cultivos).

Los diversos estudios realizados sobre la reutilización del agua depurada en la agricultura mencionan numerosas ventajas de este uso, siendo algunas de las principales las siguientes:

- Se puede tener una mayor garantía en el suministro, el cual puede ser más constante y seguro, ya que será posible disponer del mismo incluso en los periodos de sequía.
- Representa un aporte continuo de nutrientes para las plantas.
- Disminuye los gastos de fertilización como consecuencia del aporte de micronutrientes en el agua residual (básicamente nitrógeno, fósforo y potasio).
- Contribuye a la conservación de recursos hídricos, permitiendo reservar el agua original para otros fines y favorecer el equilibrio ecológico.
- Aunque no ocurre con el resto de alternativas de agua con las que se podría comparar, generalmente el agua regenerada puede representar un coste económico menor al de otras fuentes convencionales.
- Aplicadas de forma correcta, son aguas que contribuyen a la regeneración de suelos ubicados en zonas de baja pluviometría, que en el caso español podrían ser toda la cuenca mediterránea, y garantiza la continuidad de una actividad tan importante como la agraria.

En cuanto a sus inconvenientes, reticencias o desventajas por las que estas aguas no se aplican de manera más mayoritaria, destacan:

- Los agricultores han de dar su apoyo explícito para que puedan ser usadas. Su aceptación dependerá por lo tanto del impacto neto en la renta de las explotaciones y las opciones que les ofrezca el resto de alternativas hidrológicas.
- Uno de los principales miedos son los posibles efectos sobre la salud debido a su contenido microbiológico. Surgen dudas sobre la posible transmisión de enfermedades infecto-contagiosas (bacterias y virus).
- Exigen unas infraestructuras convenientemente diseñadas para que sea factible el tránsito del agua desde las EDAR a las parcelas de riego. Este transporte se convierte con frecuencia en uno de los más difíciles de gestionar y que más encarece el proceso.
- También generan dudas sobre su capacidad fertilizante. Una carga excesiva de N, P y K puede provocar efectos nocivos sobre el terreno, las plantas y sobre el resto de aguas subterráneas.
- Su uso requiere de una evaluación previa de diversos parámetros, que hay que saber gestionar: sólidos en suspensión, pH, conductividad, etc. Por ejemplo, si la materia orgánica que tiene el agua es en principio biodegradable, pero no dispone de suficiente oxígeno, no se degradará adecuadamente y dará lugar a condiciones sépticas. Por su parte, una excesiva conductividad por exceso de salinidad origina problemas de permeabilidad en el suelo, y la concentración de ciertos iones Na, Ca, Mg, Cl, o B provocan diversos daños a los cultivos. El pH del agua, por su parte, puede afectar a la solubilidad de los metales y alterar el equilibrio del suelo.
- Puede darse la presencia de metales pesados (como cadmio, mercurio o zinc) que tienen claros efectos tóxicos para los cultivos y la salud.

<sup>21</sup> CEDEX, 2008.

<sup>22</sup> López-Cuquejo, 2001.

- La simple presencia de sólidos en suspensión, lo que se percibe como turbidez, provoca deterioros en los sistemas de riego localizado, por obturaciones. Además, se pueden formar pequeños depósitos de lodos que generen en el suelo condiciones anaeróbicas.

#### REQUERIMIENTOS PARA LA UTILIZACIÓN DEL AGUA REGENERADA EN AGRICULTURA

Si la intención es que una zona agraria emplee el agua regenerada como fuente de suministro para el riego, hay una serie de factores que deben ser tenidos en cuenta.

Lo primero es que las aguas residuales depuradas deben cumplir las normas de calidad físico-química que junto a otras características sanitarias o microbiológicas vienen definidas en la propia legislación, actualmente el real decreto 1620/2007. Dichas condiciones de calidad están diferenciadas según los usos a los que se destina el agua, estando el uso agrario en el segundo lugar en el nivel de exigencias. Los parámetros que se controlan son: la presencia o no de nematodos intestinales y de *Escherichia coli* en el agua, el grado de turbidez, los sólidos en suspensión y la cantidad de nitrógeno y fósforo total. Así mismo, y según el uso, procede realizar un control de *Legionella* o *Salmonella*.

Otro de los requisitos es disponer de la infraestructura necesaria tanto para el tratamiento que necesitan las aguas para ser regeneradas, como para el transporte e intercambio de las mismas y poder con ello reutilizarlas. Se necesitarán, entre otras, conducciones, instalaciones de bombeo, almacenaje, etc., esto en su conjunto supone una gran inversión en elementos inmovilizados que se deben poder amortizar. Sin duda, el lugar donde se ubique la EDAR y cómo se defina el plan de uso, deben ser bien planificados para evitar que los costes finales hagan insostenible el proyecto.

El utilizar agua depurada pasa por garantizar tanto la conservación de la fertilidad del suelo, es decir sus características orgánicas e hidrogeológicas, como la necesidad de obtener producciones con las máximas garantías higiénicas y sanitarias, y es por ello que su manejo y posterior aplicación debe realizarse de modo controlado.

También influyen las características físico-químicas y edáficas del suelo. Por otra parte, serán muy relevantes las características del sistema de riego (si es por gravedad, localizado, etc.). En principio, y tal como se indica en la guía para aplicar correctamente el real decreto 1620/2007, el riego localizado es el método más adecuado para aplicar este tipo de aguas, ya que con otros como el riego por inundación no se podría evitar que se extiendan por otra superficie donde no son útiles. Hay que minimizar el uso de elementos que aumenten la evaporación, escorrentía o infiltración (por ejemplo, los reguladores de presión, goteros autocompensantes, etc.). El riego debe de estar automatizado para evitar el encharcamiento y la escorrentía. Finalmente es muy importante que las personas que manipulan de forma directa este tipo de suministro tomen las precauciones pertinentes para evitar posibles riesgos sanitarios.

En este mismo sentido otras buenas prácticas indican que hay que señalar debidamente las tuberías para que en caso de avería puedan ser pronto localizadas. Asimismo, se debe evitar regar con agua regenerada a menos de dos semanas de la recolección para que el posible contacto del agua con los frutos no repercuta en la calidad final y comercial de la cosecha.

Respecto al tipo de cultivo es muy limitante porque condiciona la frecuencia del riego y la cantidad de agua que debe ser empleada. Cada especie vegetal muestra una tolerancia distinta al contenido en sales y asimila de forma desigual por ejemplo el nitrógeno o el fósforo (que son dos nutrientes muy frecuentes en las aguas regeneradas). Igualmente va a ser muy importante conocer el valor económico que pueda tener la producción, ya que determinará una elección u otra del suministro hídrico.

En la planificación de una infraestructura hidrológica mediante el suministro de agua depurada, otra de las principales dificultades es poder equilibrar las demandas potenciales con los volúmenes reales. Por la parte de la demanda para los cultivos, esta suele ser muy estacional, y si está altamente concentrada quizás no sea posible satisfacerla.

Finalmente, la viabilidad de un proyecto para la reutilización de las aguas residuales pasa por obtener el apoyo de los agricultores, y esto significa reconocer su innata resistencia a los cambios y su reticencia a la sustitución de los recursos tradicionales por otros nuevos, que en este caso sería utilizar como suministro de agua de riego un agua regenerada. En este sentido se hace necesaria una correcta información inicial y a ser posible una formación práctica a los futuros usuarios. Sin duda conocer cómo debe hacerse un buen manejo de las mismas es lo que hará que se consolide el uso del agua regenerada en la agricultura, y con ello pasar de ser un recurso minoritario y no convencional, a convertirse en uno estratégico y la solución para la agricultura de regadío en muchas comarcas agrarias españolas.

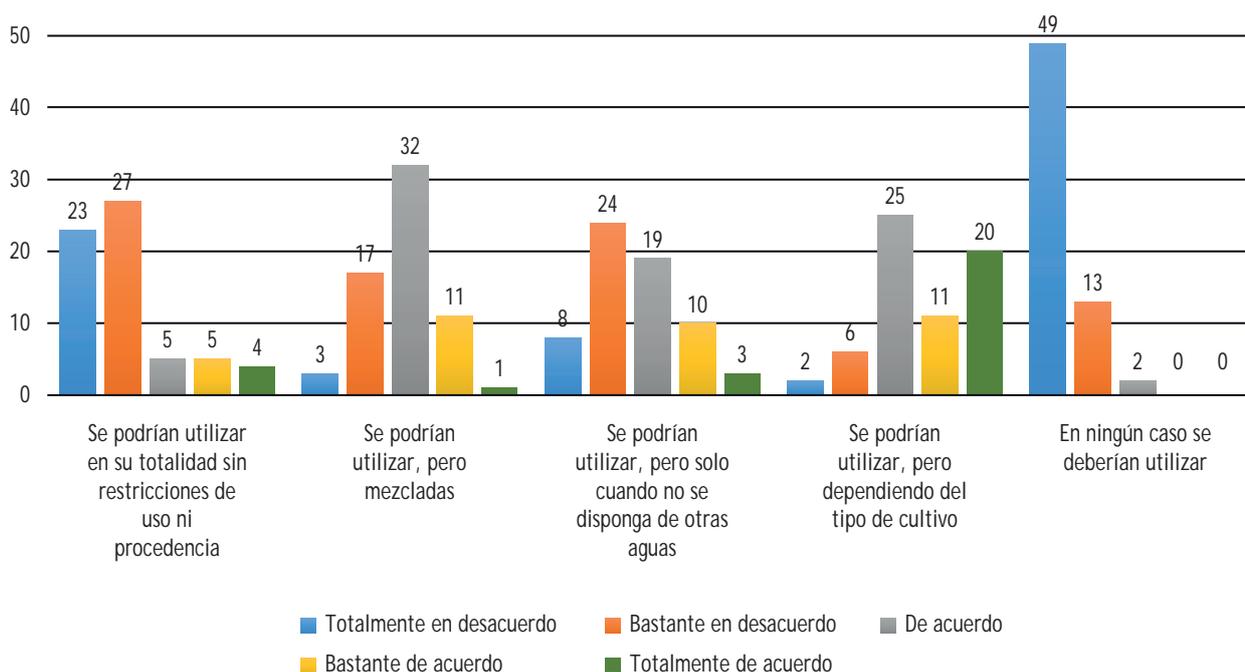
#### POSIBLES PROBLEMAS DERIVADOS DEL USO DE AGUA DEPURADA EN EL RIEGO

Los principales aspectos a considerar en la evaluación agronómica del uso de este tipo de aguas en el riego serían: salinidad, macronutrientes, micronutrientes, metales pesados, pH, sólidos en suspensión, cloro residual, etc. Por una parte, si tienen una excesiva proporción de iones Na, Ca, Mg, Cl o B, se pueden producir daños a los cultivos y provocar problemas de permeabilidad en el suelo. El contenido de minerales como nitrógeno, fósforo, potasio y ciertos microelementos, reduce las necesidades de fertilización<sup>23</sup> pero todos ellos son igual de buenos en una proporción correcta como malos si su concentración es excesiva.

Por su parte, los sólidos en suspensión que se originan por la precipitación de elementos químicos, presencia de algas, etc., pueden obstruir los goteros y otro tipo de emisores del riego localizado. Los sólidos en suspensión también taponan los poros del suelo, reduciendo la aireación y las vías por las que penetra

23 Asano et al. 1991.

Gráfico 2. Recomendaciones de utilización de aguas depuradas para uso agrícola



Fuente: Costa y Melián, 2015.

el agua. Una buena alternativa a estos problemas es someter el agua residual a un tratamiento secundario, lo que reduciría considerablemente los sólidos en suspensión y, además limpiar con cierta regularidad las tuberías, utilizar filtros y cloro para prevenir la obturación de los goteros.

#### ACEPTACIÓN DEL USO DE AGUA DEPURADA EN AGRICULTURA

De forma global los posibles riesgos de seguridad alimentaria son los que más utilizan los detractores del uso de agua regenerada en la agricultura, haciendo que haya una percepción de alguna manera negativa, percepción que dificulta la expansión de esta modalidad de agua. Un estudio cualitativo<sup>24</sup> con el que se consulta a expertos para sondear el grado de aceptación del uso del agua depurada en la agricultura, muestra las posibilidades de aplicación en el sureste español. Este estudio se fundamenta en la experiencia y opinión de: agricultores regantes, que son los usuarios directos del agua, técnicos y otros responsables de las Comunidades de Regantes y Juzgados Privativos del Agua, gestores de empresas relacionadas con el agua, investigadores, profesores de universidad y funcionarios vinculados al ámbito hidrológico. Se trataba, por lo tanto, de sondear la aceptación por parte de los agentes que podrían utilizar directamente este tipo de aguas o bien intervenir en la difusión de esta tecnología.

La encuesta, realizada en 2013, recopiló información aportada por 65 expertos. Sus opiniones fueron clasificadas mediante una escala Likert tabulada de 1 a 5. Los aspectos analizados responden a dos preguntas claves: perspectivas de uso de aguas

depuradas en agricultura y principales inconvenientes del uso del agua depurada en agricultura.

En lo relativo a las perspectivas se plantean cinco opciones desde la más amplia (utilizar este tipo de agua sin restricciones) hasta la más restrictiva (no utilizar en ningún caso) —gráfico 2—. Los resultados indican que no hay un rechazo explícito a esta fuente de agua y tampoco se condiciona su uso al mero hecho de no disponer de otro tipo de agua, sino que ven asumible su utilización. Sin embargo, los entrevistados inciden en que se apliquen sobre todo mezcladas con otras aguas y que su uso se condicione al tipo de cultivo al que se refieran.

En lo relativo a los inconvenientes que ven en las mismas, se señala el riesgo de toxicidad (que es el aspecto en el que hay un mayor consenso) pero también se apuntan los problemas que podrían causar en las instalaciones de riego por goteo, la necesidad de bombearlas desde depuradoras (con el consiguiente incremento de coste) y la necesidad de almacenamiento en balsas por la discontinuidad del caudal disponible —gráfico 3—.

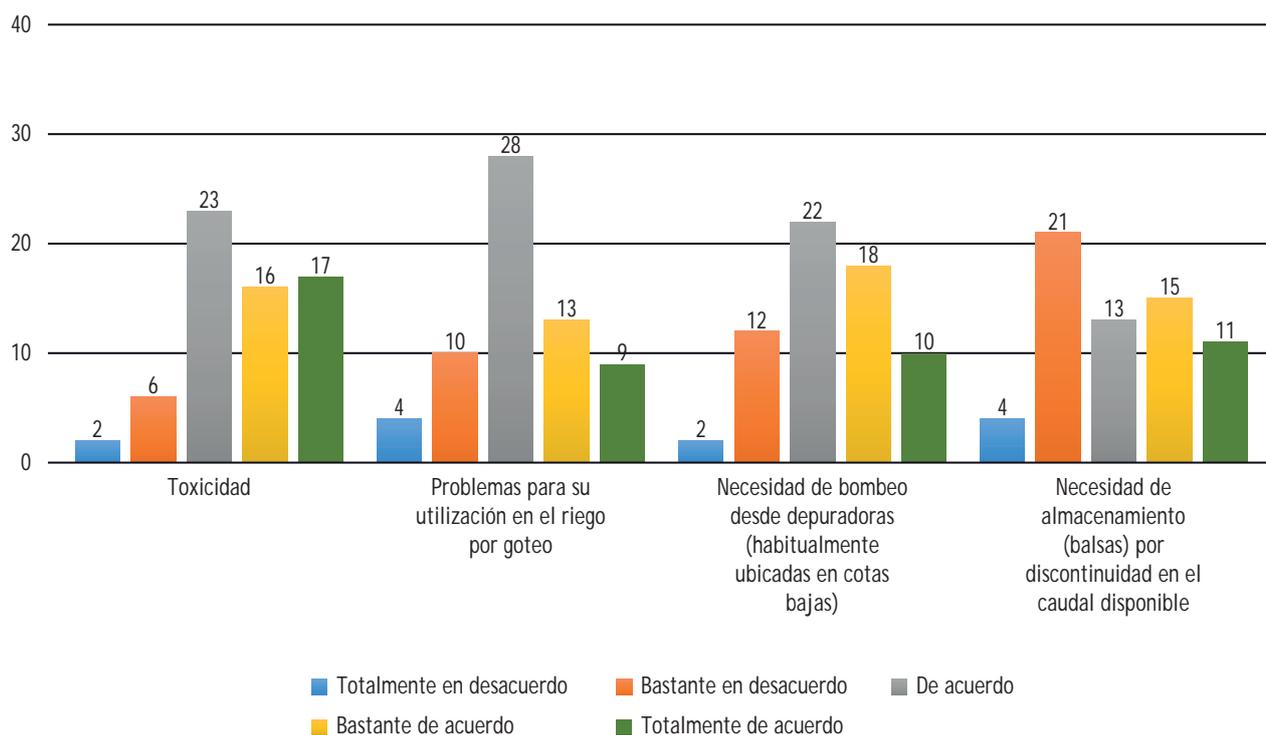
#### UTILIZACIÓN DE LOS LODOS DE LAS DEPURADORAS EN AGRICULTURA

Además del agua regenerada, las depuradoras producen lodos de depuración, un subproducto derivado de los propios tratamientos de las aguas residuales. Estos lodos son ricos en materia orgánica y nutrientes, por lo que pueden ser utilizados como enmienda orgánica en suelos pobres.

El uso de lodos de depuración en la actividad agraria se regula a través del real decreto 1310/1990, en el que se establece los requisitos y cualidades físico-químicas que deben cumplir los lodos para su utilización. Los que incumplan los límites estable-

<sup>24</sup> Costa, 2015.

Gráfico 3. Principales inconvenientes del uso de agua depurada



Fuente: Costa y Melián, 2015.

cidos también se utilizan, pero en este caso se les da un secado térmico y se destinan a usos energéticos.

Según EPSAR<sup>25</sup> 2015, organismo que sirve de coordinación entre las distintas EDAR de la Comunidad Valenciana, en esta región se produjeron en 2014 un total de 360.000 t de lodo, una cifra que en el año 2005 llegó a superar las 500.000 t. Dichos lodos se distribuyeron para un uso agrario (un 83% del total se aplicó directamente al terreno y un 5% previamente se compostó y luego fue aplicado), distribuyéndose por una extensión total de 14.139 ha, a las que de media se aplicó 21,1 t de materia húmeda por hectárea. El resto, el otro 12% del total, se destinó a los hornos de cementera.

Los lodos, por lo tanto, hay que valorarlos como un resultado más del proceso de regeneración de las aguas residuales y no hay que verlos como un problema, sino como una valiosa fuente de materia orgánica y nutrientes para el campo.

#### DATOS PRÁCTICOS SOBRE EL USO DEL AGUA REGENERADA EN AGRICULTURA

Para finalizar esta parte sobre el uso del agua regenerada en agricultura se comentan algunas experiencias prácticas con las que se trata de conocer desde el punto de vista científico-técnico los efectos de este uso. Algunas investigaciones<sup>26</sup> se han centrado en hacer un seguimiento sobre los efectos en el suelo agrario a corto y medio plazo. Así, tras un ensayo de cuatro años en tres

zonas de la provincia de Alicante, muestra que no existen diferencias importantes entre los suelos regados con aguas residuales depuradas y aquellos regados con aguas convencionales, ya que solo se encontraron ligeras variaciones en algunas de las propiedades del suelo estudiadas (como una ligera modificación puntual de la conductividad eléctrica) pero no había cambios respecto a las actividades enzimáticas.

En cuanto a otros parámetros relacionados con la conservación, degradación, salinidad, fertilidad y contaminación del suelo, así como sobre la productividad de un cultivo sometido a un riego con agua residual depurada, la citada investigación indicó que se encontraron aumentos puntuales de sodio asimilado y un aumento ligero de fósforo, mientras que no se apreció ningún cambio notable en el pH, ni en el calcio, nitrógeno, magnesio, cinc, cobre, manganeso, cadmio, plomo, cromo... Por lo tanto, no se percibió ninguna variación significativa en las propiedades del suelo. En las condiciones estudiadas se concluye que el uso de las aguas residuales para riego no altera las propiedades del suelo.

En otros trabajos<sup>27</sup> se revisan las distintas experiencias realizadas en campo. Así, en el Campo de Dalías (Almería), según señalaba en la década de los 90 el Plan de Ordenación del Territorio de la Comarca del Poniente Almeriense, gran parte de los volúmenes de agua depurada se destinarán a la agricultura intensiva, para campos de golf una vez pasada la campaña agrícola o para la infiltración en el terreno. El volumen inicial previsto para depurar y reutilizarse era de 10 Hm<sup>3</sup>, no siendo cifras significativas respecto al consumo total y el déficit hídrico que tiene la comarca, pero

<sup>25</sup> EPSAR, 2015.

<sup>26</sup> Morugán-Coronado, 2011.

<sup>27</sup> López-Cuquejo, 2001.

dado que era el inicio de esta tecnología se puede clasificar como una cifra interesante.

El estudio habla de destinar estas aguas a los cultivos hortícolas en invernadero (hortalizas y flores), atribuyendo a cada agricultor una dotación de 7.000 m<sup>3</sup>/ha y año, cantidad que podía incrementarse, a la par que lo haría su precio medio, con la intención de que los agricultores contuvieran el gasto. Los efectos obtenidos son bastante buenos, según menciona el autor, quien los resume diciendo que gracias al agua regenerada se ha conseguido que:

- Sea posible una alternativa de cultivos, ya que con los pozos originales de agua, muy salinizados, el tomate era casi la única verdura que podían cultivar.
- Los rendimientos de las cosechas han subido hasta duplicarse en el tomate, desde que se utilizan aguas depuradas, las cuales tienen mejor calidad que muchas de pozos tradicionales. Especialmente tienen mucha menos concentración de boro que las aguas naturales, y al venir con cierta riqueza de nitrógeno y fósforo suponen además un ahorro en fertilizantes.
- Los agricultores pueden programar sus riegos. Al ser la demanda conocida y controlada por la Comunidad de Regantes, agiliza notablemente la gestión y mejora la calidad del trabajo del agricultor.
- Finalmente, el agua ahora llega para todos los usuarios, evitando los conflictos surgidos en una zona muy árida donde el agua es un factor muy limitante y apenas hay venta de caudales de pozos particulares.

También señala los inconvenientes detectados, que son los ya mencionados de forma genérica, y no se aprecian grandes problemas, siendo quizás la presencia de sólidos en suspensión lo que requiere de una mayor atención en la gestión.

Finalmente, y dado que junto a las reticencias por posibles riesgos sanitarios los agricultores parecen condicionar su uso al precio que se ofrezcan las aguas regeneradas, hay cifras —relativamente recientes— que informan de este dato. Por ejemplo, las estadísticas oficiales del INE señalan para 2013 como coste unitario del saneamiento de aguas un dato global a nivel nacional de 0,70 euros/m<sup>3</sup>. Se trata de una cifra muy elevada si se compara con los precios medios que tiene el agua convencional de riego, los cuales en ocasiones son realmente simbólicos. Otras fuentes citan<sup>28</sup> el coste para el tratamiento de aguas residuales (incluyendo tratamiento terciario) que oscila entre 0,6 y 0,8 euros/m<sup>3</sup>, aunque especifica la gran variabilidad existente según los distintos tipos de tratamientos y las condiciones en que estos se dan. Este autor plantea una cuestión trascendental: la necesidad de repartir los costes de la regeneración y gestión del agua entre la totalidad del consumo. Parece una reflexión lógica ya que los efectos positivos que con ellas se consiguen son extrapolables a toda la sociedad.

28 Melgarejo, 2009.

#### ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES DEL AGUA REGENERADA

Junto con la agraria, la otra vertiente que hay que valorar del agua regenerada, es su utilidad para el medio ambiente. El mero hecho de que las aguas sean depuradas antes de ser vertidas de nuevo a la naturaleza ya es una cuestión muy relevante. El que de esa manera las aguas puedan ser reutilizadas para otros fines tiene a su vez grandes ventajas.

En los apartados anteriores ya se ha comentado cómo las aguas regeneradas son una alternativa o complemento al resto de suministros tradicionales. Dada la fuerte demanda agraria y urbana que existe sobre los recursos hídricos, el poder contar con una nueva fuente de agua permite sobre todo reducir la sobreexplotación de acuíferos. Este hecho es muy necesario, sobre todo si los acuíferos tienen dificultades para regenerarse naturalmente, o bien hay problemas de intrusión de aguas saladas, algo muy frecuente en zonas cercanas a la costa. Al utilizar aguas regeneradas se puede racionalizar la extracción de estas aguas subterráneas, dejando margen para que se recuperen de manera natural, algo ya de por sí difícil en las zonas de escasa precipitación. Sin duda, este podría ser su primer gran beneficio medioambiental, pero tiene otros.

Algunos de los beneficios ambientales de utilizar aguas regeneradas se desprenden de los propios usos que tienen. Por ejemplo, usadas para el riego con frecuencia permiten reducir la carga de fertilizantes en los cultivos, algo muy beneficioso para el medio ambiente: se consume menos productos químicos con el consiguiente ahorro energético que eso conlleva y se evita la acumulación excesiva de químicos sintéticos en los suelos y capas freáticas, una reducción del nivel de contaminación que redunda positivamente en toda la cadena trófica y en la salud de los seres vivos.

Los usos del agua regenerada con un fin ambiental están contemplados en el real decreto 1620/2007, donde también se especifican los requisitos en cuanto a los parámetros de calidad que se exigen para cada uno de ellos. En este reglamento se atribuye al agua regenerada los siguientes usos ambientales:

- Recarga indirecta de acuíferos, es decir aquella que se da cuando el agua entra en los mismos percolando a través del terreno.
- Recarga directa de acuíferos, cuando se producen inyecciones de agua específicamente para este fin.
- Riegos de bosques, zonas verdes y en silvicultura.
- Mantenimiento de humedales, contribución a caudales ecológicos mínimos y otros fines ambientales similares.

#### AGUAS REGENERADAS Y SU VINCULACIÓN CON LOS HUMEDALES

En 1975 entró en vigor la Convención de Ramsar sobre los Humedales de Importancia Internacional. En ella se reconoce la importancia de los humedales como prestadores de servicios ecológicos fundamentales, no solo porque son unos estupendos reguladores de los regímenes hídricos, también son una fuente de biodiversidad a nivel de especies y de ecosistemas. Son bienes naturales de gran valor económico, científico, cultural y recreativo, además de desempeñar un papel esencial en la adaptación

al cambio climático y para la atenuación de sus efectos más negativos.

El papel que realizan los humedales naturales son en su mayoría factibles de realizar por humedales artificiales, llamados también sistemas de lagunaje. Se trata de una serie de estanques o lagunas artificiales de agua depurada que en algunos casos llegan a cumplir una doble función. Por una parte, juegan un rol social y económico al actuar como reservorios de agua depurada que se puede usar en regadíos sin comprometer la calidad de los productos obtenidos. Por otra parte, además de facilitar el desarrollo de actividades de educación ambiental y de ocio en la naturaleza pueden tener una función ecológica, al funcionar como un humedal, en el que se ha desarrollado un ecosistema de agua dulce, con un entorno de diferentes hábitats de interés, y en los que es normal la presencia de diversas especies de aves<sup>29</sup>.

#### LOS FILTROS VERDES

Los filtros verdes son un sistema natural de depuración de aguas. Cuando se aporta un caudal controlado de agua de mala calidad sobre la superficie de un terreno, donde previamente se ha instalado una masa forestal o cultivo, esta hará de método natural para depurar el agua antes de que se reintegre de nuevo en la naturaleza. El agua se aplica al terreno mediante riego a manta u otro sistema de inundación. Con este sistema, a la vez que se favorece el crecimiento de especies vegetales, generalmente arbóreas y maderables, se produce una recarga artificial de los acuíferos, obteniéndose, por lo tanto, un beneficio económico y otro ambiental.

La depuración se realiza mediante la acción conjunta del suelo, los microorganismos y las plantas, en un proceso que pasa por una triple acción, ya que hay una filtración física, unos fenómenos químicos al haber intercambios iónicos, precipitación, etc., y procesos biológicos de degradación de la materia orgánica de las capas del terreno afectadas.

Este fenómeno de filtros verdes es lo que se está produciendo cuando se aplica un agua regenerada en el riego de un cultivo, como podría ser el arrozal de humedales tan emblemáticos como la Albufera de Valencia, las marismas de Doñana o el Delta del Ebro. Lo que está ocurriendo es que el propio cultivo del arroz funciona como un filtro verde, permitiendo que el agua vaya depurándose cada vez más según fluye de parcela en parcela.

#### DATOS PRÁCTICOS SOBRE EL USO DEL AGUA REGENERADA EN EL MEDIO AMBIENTE

Tal y como se ha realizado antes al hablar del uso del agua regenerada en agricultura, citamos algunas experiencias prácticas sobre la aplicación del agua regenerada con un fin medioambiental.

En un trabajo centrado en la Albufera de Valencia<sup>30</sup> —zona de incalculable valor ambiental que ha sufrido una severa degra-

dación producto de la presión del desarrollo urbano e industrial del área metropolitana de Valencia— se pone de manifiesto cómo el uso del agua depurada puede ayudar a recuperar el estado ecológico del lago, algo que, por otra parte, viene condicionado por la entrada en vigor de la propia DMA. Las características de la Albufera de Valencia eran a finales de los años 70 ya negativas como consecuencia de entradas excesivas de materia orgánica alóctona y nutrientes inorgánicos, originando un zooplancton reducido comparado con la gran cantidad de fitoplancton, y pobre fauna béntica. Para comenzar a revertir esta situación ha sido necesaria la reducción de las cargas de nutrientes (especialmente el fósforo) mediante actuaciones de saneamiento y depuración, así como asegurar los flujos de agua adecuados. La reutilización de las aguas depuradas en las zonas regables del entorno de La Albufera puede reconducir estos aportes de nutrientes hacia la biomasa del regadío evitando su entrada en el lago y restituyendo su situación al mejorar el estado ecológico del mismo tal y como dicta la DMA.

Otra experiencia<sup>31</sup> analiza las lagunas de Campotéjar, en Molina de Segura (Murcia), cuyo sistema de depuración mediante lagunaje sustituye a las antiguas depuradoras y convierte estos lagos en auténticos refugios de flora y fauna. Algunas aves de las que nidifican en estos lagos artificiales están amenazadas en el contexto europeo y mundial. Todo esto les convierte en un modelo de sostenibilidad que compatibiliza la depuración del agua y su uso agrícola posterior con la conservación de la naturaleza.

En otro trabajo<sup>32</sup> centrado también en la Albufera de Valencia y su Parque Natural estudia los efectos ambientales del riego con aguas residuales depuradas en el cultivo del arroz. La zona se surte de agua de diversas procedencias siendo una de ellas la cercana depuradora de Pinedo. Esta depuradora tiene una capacidad de depuración de 375 millones de litros diarios, siendo la EDAR más grande de la Comunidad Valenciana y una de las mayores de España. En un 50% sus aguas regeneradas tienen un aprovechamiento agrícola (concretamente para el riego) y el otro 50% un fin medioambiental, ya que sirve de recarga del lago y zonas húmedas que hay en la Albufera, o bien son aguas saneadas que se vierten al mar.

#### CONCLUSIONES

Las limitaciones ambientales de ciertos territorios, la escasez hídrica o las sequías plurianuales llevan a ciertas poblaciones a plantearse la utilización de aguas depuradas como fuente hídrica complementaria o adicional, sobre todo en aprovechamientos que no requieran la calidad que tiene un agua potable.

La viabilidad de la reutilización dependerá de que sean equilibrados los beneficios aportados respecto a los costes que acarrearán. El valor económico del agua que se libera es clave ya que es muy versátil en sus usos, que pueden ser agrarios, urbanos, industriales y medioambientales. Por lo tanto, son una alternativa que evita tener que buscar recursos de un coste mayor. El valor

29 Ballesteros, 2012.

30 Cifres et al. 2006.

31 Ballesteros, 2012.

32 Martínez-Cortijo, 2003.

social y medioambiental se logra al impedir que se viertan aguas residuales sin tratar a los sistemas costeros o a los acuíferos, lo que a medio y largo plazo está beneficiando tanto a una actividad como la turística como al mantenimiento de los ecosistemas.

El principal uso del agua regenerada, entre todos los posibles, es el agrícola suponiendo un suministro de agua imprescindible sobre todo para las zonas de mayor déficit hídrico. Tienen también el beneficio añadido de que el agua regenerada incorpora nutrientes que son beneficiosos para el suelo y necesarios para los cultivos, por lo que el agricultor obtiene un considerable ahorro en fertilizantes.

Aunque si hay que señalar solo uno, el uso de mayor valor debe ser el medioambiental, donde el agua regenerada juega un papel clave en el mantenimiento de ciertas zonas húmedas. Se trata de contrarrestar las filtraciones salinas marinas o la sobreexplotación a la que se someten en la actualidad a los acuíferos. En el caso concreto de los parajes que forman los humedales, no sería justo valorar su importancia solo por sus actividades económicas (agricultura o turismo) ya que la vida natural que hay en ellos, y que se podría mantener gracias a la aportación de aguas regeneradas, es un intangible de un gran valor para las generaciones presentes y futuras.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aquarec, 2006: *Integrated Concepts for Reuse of Upgraded Wastewater. Handbook on feasibility studies for water reuse systems*. Aachen, Aquarec (www.aquarec.org).
- Alcón, F., Egea, G. y Nortes, P. A. 2012a: "Financial feasibility of implementing regulated and sustained deficit irrigation in almond orchards", en *Irrigation Science*, 31, 5, 931-941. doi:10.1007/s00271-012-0369-6.
- Alcón, F., Martín-Ortega J., Berbel, J. y de Miguel, M. D. 2012b: "Environmental benefits of reclaimed water: an economic assessment in the context of the Water Framework Directive", en *Water Policy*, 14, 1, 148-159. DOI: 10.2166/wp.2011.001.
- Asano, T. 1991: "Planning and Implementation of Water Reuse Projects", en *Water Science and Technology*, 24, 9, 1-10.
- Ballesteros Pelegrín, G. A. 2012: "Sostenibilidad social, económica y ambiental en la depuración de agua para uso agrícola y conservación de la naturaleza: las lagunas de Campotéjar (Murcia)", en *Papeles de Geografía*, 55-56, 11-24.
- Ballesteros, G. A., González, C. y Picavet, F. 2008: "Ficha de Información Ramsar de las Lagunas de Campotéjar. Murcia". Consejería de Agricultura de la Región de Murcia, en <http://www.murcianatural.carm.es>.
- Candela, L., Fabregat, S., Josa, A., Suriol, J., Vigués, N. y Mas, J. 2007: "Assessment of soil and groundwater impacts by treated urban wastewater reuse. A case study: Application in a golf course (Girona, Spain)", en *Science of the Total Environment*, 374, 1, 26-35. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.12.028.
- Carr, G., Potter, R. B. y Nortcliff, S. 2011: "Water reuse for irrigation in Jordan: Perceptions of water quality among farmers", en *Agricultural Water Management*, 98, 5, 847-854. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.011>.
- CEDEX, 2008: *Realización de una base de datos sobre los sistemas de reutilización de aguas depuradas en España*. Madrid. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Cifres, E., Mondría, M., y Juan Ferruses, F. 2006: "Actuaciones del programa AGUA para el desarrollo sostenible de l'Albufera de Valencia", en *III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio ambiente: Agua, diversidad y energía*. Zaragoza, 25-27 de octubre.
- Costa Botella, D. A. 2015: "Estudio de gestión hídrica en la Comarca de la Vega Baja del Segura. Especial incidencia en el uso agrario del agua", tesis doctoral, Universidad Miguel Hernández, Elche.
- Costa Botella, D. A. y Melián, A. 2016: "Los retos del uso del agua depurada y desalada en el Sureste español: aplicación a la agricultura", en Navarro Caballero, Teresa M. (dir.): *Desafíos del Derecho de Aguas. Variables jurídicas, económicas, ambientales y de Derecho comparado*. Aranzadi editorial.
- EPSAR, 2015: *Entitat de Sanejament d'Aigües. Memoria de Gestió 2014* (Disponible en: <http://www.epsar.gva.es/sanejament/quienes-somos/INFORME-DE-GESTION.pdf>).
- FAO (Food and Agricultural Organization). 2013: *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* Informe sobre Temas Hídricos, 35. Roma, FAO.
- FNCA (Fundación Nueva Cultura del Agua). 2016: *Guía nueva cultura agua*. Recurso electrónico disponible en: <http://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/>
- Hernández Sancho, F., De las Fuentes, L. y Urkiaga, A. 2006: *Guía para la realización de estudios de viabilidad en proyectos de reutilización de aguas depuradas*. Madrid. AQUAREC, MIMAM y Ministerio de Fomento.
- Ibáñez, J., Martínez-Valderrama, J. y Puigdefábregas, J. 2008: "Assessing overexploitation in Mediterranean aquifers using system stability condition analysis", en *Ecological Modelling*, 218, 3-4, 260-266. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.07.004>
- INE. 2008: *Estadísticas del agua. Boletín cifras INE. 1/2008* (disponible en <http://www.ine.es/revistas/cifraine/0108.pdf>).
- Keremane, G. 2010: "Urban wastewater reuse and sustainable development", en Daniels, C. B. (coord.): *Adelaide: Water of a City*. Adelaide, Wakefield Press, 330-333.
- López-Cunquejo, A. 2001: "Reutilización de aguas depuradas en la provincia de Almería: el caso del aprovechamiento para regadío agrícola en el Bajo Andarax", en *Nimbus*, 7-8, 123-134.
- MAGRAMA, 2016: *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Información sobre Agua* (<http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/default.aspx>, consulta realizada el 17 de febrero 2016).
- Martínez-Cortijo, F. J. 2003: "Estudio agronómico y ambiental del riego con aguas residuales depuradas en el cultivo del arroz. Aplicación a una línea de riego en el Parque Natural de la Albufera (Valencia)", tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Melgarejo, J. 2009: "Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España", en *Clim. Economía*, 15, 245-270.
- Melián, A. 2005: "El costo del agua desalada", en *X Semana Agrícola de Guardamar, El Agua y los Riegos*, Guardamar del Segura (Alicante), 2-10 de noviembre.
- Molinos Senante, M., Hernández Sancho, F. y Sala Garrido, R. 2012: "Estado actual y evolución del saneamiento y la depuración de aguas residuales en el contexto nacional e internacional", en *Ana-*

- les de Geografía*, 32, 1, 69-89. [http://dx.doi.org/10.5209/rev\\_AGUC.2012.v32.n1.39309](http://dx.doi.org/10.5209/rev_AGUC.2012.v32.n1.39309).
- Montesinos, A. 2004: "Estudio de la depuración del agua en España y en la Región de Murcia", proyecto fin de carrera, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena. PMCID: PMC1615751
- Morugán-Coronado, A. 2011: "Efectos de la aplicación de aguas residuales depuradas sobre suelo agrícola", tesis doctoral, Universidad Miguel Hernández, Elche.
- Navarro Caballero, T. M. 2010: *Reutilización de aguas regeneradas. Aspectos tecnológicos y jurídicos*. Murcia, Fundación Instituto Euro-mediterráneo del Agua.
- Nicolás, E., Pedrero, F., Alarcón, J. J., Mounzer, O., Martínez, V., Nortes, P. A., Alcón, F. J., Egea, G. y De Miguel. M. D. 2011: *Estudio de la viabilidad de uso de las aguas regeneradas procedentes de la EDAR de Jumilla en la Comunidad de Regantes Miraflores*. Murcia, Consejería de Agricultura y Agua Región de Murcia.
- Puig Infante, A. 2012: *Reutilización de las aguas residuales*. Dirección General del Agua-MAGRAMA. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/Reutilizacion\\_aguas\\_tcm7-213477.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/Reutilizacion_aguas_tcm7-213477.pdf) (consulta realizada el 19 de febrero de 2016).
- Van Camp, M., Radfar, M. y Walraevens, K. 2010: "Assessment of groundwater storage depletion by overexploitation using simple indicators in an irrigated closed aquifer basin in Iran", en *Agricultural Water Management*, 97, 11, 1876-1886. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.02.006>.

## Reutilización de aguas y ocio: Campos de golf

### *Reuse of Wastewater in Golf Courses*

*Armando Ortuño-Padilla*

Universidad de Alicante. San Vicente del Raspeig, Alicante, España. arorpa@ua.es

*Patricia Fernández-Aracil*

Universidad de Alicante. San Vicente del Raspeig, Alicante, España. patricia@ua.es

**Resumen** — El espectacular aumento de campos de golf en el levante español durante las últimas décadas unido a la creciente preocupación sobre la sostenibilidad de los recursos hídricos ha suscitado un intenso debate sobre la relación entre los campos de golf y complejos inmobiliarios asociados y sus necesidades hídricas. Así, este artículo hará referencia a las tipologías emergentes de complejos urbanísticos ligados a campos de golf como punto de partida de análisis. A continuación, se hará un repaso a las necesidades de riego de un campo de golf y las posibilidades de reutilización, estimando el número de viviendas necesarias en el complejo urbanístico para que el campo de golf se pueda regar íntegramente con los efluentes depurados de las viviendas anexas al campo —2.000-3.000 viviendas—. El tema finalizará con un repaso a la legislación sobre el riego de campos de golf.

**Abstract** — *The dramatic numerical increase of golf courses in the last decades in eastern Spain, along with the growing concern about the sustainability of water resources, has sparked an intense debate about the relationship between golf courses and real estate development over the demand for water. Thus, this article will focus on the emerging types of housing complexes linked to golf as a starting point for analysis. Next, we will consider the application of reused water for irrigating golf courses by estimating the number of homes in the real estate development complex —approximately 2.000 to 3.000— required to keep the sporting field watered with treated effluent from those private residences. Finally, the article provides an overview of legislation related to reused water and the irrigation of golf courses.*

---

Palabras clave: golf, agua, riego, reutilización, inmobiliario

Keywords: golf courses, irrigation, reused water, real estate

Información Artículo: Recibido: 28 marzo 2016

Revisado: 21 septiembre 2016

Aceptado: 5 noviembre 2016

## INTRODUCCIÓN<sup>1</sup>

En las últimas décadas ha tenido lugar un incremento muy considerable tanto del número de jugadores como de campos de golf a nivel mundial. Así, en el conjunto de Europa se ha pasado de menos de tres mil campos de golf en 1985 a más de siete mil en 2014<sup>2</sup>, incrementando el número de jugadores en ese mismo periodo en más del triple.

De igual forma, en Estados Unidos, en 2014 se superaban los diecisiete mil campos de golf con más de veinticinco millones de jugadores, lo que implica que en torno al doce por ciento de su población juega al golf<sup>3</sup>.

En el caso español, ha sido espectacular la proliferación de campos de golf y operaciones asociadas de modo que, frente a los 31 que existían en 2006 en la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia, se proyectaban, estaban en tramitación o en construcción 180 campos de golf más, prácticamente todos ellos ligados a complejos con una oferta total de casi 800.000 viviendas<sup>4</sup>. También en otras zonas del Mediterráneo como la Costa del Sol se ha detectado este fenómeno con más de setenta campos de golf durante los últimos años<sup>5</sup>.

Desde sus orígenes, y pese a la variedad de tipologías y de diversidad de gestión, la práctica del golf ha estado ligada al deporte elitista y al ocio y vacaciones de personas de alto poder adquisitivo. Sin embargo, desde la última década del siglo XX los campos de golf han proliferado en todo el mundo haciendo que fueran accesibles a un mayor público, separándose de su pasado más exclusivo.

Paralelamente, la implantación de un campo de golf está habitualmente rodeada de polémica debido a su impacto económico, social y ambiental, por lo que no es extraño encontrar posturas contrapuestas sobre su conveniencia entre los distintos agentes socioeconómicos presentes en el territorio donde se pretenden desarrollar estas instalaciones deportivas que, en muchos casos, vienen acompañadas de complejos inmobiliarios.

Los defensores del golf justifican el alto número de estos equipamientos deportivos argumentando su mayor margen de

beneficios por volumen de agua utilizado frente a otras actividades que realizan un uso consuntivo del agua, como el caso de la agricultura.

Así, en zonas turísticas, aun cuando presenten un déficit hídrico elevado justifican estas instalaciones por la riqueza y empleo que generan en el entorno del campo de golf.

Por el contrario, los movimientos ecologistas los rechazan por su carácter especulativo, impacto paisajístico y como deprecador de recursos naturales en general; la superficie ocupada por un campo de golf de 18 hoyos es de unas cincuenta ha<sup>6</sup>.

Precisamente, sobre el consumo de recursos hídricos recae gran parte de la controversia anteriormente citada, confiriendo sentido a este tema. En ese consumo de agua no solamente habría que tener en cuenta el propio del campo de golf sino que habría que considerar también al cada vez más frecuente complejo inmobiliario asociado y actividades inducidas (comerciales, sociales, de ocio y restauración, etc.), puesto que ambos forman parte de la misma operación urbanística.

Asimismo, el agua de riego del campo de golf puede proceder de efluentes depurados, los cuales podrían haberse generado en el propio complejo inmobiliario anexo al campo de golf.

Bajo estas premisas, en primer lugar se hará referencia a las tipologías emergentes de complejos urbanísticos ligados a campos de golf como punto de partida de análisis. A continuación, se hará un repaso a las necesidades de riego de un campo de golf, variables influyentes y su gestión. El siguiente epígrafe tratará la reutilización en el consumo de campos de golf: ámbito de aplicación y perspectivas, obligatoriedad frente a prioridad, etc.

Relacionado con este último tema, y a partir de los datos de consumo de un campo de golf, se estimará el número de viviendas necesarias en el complejo urbanístico para que el campo de golf se pueda regar íntegramente con los efluentes depurados de las viviendas anexas al campo, es decir, que el riego del campo de golf sea autosuficiente. El tema finalizará con un repaso a la legislación sobre el riego de campos de golf: procedencia de las aguas, obligatoriedad de reutilización, etc.

## LAS TIPOLOGÍAS EMERGENTES DE CAMPOS DE GOLF

Durante las últimas décadas el número de campos de golf ligados a complejos inmobiliarios ha crecido de forma ininterrumpida. Entender las causas que dinamizan este fenómeno resulta crucial de cara a la planificación hidrológica y la estimación de las demandas hídricas futuras.

Los complejos residenciales asociados a campos de golf nacieron en los años cincuenta en los Estados Unidos y han crecido en popularidad década tras década. Durante los ochenta, casi el treinta y cinco por ciento de los nuevos campos incluían complejos inmobiliarios, cifra que ascendía al 46% a comienzos del siglo XXI<sup>7</sup>.

En el caso español, ha sido espectacular la proliferación de campos de golf y operaciones asociadas de modo que, frente a los

1 El contenido de este artículo es fruto de la financiación de tres proyectos de investigación. El primero fue llevado a cabo desde el Departamento de Geografía Humana de la Universidad de Alicante gracias a un convenio con el Ministerio de Medio Ambiente en 2006. Este trabajo, titulado "Impacto territorial de los campos de golf y operaciones asociadas en el levante español" fue dirigido por José Ramón Navarro-Vera y Armando Ortuño-Padilla. El segundo fue parte del proyecto titulado "Procesos recientes de urbanización y gestión sostenible del agua: una exploración sobre las relaciones en la costa mediterránea de la Península Ibérica (1990-2008)", financiado por el CYCIT en 2009 (CSO2009-12772-03-03) y dirigido por María Hernández, miembro del Instituto de Geografía de la Universidad de Alicante. El tercero, titulado "Urbanización y metabolismo hídrico en la costa de Alicante: análisis de tendencias en el periodo 2000-2010" (CSO2012-36997-C02-02), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad en el marco de los Programas de Investigación no orientados. Además, Patricia Fernández-Aracil es beneficiaria de las ayudas para contratos destinados a la formación predoctoral, enmarcadas en el Programa Propio del Vicerrectorado de Investigación, Desarrollo e Innovación para el fomento de la I+D+i en la Universidad de Alicante.

2 EGA, 2014.

3 NGF, 2014.

4 Navarro y Ortuño, 2010. Ortuño, Hernández y Civera, 2015.

5 Grindlay et al. 2011.

6 RFEG, 2003.

7 Mulvihill et al. 2001.

31 que existían en 2006 en la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia, se proyectaban, estaban en tramitación o en construcción 180 campos de golf, prácticamente todos ellos ligados a complejos con una oferta total de casi ochocientas mil viviendas<sup>8</sup>. También en otras zonas del Mediterráneo como la Costa del Sol se ha detectado este fenómeno con más de setenta campos de golf durante los últimos años<sup>9</sup>.

Este fenómeno se vio espoleado desde los años sesenta cuando la eclosión del turismo de masas se liga directamente al desarrollo de infraestructuras, facilitando el asentamiento residencial. Así, la popularización de los vuelos de bajo coste desde finales de los noventa permite el desplazamiento de millones de turistas y la repetición de la visita varias veces al año, factor clave en la elección de regiones turísticas emblemáticas como la provincia de Alicante, la Costa del Sol o el Algarve (sur de Portugal) y, en general, para tomar la decisión de comprar una vivienda en estos destinos<sup>10</sup>.

Así, la disponibilidad de vuelos directos hacia destinos de golf es uno de los factores clave en la elección de un destino golfístico para los turistas del golf<sup>11</sup>, como ocurre en el caso de las Islas Baleares, donde la presencia de vuelos de bajo coste era muy importante para los turistas de golf que poseían una vivienda o bien se alojaban en casas de familiares o amigos<sup>12</sup>.

También en el caso particular de la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia, para los jugadores que se encontraban de vacaciones (menos de tres meses de estancia en la zona), la accesibilidad era importante para casi un setenta por ciento de ellos, obteniéndose porcentajes similares para los residentes en el complejo residencial<sup>13</sup>.

Desde un punto de vista empresarial, la estrategia se justifica en base a resultados obtenidos en diversos trabajos, por ejemplo, se ha estimado que el aumento de precios es del 0,006% por cada 1% de disminución de la distancia al campo de golf<sup>14</sup>.

Además, el desarrollo inmobiliario suele ser en baja densidad (adosados, bungalows, chalets...) en lugar de edificios, siguiendo las preferencias de la mayoría de los compradores, lo cual es una constante en distintas zonas del mundo<sup>15</sup>. La tipología edificatoria elegida no es baladí en términos de consumo de agua de las viviendas como se verá más adelante.

En el caso concreto de la fachada costera mediterránea, ha sido la práctica saturación de la primera línea costera la que ha provocado que los promotores hayan recurrido al desarrollo de estos complejos para mantener los beneficios obtenidos en localizaciones costeras. Así, las vistas de un campo de golf sustituyen a la del mar como factor de incremento del precio de las viviendas en las operaciones golf-vivienda en emplazamientos alejados de la costa. El enorme reclamo que suponen los campos de golf

para los desarrollos residenciales en España queda patente por el hecho de que el 90% de los campos de golf desarrollados son promovidos por las inmobiliarias, notando que es la propia Real Federación Española de Golf la que destaca la oportunidad empresarial de este binomio: "El golf, motor del desarrollo urbanístico residencial" o "El golf vinculado a la vivienda aporta un valor añadido excepcional, refuerza el crecimiento de la rentabilidad e impulsa la venta dentro de un segmento de clientes especialmente interesante para el sector"<sup>16</sup>.

#### LAS NECESIDADES DE RIEGO DE UN CAMPO DE GOLF Y SU GESTIÓN

El consumo de agua de un campo de golf varía sustancialmente en función de variables climatológicas, topográficas, edafológicas, drenaje, exposición al viento y al sol, tipo de especies cespitosas empleadas, el tamaño o el diseño del campo de golf<sup>17</sup>. Por ejemplo, un campo de golf puede tener un consumo anual de 80.000 m<sup>3</sup>-100.000 m<sup>3</sup> en el norte de Francia y de 150.000 m<sup>3</sup>-200.000 m<sup>3</sup> en el sur. Valores mucho más altos pueden encontrarse en climas secos y cálidos<sup>18</sup>. En un estudio que abarcaba el 15% del total de los 17.000 campos estadounidenses, las necesidades medias de riego en campos de 18 hoyos oscilaban entre 52.000 m<sup>3</sup> en el noroeste a los 566.000 m<sup>3</sup> en estados del suroeste<sup>19</sup>.

A diferencia de las zonas con climas cálidos, la escasa preocupación por el recurso hídrico en zonas de elevada pluviometría, se constató, por ejemplo, en sendos campos de golf merced a las entrevistas llevadas a cabo a sus gerentes: en el campo inglés, situado en la localidad de Reading (*Reading Golf Club*), tan solo se regaba en verano, lo que implicaba un consumo medio anual inferior a 500 m<sup>3</sup>/ha procedentes de aguas subterráneas y con un coste anual escasamente de 400 libras/año (unos quinientos euros/año). En Holanda, en un campo situado en la ciudad de Delft (*Golfbaan Delfland*), el gerente desconocía completamente el consumo de agua del campo de golf dada la abundancia del recurso<sup>20</sup>.

En cuanto a la gestión del agua en los campos de golf, obviamente más relevante cuanto mayor es la escasez del recurso como se ha comentado, merece la pena destacar el uso de lagos, que puede proporcionar un almacenamiento de agua que funcione como depósito de regulación: disponer de agua almacenada en los lagos permite cubrir los picos de demanda, incluso si los recursos principales estuvieran fuera de uso de manera temporal. La existencia de los lagos supone una mayor facilidad y seguridad al sistema de riego y permite una mejora del medio ambiente, ya que no es necesario recurrir al bombeo de pozos ni a otros recursos superficiales. La construcción de lagos también supone una mejora del ecosistema y del hábitat, posibilitando la implan-

8 Navarro y Ortuño, 2010.

9 Grindlay et al. 2011.

10 King y Warnes, 2000. Huete, 2009.

11 KPMG, 2012.

12 Garau y Borja, 2008.

13 Navarro y Ortuño, 2010.

14 Anderson y West, 2006.

15 Graves y Cornish, 1998.

16 Aymerich Golf Management, 2006.

17 Pira, 1997. Barret, 2003. Witteveen y Bavier, 1998. Graves y Cornish, 1998.

18 Gossling et al. 2012.

19 Throssell et al. 2009.

20 Ortuño y Civera, 2013.

tación de herbáceos y arbustos junto al perímetro del lago, lo que favorece la regeneración de la flora característica<sup>21</sup>.

No menos importante en la gestión de los recursos hídricos es la presencia de estaciones meteorológicas, aunque todavía muchos campos no disponen de esta tecnología. Las estaciones meteorológicas cuentan con medidores de humedad y sistemas de interrupción de riego que permiten identificar zonas con necesidades de agua similares y prioritarias de riego, discriminando las áreas de *roughs* (zonas de hierba alta) y las calles.

En cuanto a la tecnología empleada en el riego, más allá de lo avanzada que pueda ser en cada caso particular, cabe mencionar que el riego por aspersión permite alcanzar una eficiencia de aplicación que puede llegar a alcanzar el 85%, e incluso el 90% cuando viene acompañada de las citadas estaciones meteorológicas, sondas de humedad, etc., cifra que está muy por encima de la eficiencia alcanzada por otros sistemas como el riego por surcos o por inundación que, como máximo, pueden alcanzar el 80%, siendo los valores más habituales del orden del 60%, e incluso del 30-40% en caso de inundación permanente<sup>22</sup>.

#### LA REUTILIZACIÓN EN EL RIEGO DE CAMPOS DE GOLF

Fue a mediados de los años sesenta cuando se planteó en Estados Unidos por primera vez la posibilidad de reutilizar las aguas depuradas para el riego de campos de golf en los Estados donde las restricciones al consumo de agua eran mayores como en Arizona o California<sup>23</sup>. En la actualidad, en Estados Unidos, el 12% de campos de golf reutiliza agua para el riego, notando que estos valores superan el 35% en estas zonas en las que las necesidades hídricas son mayores<sup>24</sup>.

La reutilización de aguas residuales para el riego de un campo de golf constituye una fórmula respetuosa con el medio ambiente y acorde a la situación de escasez de agua existente en muchas partes del planeta. Se trata de utilizar para el riego un efluente con bajos niveles de nutrientes, sales, metales pesados y con un control sanitario de los niveles bacterianos pero que, sin embargo, no es potable. Por lo tanto, desde el punto de vista del balance hidrológico, supone una buena opción para el riego de los campos de golf que, además, evita diluir el efluente tratado en un medio mayor sin haberse reutilizado.

Una vez usada para el riego, el agua se pone en contacto con el terreno, donde por acción biológica del suelo pueden eliminarse también otra serie de agentes contaminantes. En algunos campos donde se riega con este sistema, se usa calcio para eliminar el exceso de bicarbonatos y de sales. No existe ningún estudio que indique alguna diferencia entre el estado del césped regado por este tipo de agua y el regado con agua de otros orígenes, por lo que se trata de un método recomendable.

Los beneficios directos del uso del agua reutilizada son la reducción de nutrientes y de agentes contaminantes a través del

filtrado por el césped, la reducción de los fertilizantes a usar en el riego, la mejora en el balance hidrológico y, sobre todo, la posibilidad de suprimir definitivamente el riego con agua potable de los campos de golf pudiendo reservar este recurso limitado para otros usos más básicos<sup>25</sup>.

Con todo, cabe señalar que no en todas las regiones con problemas de recursos hídricos es obligatorio el uso de reutilización de aguas para el riego del campo de golf como se verá más adelante.

#### LA AUTOSUFICIENCIA EN EL RIEGO DE LOS CAMPOS DE GOLF

Se entiende que un campo de golf es autosuficiente en su riego cuando se riega íntegramente con aguas depuradas procedentes del complejo residencial asociado.

En este marco, para estimar el número de viviendas necesarias a tal fin es preciso conocer:

1. La tipología de vivienda edificatoria del complejo del campo de golf.
2. El volumen de agua tratado respecto del consumido en la vivienda.

Respecto del primer punto, la tipología más habitual en estos complejos es la vivienda adosada, con pequeño jardín y/o piscina, si bien en algunos campos aparecen bloques comunitarios de escasas alturas que, en algunos casos, también cuentan con piscina y jardín compartidos. De este modo, las densidades brutas residenciales oscilan entre las 10 y 30 viviendas/ha.

El consumo de agua medio de estas tipologías edificatorias para el caso concreto del sureste español se cifra en 1.257 l, con un máximo de 1.585 l en verano y de 1.055 l en invierno para una vivienda aislada con piscina y jardín. Igualmente, el consumo de agua de una vivienda en una comunidad de propietarios es de 446 l, alcanzando como valores máximo y mínimo 487 l y 410 l respectivamente<sup>26</sup>.

En cuanto a la segunda pregunta, el efluente de una vivienda se encuentra entre un 75% y un 85% del consumo de la vivienda, pudiendo llegar al 90%<sup>27</sup>. En el caso de este espacio del litoral mediterráneo, para estimar el porcentaje a aplicar hay que tener en cuenta la presencia mayoritaria de viviendas con jardines y piscinas y las pérdidas ocasionadas por el riego del jardín y la evaporación en las piscinas.

Para el caso de las piscinas, en el Área Metropolitana de Barcelona y bajo unas dimensiones medias de unos 30 m<sup>2</sup> como ocurre en este ámbito, el consumo supone un 18% del consumo total del hogar<sup>28</sup>, notando que su vaciado se realizaba con una periodicidad media de tres años, patrón conductual semejante al de esta zona del sureste español. Por otro lado, las pérdidas por evaporación, filtraciones, etc. suponen únicamente el 25% del total del consumo de agua destinado al llenado de la piscina (algo

21 McCarthy, 2006.

22 Fuentes, 1998.

23 Gill y Rainville, 1997.

24 Throssell et al. 2009.

25 Ortuño y Civera, 2013.

26 Rico et al. 2009.

27 Hernández et al. 2004. Asano et al. 2006.

28 Vidal et al. 2011.

más del cuatro por ciento del consumo doméstico total), mientras que el agua del vaciado se canaliza por la red de saneamiento. Es decir que, en conjunto, se perdería del orden del 5% del agua de consumo doméstico por este concepto.

En cuanto a los jardines, aunque no se recupera agua para su depuración porque se infiltra en el subsuelo, su superficie es pequeña en los campos analizados y las especies existentes son mediterráneas, con necesidades de riego netamente inferiores a los jardines atlánticos típicos en el Área Metropolitana de Barcelona. De este modo, en verano, para una superficie media de 30 m<sup>2</sup>, el consumo sería de unos 120 l/día<sup>29</sup>, es decir, en torno al ocho por ciento del consumo total doméstico que efectivamente no se podría recuperar.

Globalmente, el porcentaje de agua no recogido por la red de saneamiento por el llenado de piscinas y riego de jardines se encuentra en torno al trece por ciento del consumo total. En todo caso, hay que tener en cuenta que el riego del jardín y evaporación del agua es mucho más importante en verano que en invierno por lo que el coeficiente aumentaría en invierno. Además, como se ha señalado previamente, la tipología edificatoria no es homogénea en ninguna de las operaciones analizadas de modo que conviven viviendas con y sin piscina, jardín, bloques de apartamentos, etc. que implicarían un coeficiente superior.

Por tanto, de acuerdo con todas consideraciones y puesto que los cálculos que se van a realizar son aproximados, se considerará un coeficiente para todas las operaciones de golf-residencial del 80%.

Recordando que el consumo de una vivienda aislada con jardín y piscina es superior a los 1.250 l / día, aplicando el porcentaje del 80%, resulta como valor final que el efluente generado por una vivienda ocupada en el complejo asciende de media a 1m<sup>3</sup> aproximadamente, aunque en algunos campos se supondrá inferior dado que la tipología es mixta.

A partir de estas estimaciones, seguidamente se analizan varios campos de golf situados en el sureste español donde se aproximan el número de viviendas necesarias para la autosuficiencia del riego del campo de golf.

#### ANÁLISIS DE AUTOSUFICIENCIA EN EL CAMPO DE GOLF 1

Este campo de 18 hoyos se inauguró en 2006 y es parte de un complejo residencial el cual, en abril de 2007, disponía de 4.000 viviendas con piscina y jardín. Su consumo anual es de 285.000 m<sup>3</sup> o bien 4.500 m<sup>3</sup>/ha.

El plan parcial que incluye las viviendas y el campo de golf dispone de una red de saneamiento mixta, con una red de aguas residuales y otra para el agua de lluvia. La red de saneamiento vierte a la estación depuradora de aguas residuales del propio plan parcial, que está situada en la zona más baja de la urbanización. El agua residual, una vez depurada, es acumulada para posteriormente utilizarse para el riego de la zona, las zonas verdes

y ajardinadas de la urbanización y el campo de golf, que se riega íntegramente con este agua depurada.

El agua procedente de la red de saneamiento de todas las viviendas tiene como destino la estación depuradora, la cual depura el agua (tratamiento terciario) y la vierte a un embalse regulador situado junto a las instalaciones de la depuradora.

Este embalse tiene una capacidad de 100.000 m<sup>3</sup> y, en función de las necesidades de riego de la urbanización y del campo, se va utilizando su agua almacenada. El campo de golf, ya dentro de sus instalaciones, posee otro embalse de 45.000 m<sup>3</sup> para consumo de riego propio. Además, en los últimos nueve hoyos inaugurados hay dos lagos decorativos, que suman un volumen de 35.000 m<sup>3</sup> y que, en un momento dado, también se pueden utilizar para riego del campo, por lo que el campo posee unas reservas que, al 100%, pueden ascender a los 180.000 m<sup>3</sup>, de los cuales 80.000 m<sup>3</sup> son exclusivamente para riego del mismo campo, y 100.000 para riego compartido de la urbanización y del campo.

El caudal promedio obtenido de la depuradora es de 700-800 m<sup>3</sup>/día (22.500 m<sup>3</sup>/mes y próximo a 300.000 m<sup>3</sup>/año), llegando a casi duplicarse en los dos meses de verano -del 15 de junio al 15 de agosto- hasta 1.200-1.300 m<sup>3</sup>/día (37.500 m<sup>3</sup>/mes).

El contraste entre el volumen de riego y el depurado a lo largo del año muestra la autosuficiencia del campo de golf ya que, a excepción de los meses de verano, donde el consumo de riego es 13.500 m<sup>3</sup>/mes superior al caudal depurado, en el resto del año el caudal depurado es superior al consumo de riego en 2.490 m<sup>3</sup>/mes.

Así, el riego que no puede suministrar la depuradora en los meses de verano, 13.500 m<sup>3</sup>/mes, podría ser aportado por el embalse situado en el mismo campo de golf de capacidad de 45.000 m<sup>3</sup>. Si todavía fuese insuficiente, se podría utilizar el embalse regulador de la depuradora, de unos cien mil m<sup>3</sup>. Por lo tanto, aunque el volumen depurado supere al volumen requerido para el riego en la mayoría de los meses, es necesaria una regulación hidrológica durante los meses estivales.

A partir de este resultado, la pregunta sería ahora cuántas viviendas se precisan para alcanzar ese caudal depurado.

Teniendo en cuenta que por cada vivienda (la densidad en este complejo es de 10,32 viviendas/ha) con una ocupación de tres habitantes se obtiene un efluente del orden de 1 m<sup>3</sup>/día, con unas 1.000 viviendas ocupadas permanentemente en el complejo se obtendrían unos 30.000 m<sup>3</sup>/mes, es decir, se alcanzarían unos 350.000 m<sup>3</sup>/año, cifra que garantizaría claramente la autosuficiencia de este campo, y se aproximaría al consumo de la mayoría de campos de golf de este entorno.

Insistiendo en estas cifras, dado que el desarrollo urbanístico ligado al campo se compone de 4.000 viviendas, se estima que la ocupación de las viviendas es del orden del veinte por ciento fuera de los meses estivales (700-800 m<sup>3</sup> depurados que equivalen a unas 700-800 viviendas ocupadas sobre un total de 4.000) y del orden de un treinta y cinco por ciento en verano, es decir, una ocupación media anual en torno al veinticinco por ciento.

Sin embargo, dada la reciente construcción de este campo de golf y su complejo residencial asociado, cabría plantearse si

29 Parés et al. 2013. Gómez y Saurí, 2003.

con el paso de los años podría ascender la ocupación anual y, en consecuencia, el número de viviendas construidas podría ser menor para garantizar esa autosuficiencia.

#### ANÁLISIS DE AUTOSUFICIENCIA EN EL CAMPO DE GOLF 2

Se trata de un campo de golf inaugurado en 1999, con 18 hoyos, de modo que en el momento de realizar la investigación se encontraban ejecutadas 364 viviendas con tipología mixta: viviendas con jardín y piscina y comunitarias con jardín y piscina compartidos. Por ello, se puede suponer un consumo medio de unos 800 l/vivienda de manera que el efluente medio diario por vivienda se reduciría a unos 0,65 m<sup>3</sup>.

El campo está regado en su totalidad con agua depurada procedente de una depuradora sita a unos dieciséis km del campo.

La red de riego está diseñada con todos los elementos para conseguir la máxima eficiencia de la misma, es decir, el campo de golf está dotado de una red con aspersores independizados y controlados por los sistemas de monitorización de las necesidades de los cultivos, con las correspondientes estaciones meteorológicas, sondas de humedad y el ordenador de riego.

Los datos correspondientes al año 2005 mostraron un consumo de 7.600 m<sup>3</sup>/ha/año (358.827 m<sup>3</sup>/año), de manera que con los efluentes procedentes de las viviendas del complejo (44.891 m<sup>3</sup>) no se llegaría al 13% de las necesidades de riego del campo de golf (44.891 m<sup>3</sup> / 358.827 m<sup>3</sup>).

Aplicando los estándares previos de volumen de efluentes por vivienda, el volumen depurado en la depuradora del propio Plan al que el campo pertenece, se correspondería con una media de 217 viviendas ocupadas durante todo el año sobre un total de 364 viviendas construidas (60%).

Teniendo presente que, en este caso, las necesidades de riego del campo son mayores que las del campo de golf 1 anterior y que el efluente por vivienda es menor, se obtiene que serían necesarias del orden de 1.500 viviendas ocupadas permanentemente (358.000 m<sup>3</sup> / 365 \* 0,65 m<sup>3</sup>) de modo que, manteniendo la ocupación actual del 60% equivaldría a unas dos mil quinientas viviendas construidas.

#### ANÁLISIS DE AUTOSUFICIENCIA EN EL CAMPO DE GOLF 3

Este campo de golf fue inaugurado en 1998 y está rodeado por casi doscientas veinte viviendas con una tipología diversa: unifamiliares con piscina y jardín, adosados y bloques con piscina comunitaria. Por ello, se puede suponer un consumo medio diario por vivienda similar al estimado en el caso anterior, es decir, de 800 l, lo que equivale a la generación de unos 650 l de efluentes que podrían ser depurados en las propias instalaciones del campo de golf hasta completar el volumen necesario para el riego del campo.

Sin embargo, el caudal aportado por las viviendas estaba muy lejos de cubrir las necesidades de riego del campo de golf, 260.000 m<sup>3</sup> / año, tal cual relataba el *greenkeeper* (responsable de jardinería del campo): las viviendas solo aportaban una nove-

na parte del agua requerida para el riego del campo, cifra muy baja para asegurar la autosuficiencia del campo, respaldando de esta forma los resultados obtenidos en los campos estudiados previamente.

De hecho, suponiendo una ocupación del número de viviendas similar a la del caso anterior, del 60% equivalente a 130 viviendas, y teniendo en cuenta el volumen medio de efluentes por vivienda de 650 l diarios, se obtiene que 130 viviendas generan aproximadamente una novena parte de las necesidades de riego del campo (260.000 m<sup>3</sup>/ 365 \* 130 viviendas \* 0,65 m<sup>3</sup>).

Por tanto, nuevamente, se precisarían unas mil doscientas viviendas ocupadas permanentemente para garantizar la autosuficiencia del riego del campo de golf que, bajo esa ocupación del 60%, ascenderían a unas dos mil viviendas construidas.

Merece la pena resaltar que a partir del año 2008 dejó de depurarse el efluente del complejo residencial del campo de golf en las instalaciones propias del campo ya que desde la gestión del campo se prefirió tener un solo suministro de agua depurada, ahorrando así el proceso de depurar el volumen de las viviendas que era escaso e irregular, obteniéndose, de esta forma, el total del volumen de riego de una estación depuradora externa a las instalaciones del campo.

#### VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS RESPECTO DE LA AUTOSUFICIENCIA DE RIEGO

De acuerdo con el análisis efectuado, se estima que en torno a unas mil-mil quinientas viviendas permanentemente ocupadas son necesarias para garantizar la autosuficiencia de un campo de golf. Sin embargo, el hecho de que todos los complejos residenciales evaluados en este entorno alcancen una media anual entre el 30% y el 60% implica que, para lograr esa autosuficiencia en el riego, sean necesarias del orden de 2.000-3.000 viviendas construidas.

En cualquier caso, estos resultados dependen de las necesidades propias del riego del campo y de las tipologías de viviendas. Así, lógicamente cuanto mayor sea la eficiencia del riego y menor el consumo, precisará un número menor de viviendas ocupadas. Análogamente, si el complejo está compuesto por viviendas aisladas con jardín y piscina, el número de viviendas necesarias ocupadas permanentemente sería menor, unas mil, frente a una tipología edificatoria mixta donde sean relevantes las viviendas sin jardín o piscina o comunitarias, en que precisaría unas mil quinientas. Por otra parte, las características de estos complejos hacen que su estacionalidad sea elevada de modo que la ocupación media anual oscila entre el 25-30% durante los primeros años hasta el 50-60% una vez consolidada la promoción inmobiliaria, con lo que el número de viviendas construidas para garantizar la autosuficiencia del riego del campo de golf en el largo plazo se encontraría entre 2.000 y 3.000 viviendas.

También es muy elocuente el hecho de que un campo con menos de 220 viviendas haya decidido suprimir el uso de efluentes depurados procedentes de las viviendas importándolos desde una depuradora externa para evitar el coste de la depuración

ante caudales escasos e irregulares. Es decir, que la opción del riego con efluentes procedentes del complejo parece quedar su-peditada a los casos en que la promoción inmobiliaria sea de un tamaño notable.

Pese a todo, y aun cuando se alcanzase un volumen de agua reutilizada suficiente, las puntas de riego veraniegas podrían hacer insuficiente el agua reutilizada procedente de las viviendas, lo que hace necesaria la presencia en los campos de golf de embalses de regulación, que permiten almacenar los excedentes de-purados en invierno y reutilizarlos en verano para compensar las puntas de demanda de riego.

#### LA REUTILIZACIÓN EN EL RIEGO DE CAMPOS DE GOLF Y NORMATIVA VIGENTE

Fue a mediados de los años sesenta cuando se planteó en Es-tados Unidos por primera vez la posibilidad de reutilizar las aguas depuradas para el riego de campos de golf en los Estados donde las restricciones al consumo de agua eran mayores como en Ari-zona o California<sup>30</sup>. En la actualidad, en Estados Unidos, el 12% de campos de golf reutiliza agua para el riego, superando el 35% en las zonas en las que las necesidades hídricas son mayores<sup>31</sup>.

En el caso español, el real decreto 1620/2007, de 7 de di-ciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reu-tilización de aguas depuradas, marca los requisitos mínimos del agua depurada para su utilización en el riego de campos de golf.

Con todo, cabe señalar que no en todas las regiones espa-ñolas con problemas de recursos hídricos es obligatorio el uso de reutilización de aguas para el riego del campo de golf. Seguida-mente, se expone la legislación vigente en distintas comunidades autónomas, allí donde existe mayor tradición de campos de golf combinada con problemas de recursos hídricos (las cifras sobre el número de campos de golf actuales han sido extraídas a partir de la información facilitada por la Real Federación Española de Golf).

En las Islas Baleares (21 campos de golf), la ley vinculada con la gestión del agua en los campos de golf es la ley 4/2008, de 14 de mayo, de medidas urgentes para un desarrollo territo-rial sostenible en las Illes Balears. Prohíbe junto a los campos de golf usos residenciales o de alojamientos turísticos, requiriendo la documentación justificativa correspondiente a la suficiencia de agua adecuada para regar el campo de golf, que tiene que proceder necesariamente de la reutilización de aguas residuales depuradas. Finalmente, se regula que en el procedimiento admi-nistrativo se exigirá siempre el estudio de evaluación de impacto ambiental pertinente.

En las Islas Canarias (26 campos de golf) existe desde 1995 la Guía Metodológica para la realización de estudios de impacto de campos de golf. En ella se plantea la realización de un balance hídrico donde se incluyan las previsiones de consumo de agua de cada año y el origen del mismo. El balance deberá acercarse lo máximo posible a un sistema autosuficiente en relación al consu-

mo/recarga. La Guía recomienda que exista más de una fuente de abastecimiento, siendo una de ellas las aguas residuales con un tratamiento previo adecuado. Específicamente, el Plan Terri-torial Especial de Desarrollo Turístico de La Gomera, aprobado en el decreto 56/2003, de 30 de abril, indica que el agua de riego del campo de golf procederá necesariamente de la depuración de aguas residuales, de aguas desaladas de mar o de cualquier otro proceso análogo, debiendo estar autorizado por el Consejo Insular de Aguas de La Gomera<sup>32</sup>. Posteriormente en el Cabildo de Lanzarote, la Ordenanza Municipal Marco para la gestión y el uso eficiente del agua en los municipios<sup>33</sup> dedica un artículo a los campos de golf donde indica que será obligatorio realizar el riego de las zonas verdes del campo de golf con agua regenerada.

En Cataluña (68 campos de golf), para obtener una concesión de agua para el riego de los campos de golf, se ha de garantizar la procedencia de la misma como agua residual tratada en es-taciones depuradoras si se superan ciertos umbrales de excep-cionalidad (nivel I, nivel II o emergencia) en función del agua embalsada en la comunidad, basándose en el decreto 187/2005, de 6 de septiembre.

En la Comunidad de Madrid (62 campos de golf), el uso del agua reutilizada se ha impuesto para el riego de los campos de golf. Su caso ha sido menos permisivo que otras comunidades au-tónomas, pues el Gobierno regional a través del Canal de Isabel II y la Confederación Hidrográfica del Tajo dio un ultimátum de dos años en 2006 para que los campos de golf usaran agua depurada para el riego. El proceso de adaptación se realizó de tal manera que en los campos de golf existentes, el Canal de Isabel II ejecu-taba las infraestructuras necesarias desde la estación depuradora más cercana hasta el límite con el campo de golf y el campo de golf debía sufragar el resto de las infraestructuras desde ese punto. Actualmente, el real decreto 1/2016, de 8 de enero —por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadal-quivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro— establece una dotación bruta para riegos de campos de golf, con carácter general, de 7.500 m<sup>3</sup>/ha/año, como máximo, referida de forma exclusiva a superficie regable propia del campo de juego, con exclusión de superficies con tratamientos duros, rough extremo o zonas complementarias de lo que es estrictamente el campo de juego. Esta dotación pue-de alcanzar la cifra de los 9.000 m<sup>3</sup>/ha/año en el caso de que se riegue con aguas residuales regeneradas, previa presentación por parte del interesado de un estudio que justifique las necesidades hídricas específicas del campo de golf y la eficiencia alcanzada en la instalación de distribución y riego.

En Andalucía (126 campos de golf), la normativa donde se relaciona la gestión de los recursos hídricos reside en el decreto 43/2008, de 12 febrero, regulador de las condiciones de implan-tación y funcionamiento de campos de golf en Andalucía. Este decreto dedica parte de su articulado a definir las zonas idóneas para implantar un campo de golf desde el punto de vista hidro-

30 Gill y Rainville, 1997.

31 Throssell et al. 2009.

32 Espejo y Cánoves, 2011.

33 Martín, 2008.

lógico. En cuanto al riego de los campos de golf, se impone que debe realizarse con agua regenerada, si bien en determinados casos se podría regar con agua de origen distinto. De esta forma, cuando no exista un caudal depurado suficiente, el Organismo de Cuenca correspondiente podrá autorizar otros recursos hídricos de diferente origen.

En este sentido, si se trata de un campo de golf de Interés Turístico, el Organismo de Cuenca puede conceder el uso de agua no regenerada para riego, siempre que se use exclusivamente para regar el *green* y el lavado de las calles a fin de mantener el nivel de calidad del campo. Al igual que en otras comunidades, el decreto 43/2008 descarta los caudales destinados al consumo humano para regar los campos de golf.

En la Región de Murcia (25 campos de golf), la ley 4/2009, de 14 de mayo, establece que se someterán a evaluación ambiental aquellos proyectos que tengan por objeto campos de golf. Por otra parte, en el ya citado real decreto 1/2016, de 8 de enero, se establece una dotación máxima neta de 8.000 m<sup>3</sup>/ha/año, con una eficiencia de riego mínima de 0,95. Además, los recursos que permitan su desarrollo se encontrarán en consonancia con lo acordado en su declaración de impacto ambiental y procederán de la reutilización de aguas depuradas o desalinización de agua de mar (exceptuando casos provisionales transitorios durante su implantación). Se encuentra prohibido, por otro lado, el uso de volúmenes procedentes de los trasvases Negratín-Almanzora y Tajo-Segura, con destino a riego temporal o definitivo de campos de golf y sus zonas verdes asociadas.

Para finalizar con este repaso nacional se hará referencia a la Comunidad Valenciana (56 campos de golf), cuya ley 5/2014, de 25 de julio, de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, deroga lo dispuesto en la ley 9/2006, de 5 de diciembre, reguladora de campos de golf en la Comunitat Valenciana, que priorizaba el uso del agua depurada, con los mínimos de calidad exigibles, sin que en ningún caso se pudieran usar caudales destinados al consumo humano o al agrícola que no fuesen liberados de dicho uso. Por lo tanto, actualmente, en aquellas áreas afectadas por la Demarcación Hidrográfica del Segura, es de aplicación lo dispuesto anteriormente para el caso de Murcia en el real decreto 1/2016. Por otro lado, para el caso de las zonas incluidas en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, no se especifica la dotación establecida para el uso en campos de golf o recreativo en el ya expuesto real decreto 1/2016.

## CONCLUSIONES

A lo largo del presente artículo se ha hecho un repaso a la temática que envuelve la reutilización de aguas en el riego de campos de golf.

En primer lugar, y para encuadrar la materia, se han estudiado a grandes rasgos cuáles son las tipologías emergentes de campos de golf en la actualidad puesto que ello influirá en la gestión del riego del campo de golf y, por tanto, en las necesidades de reutilización en el medio plazo. En este marco, durante las últimas décadas, las operaciones de campos de golf vienen acompañadas, en países tan importantes para esta práctica como Estados

Unidos, de complejos residenciales debido a la mayor rentabilidad que se alcanza bajo este modelo de promoción frente a los casos de campos de golf sin operación urbanística asociada.

En el caso español ha sido desde inicios de este siglo cuando se ha desarrollado espectacularmente este fenómeno. El factor detonante del proceso se encuentra nuevamente en la rentabilidad de estas operaciones de golf-residencial apoyadas por la práctica saturación de los espacios litorales. Es decir, el privilegiado paisaje con vistas al mar es sustituido por las vistas al campo de golf. Este modelo se convierte en factible gracias al despegue de las compañías de vuelos de bajo coste y a la escasa rentabilidad del suelo agrícola frente a los campos de golf-residencial en la mayor parte del área estudiada. En esa localización espacial se advierte la importancia de la accesibilidad por carretera en la medida en que los emplazamientos están muy próximos a la densa red de autovías. En cuanto a la tipología de complejo residencial, muy importante para la gestión de los recursos hídricos, en su inmensa mayoría se trata de bajas densidades, es decir, adosados, bungalows, chalets, etc.

A continuación, se han evaluado las necesidades de riego de los campos de golf en distintas regiones del mundo, en lo cual influyen factores climatológicos, topográficos, edafológicos, drenaje, exposición al viento y al sol, tipo de especies cespitosas empleadas, el tamaño o el diseño del campo de golf, etc. Por ejemplo, un campo de golf puede tener un consumo anual prácticamente nulo en regiones de alta pluviometría y superar los 500.000 m<sup>3</sup> / año en regiones áridas del planeta.

En cuanto a la gestión del riego, en las zonas con menor disponibilidad del recurso hídrico se suele tener estaciones meteorológicas a la vez que se utiliza el riego por aspersión, con el que se pueden alcanzar valores del 85-90% en la eficiencia del riego.

Relacionada con esa gestión del agua en campos de golf, en estas regiones es creciente el uso de efluentes depurados para el riego del campo (reutilización de aguas), cuya mayor ventaja estriba en la liberación de recursos convencionales para otros usos.

Puesto que la mayoría de los campos de golf planificados actualmente en zonas turísticas vienen acompañados de un complejo inmobiliario, se ha tratado de evaluar la autosuficiencia del riego, es decir, si el riego del campo de golf puede efectuarse merced a los efluentes depurados del campo de golf. Este caso se ha propuesto para la zona del levante español. Así, a partir de un desarrollo urbanístico en baja densidad residencial, la estacionalidad propia en este tipo de complejos y las necesidades medias de riego de un campo de golf en este entorno espacial, los resultados indican la necesidad de unas mil-mil quinientas viviendas ocupadas de manera permanente que, dada la citada estacionalidad, se convertirían en unas dos mil-tres mil viviendas ejecutadas (en el último epígrafe de este tema se resuelve un ejercicio aclaratorio de estos conceptos).

En todo caso, las medidas de ahorro o eficiencia en el consumo de recursos hídricos en los complejos de campos de golf-residencial no se ciñen exclusivamente a una mayor eficiencia de riego del campo de golf o a lograr la autosuficiencia, sino que pueden afectar al consumo de agua potable en las propias vi-

viendas. Este sería el caso de los jardines de las viviendas que, en muchas ocasiones, se siguen regando con agua potable. Así, existen ejemplos de fórmulas para reducir este consumo como, por ejemplo, el caso de El Dorado Hills, en California, donde, el promotor, ante la imposibilidad de desarrollar un complejo de 4.500 viviendas, dos campos de golf y otros servicios asociados, planteó la posibilidad de reutilizar las aguas depuradas tanto en los campos de golf, zonas verdes y parques, como en los jardines de las viviendas mediante una red de distribución dual para cada casa. El éxito fue tal que en 2005, *El Dorado Irrigation District (EID)* obligó a que todos los nuevos desarrollos reutilizaran aguas depuradas allí donde fuera factible<sup>34</sup>.

Finalmente, la actual legislación de campos de golf ha avanzado en la obligatoriedad del uso de aguas depuradas para el riego de campos de golf, si bien no queda garantizada en todos los casos como ocurre en diversos Estados norteamericanos o en la Comunidad Valenciana o Andalucía en el caso español.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, S. T. y West, S.E. 2006: "Open space, residential property values, and spatial context", en *Regional Science and Urban Economics*, 36, 6, 773-789. <http://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbe.2006.03.007>
- Asano, T., Burton, F., Leverenz, H., Tsuchihashi, R. y Tchobanoglous, G. 2006: *Water Reuse. Issues, Technologies, and Applications*. New York, McGraw-Hill.
- Aymerich Golf Management, 2006: *Golf e Inmobiliaria, las siete claves para el éxito*. Madrid, Real Federación Española de Golf.
- Barrett, J., Vinchesi, B., Dobson, R., Roche, P. y Zoldoske, D. 2003: *Golf Course Irrigation, Environmental Design and Management Practices*. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- Boletín Oficial de Canarias, 2003 (25 de junio): *Decreto 56/2003, de 30 de abril, por el que se aprueba definitivamente y de forma parcial el Plan Territorial Especial de Desarrollo Turístico de la isla de La Gomera*.
- Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, 2008 (27 de febrero): *Decreto 43/2008, de 12 de febrero, regulador de las condiciones de implantación y funcionamiento de campos de golf en Andalucía*.
- Boletín Oficial del Estado, 1988 (27 de diciembre): *Ley 12/1988, de 17 de noviembre, de campos de golf*.
- Boletín Oficial del Estado, 2007 (22 de enero): *Ley 9/2006, de 5 de diciembre, reguladora de campos de golf en la Comunitat Valenciana*.
- Boletín Oficial del Estado, 2007 (8 de diciembre): *Real Decreto 1620/2007 de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas*.
- Boletín Oficial del Estado, 2008 (26 de junio): *Real Decreto Legislativo 2/2008, de 20 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de suelo*.
- Boletín Oficial del Estado, 2008 (5 de junio): *Ley 4/2008, de 14 de mayo, de medidas urgentes para un desarrollo territorial sostenible en las Illes Balears*.
- Boletín Oficial del Estado, 2011 (10 de febrero): *Ley 4/2009, de 14 de mayo, de protección ambiental integrada*.
- Boletín Oficial del Estado, 2014 (23 de septiembre): *Ley 5/2014, de 25 de julio, de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, de la Comunitat Valenciana*.
- Boletín Oficial del Estado, 2016 (19 de enero): *Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tago, Guadiana y Ebro*.
- Consell Insular de Mallorca. Departament del Territori. Direcció Insular d'Ordenació del Territori. 2011: *Plan Territorial Insular de Mallorca*.
- Consell Insular d'Eivissa i Formentera. Departament de Turisme, Urbanisme i Ordenació del Territori. 2005: *Plan Territorial Insular de Ibiza y Formentera*.
- Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 2005 (9 de septiembre): *Decreto 187/2005, de 6 de septiembre, por el que se aprueba la modificación del Decreto 93/2005, de 17 mayo, de adopción de medidas excepcionales en relación con la utilización de los recursos hídricos*.
- EGA (European Golf Association). <http://www.ega-golf.ch/> (consulta realizada el 12 de diciembre de 2015).
- Espejo Marín, C. y Cànoves Valiente, G. 2011: "Política de usos del agua en los campos de golf en España", en *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 57, 2, 255-277, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona. DOI: <http://dx.doi.org/10.5565/rev/dag.278>
- Fuentes Yagüe, J. L. 1998: *Técnicas de riego*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Gill, G. y Rainville, D. 1997: "Effluent for Irrigation: Wave for Future?", en *The USGA: Wastewater Reuse for Golf Course Irrigation*. Boca Raton, Lewis Publishers, 44-52.
- Domene Gómez, E. y Saurí P., D. 2003: "Modelos urbanos y consumo de agua. El riego de jardines privados en la región metropolitana de Barcelona", en *Investigaciones Geográficas*, 32, Universidad de Alicante, Alicante, 5-17. <http://dx.doi.org/10.14198/IN- GEO2003.32.02>
- Gössling, S., Peeters, P., Hall, C. M., Ceron, J. P., Dubois, G., Scott, D. y Lehmann, La V. 2012: "Tourism and Water Use: Supply, Demand, and Security. An International Review", en *Tourism Management*, 33, 1, 1-15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tourman.2011.03.015>
- Graves, R. M. y Cornish, G. S. 1998: *Golf course design*. New York, Wiley.
- Grindlay, A. L., Zamorano, M., Rodríguez, M. I., Molero, E. y Urrea, M. A. 2011: "Implementation of the European Water Framework Directive: Integration of hydrological and regional planning at the Segura River Basin, southeast Spain", en *Land Use Policy*, 28, 1, 242-256. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.06.005>
- Hernández Muñoz, A., Hernández Lehmann, A. y Galán, P. 2004: "Sistema para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes", en Hernández, A., Hernández, A. y Galán, P.: *Manual de Depuración Uralita*. Madrid, Thomson editores Spain, Paraninfo S. A.
- KPMG, 2012: *Golf Travel Insights 2012* (consulta realizada el 12 de diciembre de 2015).
- Martín Roncero, P. A. 2008: *Ordenanza Marco para gestión y uso eficiente del agua en los municipios*. Lanzarote, Cabildo de Lanzarote.
- McCarthy, G. 2006: *Best Management Practices for Golf Course Water Use*. Connecticut, Connecticut Department of Environmental Protection.

34 Asano et al. 2006.

- Mulvihill, D. A., Gregory, C., Garl, R. M., Hirsh, L. A., Leininger, D. L., Renner, W. B. Jr., Scavo, J. J., Welch, A. M. y Winter, S. A. 2001: *Golf Course Development in Residential Communities*. Washington, D. C., ULI-the Urban Land Institute.
- Navarro Vera, J. R. y Ortuño Padilla, A. 2010: "Impacto de los campos de golf en Levante", en *Ciudad y Territorio, Estudios Territoriales*, 163, Madrid, 35-48.
- Navarro Vera, J. R., Ortuño Padilla, A. 2013: *Golf y territorio. Estudio sobre el impacto de los campos de golf y actuaciones urbanísticas asociadas en la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia*. Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Ibergarceta Publicaciones.
- NGF (National Golf Foundation): <http://www.ngf.org> (consulta realizada el 12 de diciembre de 2015).
- Ortuño Padilla, A. y Civera Planelles, S. 2013: *El riego de los campos de golf. El caso de la provincia de Alicante (España) bajo una comparativa internacional*. Alicante, Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Ortuño, A., Hernández, M. y Civera, S. 2015: "Golf course irrigation and self-sufficiency water in Southern Spain", en *Land Use Policy*, 44, 10-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.11.020>
- Ortuño, A., Hernández, M. y Civera, S. 2016: "Golf courses and land use patterns in the South-east of Spain", en *Land Use Policy*, 51, 206-214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.11.006>
- Parés, M., March, H. y Saurí, D. 2013: "Atlantic Gardens in Mediterranean Climates: Understanding the Production of Suburban Natures in Barcelona", en *International Journal of Urban and Regional Research*, 37, 1, 328-347. DOI: 10.1111/j.1468-2427.2012.01118.x
- Pira, E. 1997: *A Guide to Golf Course Irrigation System Design and Drainage*. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- RFEG (Real Federación Española de Golf). <http://www.rfegolf.es/> (consulta realizada el 14 de diciembre de 2015).
- Rico-Amoros, A. M., Olcina-Cantos, J. y Sauri, D. 2009: "Tourist land use patterns and water demand: Evidence from the Western Mediterranean", en *Land Use Policy*, 26, 2, 493-501. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.07.002>.
- Scott, D., Gössling, S., Peeters, P., Hall, C. M., Ceron, J. P., Dubois, G. y Lehmann, L. V. 2012: "Tourism and water use: Supply, demand, and security. An international review", en *Tourism Management*, 33, 1, 1-15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tourman.2011.03.015>
- Throssell, C. S., Lyman, G. T., Johnson, M. E. y Stacey, G. A. 2009: "Golf Course Environmental Profile Measures Water Use, Source, Cost, Quality, and Management and Conservation Strategies". Applied Turfgrass Science. Online (<http://buckeyeturf.osu.edu/pdf/profile.pdf>).
- Vidal, M., Domene, E. y Sauri, D. 2011: "Changing Geographies of Water-related Consumption: Residential Swimming Pools in Suburban Barcelona", en *Area*, 43, 1, 67-75. DOI: 10.1111/j.1475-4762.2010.00961.x
- Witteveen, G. y Bavier, M. 1998: *Practical Golf Course Maintenance, The Magic of Greenkeeping*. Chelsea, Michigan, Ann Arbor Press.

# Miscelánea



## La ampliación del suministro de agua en la Lima colonial a fines del siglo XVI: los primeros problemas y sus soluciones

### *Expanding the Supply of Water in Colonial Lima at the end of the 16th Century: Initial Challenges and their Solutions*

*Paula Ermila Rivasplata-Varillas*

Universidad de Sevilla. Sevilla, España. rivasplatavarillas@gmail.com

**Resumen** — En 1578, Lima había construido un sistema de distribución de agua que acercaba las aguas de un manantial a la ciudad. La algarabía ante la llegada del agua de boca a la Plaza Mayor no duró mucho, pues a la par surgieron problemas económicos, técnicos y sanitarios que las autoridades trataron de solucionar, mientras el sistema se ampliaba a los barrios de la ciudad. La disponibilidad de agua de boca en fuentes públicas y privadas significaba poder y prestigio para la ciudad y sus vecinos.

**Abstract** — *In 1578 Lima had constructed a system of water distribution that brought the spring waters to the city. The rejoicing about the arrival of water at the Plaza Mayor did not last very long because the system had economic, technical and sanitary problems, which the authorities tried to solve while simultaneously extending the pipeline along the city. Drinking water availability in private and public fountains meant power and prestige for the city and its residents.*

---

**Palabras clave:** Lima, siglo XVI, sistema de distribución de agua, fuentes públicas y privadas, cajas de agua, cañerías, control público, financiación, tecnología  
**Keywords:** Lima, XVI century, water distribution system, private and public fountains, water tanks, pipeline, public control, funding, technology.

**Información Artículo:** Recibido: 11 agosto 2014

Revisado: 26 enero 2016

Aceptado: 7 febrero 2016

El objetivo del trabajo es conocer los primeros problemas que surgieron tras inaugurar la fuente y el sistema de distribución de agua en la ciudad de Lima e identificar las medidas adoptadas por el Cabildo, la elite y la población en el periodo de 1578 a 1599.

En el lapso de tiempo estudiado, la población obtenía agua de diferentes lugares: del río, de las acequias, de los manantiales, de la nieve que era traída de las sierras de Lima, a quince leguas de allí y, sobre todo, del encañado de las fuentes públicas y privadas<sup>1</sup>. Teniendo en cuenta que la propiedad del agua de boca la tenía el Cabildo, identificaremos los motivos que llevaron a la ampliación del agua potable en la ciudad, lo cual nos ayudará a examinar si las soluciones adoptadas a fines del siglo XVI fueron eficientes o no, es decir, si beneficiaron al conjunto de la población o solo a las elites en este periodo de tiempo.

Este artículo parte de una realidad geográfica y meteorológica concreta: la ciudad de Lima tiene acceso a muy poca agua fluvial y aluvial porque está ubicada en medio del desierto costero entre la cordillera andina y el océano Pacífico. Esta carestía de agua solo se alivia en los meses estivales, cuando hay abundancia de lluvias en la cordillera de los Andes. Aguas que descienden como escorrentía por sus laderas.

Las fuentes primarias de este artículo provienen de las actas capitulares del Cabildo de la ciudad de Lima comprendidas en el periodo que va de 1578 a 1599. La metodología aplicada es exploratoria, descriptiva y analítica de las fuentes consultadas para poder cumplir los objetivos propuestos. Nos interesa detectar y analizar cómo el Cabildo y la población se organizaron para hacer frente a los primeros problemas que la distribución de agua bebible generó en una capital de gran importancia política y económica en la monarquía hispánica. Este trabajo se plantea las siguientes preguntas: ¿Existió una conexión política y económica al acceso del agua de boca en Lima? ¿Si todos pagaban impuestos para acceder al agua por qué este recurso llegó en forma exclusiva a unos pocos en desmedro de la mayoría? ¿Qué papel desempeñaron los virreyes, el Cabildo, la elite, los conventos y los vecinos en la expansión del agua encañada? Estas y otras preguntas se tratarán de resolver en el presente artículo. De esta manera, los puntos a tratar son las características climáticas, topográficas, orográficas y demográficas de la ciudad de Lima, los aspectos tecnológicos y financieros que impactaron en la distribución y mantenimiento del agua, el poder que generaba la tenencia de agua bebible y la ampliación del suministro de agua en la ciudad a través del encañado.

Es necesario tener en cuenta que este trabajo es de carácter exploratorio porque no se ha publicado nada sobre el tema en el periodo de estudio propuesto, siendo pionero en la materia.

#### **BREVE APUNTE SOBRE EL CLIMA LIMEÑO Y EL RÉGIMEN HÍDRICO DEL RÍO RÍMAC**

Lima se encuentra ubicada a 12° 7' de Latitud Sur y a 77° 23' de Longitud Oeste con respecto al meridiano de Greenwich y

1 Bonachía Hernando, 1998, 60. En la distribución del agua no faltaba la figura del aguador, que se otorgaba mediante arrendamiento o privilegio. Los aguadores estaban sometidos a un estricto control de la autoridad sobre los precios, medidas, etc.

Mapa 1. Ubicación de Perú y Lima



tiene un clima templado que fluctúa entre los 14 y 25 °C. También lo está en la franja costera desértica del litoral central peruano, que se caracteriza por una precipitación tan escasa que hace la competencia a los desiertos más extremos del mundo como el Árabe y el de Namibia<sup>2</sup>. La causa de su formación es una suma de aspectos geográficos entre los que destaca el fenómeno de la inversión térmica<sup>3</sup>. Es decir, los vientos alisios al contacto con el mar frío por la corriente marítima de Humboldt al chocar con la cordillera de los Andes se condensan y forman un estrato de nubes que es característico de la ciudad, así como una fina lluvia (la garúa) y una alta humedad ambiental.

El río Rímac corre a su vera permaneciendo seco la mayor parte del año, a excepción de los meses de diciembre a abril cuando se producen intensas lluvias en la cordillera de los Andes, donde tiene su cuenca alta. De esta manera, hidrológicamente, el río Rímac tiene régimen hídrico irregular, aumentando estacionalmente la carga de agua de los ríos que descienden hacia el Océano Pacífico. La ubicación costera de la ciudad recibe el aumento del caudal del río Rímac al producirse el deshielo en cotas altas de la cordillera, tanto por la fuerte pendiente del terreno como por la velocidad que adquieren las aguas, provocando una fuerte erosión. Las lluvias en la cuenca alta del río pueden llegar a ser extremas en épocas de inestabilidad climática, como duran-

2 Capel Molina, 1999, 25-35. Ausencia casi de precipitaciones, excepto garúas o rocíos que solo provocan 5,9 mm al año. Esta cantidad lo tipifica como un desierto prácticamente puro.

3 Ibidem, 36. "La inversión del clima limeño en la costa peruana de tropical en subtropical no es más que la consecuencia de la irrupción de la corriente fría de Humboldt hacia el Pacífico tropical a lo largo de la costa occidental de América del Sur desde Chile hasta Piura en el territorio peruano".

te el fenómeno del Niño que aumenta el caudal fluvial, convirtiéndose en un peligro para ciudades colindantes a los ríos. En el caso limeño, los fenómenos del Niño más severos fueron los de 1578 y 1728<sup>4</sup>.

En cuanto a los terremotos, Lima es parte del Cinturón Circum-Pacífico, una de las zonas sísmicas más activas del mundo. Los seísmos en este área se originan principalmente por el choque de dos placas terrestres, la Nazca y la Sudamericana. Aunque el centro de Lima, que es la parte colonial de la ciudad, se encuentra sobre un depósito grueso de grava aluvial con nivel freático profundo, las oscilaciones sísmicas son lo suficientemente fuertes como para provocar roturas en el sistema de distribución de agua potable<sup>5</sup>. La ciudad de Lima ha estado expuesta a seísmos de alta magnitud con relativa frecuencia, siendo el más fuerte durante el periodo de estudio el del día 9 de julio de 1586.

#### DISTRIBUCIÓN Y MANTENIMIENTO DE AGUA: TECNOLOGÍA

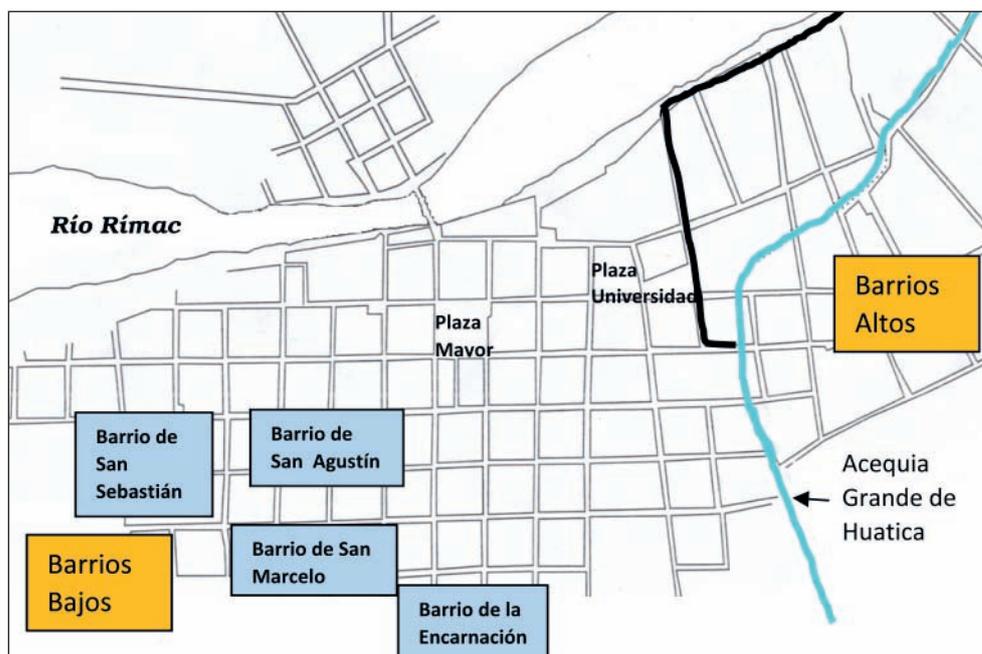
En 1578 el agua llegaba a la fuente de la Plaza Mayor a través de una tarjea que la traía desde un manantial hasta la ciudad, y a partir de allí con tuberías de arcilla hasta su destino final<sup>6</sup>. El sistema de distribución de aguas en Lima empezó a tener problemas desde su misma instalación. Uno de ellos fue el continuo aniego que provocaba el agua que se escapaba de la fuente de la Plaza Mayor porque no se había construido un adecuado sistema de evacuación. Otros fueron las continuas roturas de las tuberías por la presión del agua por lo que tuvieron que empezar a construir más aliviaderos y cajas de agua en distintos puntos de la ciudad. Estas fugas de agua del sistema de distribución generaban problemas sanitarios al ingresar el agua de las acequias. El mantenimiento del encañado estaba dando problemas porque lo construyeron sin elaborar un mapa final del sistema, lo hicieron de memoria dejando señas en las paredes que, con el tiempo, se borraron. Pronto aparecería un problema aún mayor la escasez del flujo del agua

4 Macharé y Ortlieb, 1993, 40. Durante la colonia, Meganiños o de intensidad muy fuerte se dieron en los años de 1578 y 1728. Niños fuertes sucedieron en los años de 1593, 1596, 1624, 1686, 1701, 1720, 1747 y 1791, y Niños moderados, los años de 1574, 1803 y 1814.

5 Alva Hurtado, Meneses Loja y otros, 1991, 1-2.

6 Rivasplata Varillas, 2013, 107. Val Valdivieso, 2003, 47. La tubería cerámica de atanos daba lugar a una conducción limpia, segura y con pocas pérdidas relativas.

Plano 1. Ubicación de los barrios altos y bajos de Lima



Fuente: Elaboración propia.

para poder extender el sistema a otros puntos de la ciudad. Sin embargo, el Cabildo accedió a otorgar agua pública y privada, según las necesidades y solicitudes. Esto se debió al desmesurado aumento poblacional que Lima experimentó durante el periodo de estudio que debió provocar colapsos en el sistema. Incluso se empezó a extraer agua sin permiso del Concejo. Estos robos de agua no fueron denunciados en su real magnitud. En este punto, habría que tener en cuenta que al inaugurarse la fuente de la Plaza Mayor, Lima tenía aproximadamente diez mil personas y en 1600 había incrementado su población a 14.262 habitantes (incluyendo indios, negros y mestizos)<sup>7</sup>. Asimismo, la ciudad se extendía lentamente, ocupando más de las iniciales 117 cuadras de su fundación, es decir una extensión mayor de 215 hectáreas. No obstante, el crecimiento poblacional fue mayor a su expansión física, por lo que habría más solares cuyos ocupantes demandaban más criados y esclavos, o bien, viviendas convertidas en tugurios donde vivía la población de bajos recursos económicos.

Los primeros problemas se empezaron a manifestar en los barrios altos de la ciudad de Lima, ubicados a mayor altura que el resto del casco antiguo de la ciudad pues el terreno se eleva de forma paulatina en dirección a los Andes. Los barrios altos se encuentran a 600 metros al este de la Plaza Mayor de Lima, cuya mayor extensión se ubica sobre una cuesta que tiene una altura de 175 metros<sup>8</sup>.

La plaza de la universidad, más tarde denominada Inquisición, era la zona que dividía a la ciudad —desde un punto de vista hidráulico— en una parte alta y otra baja. Los barrios altos

7 López de Velasco, 1894, 463. Lohmann Villena, 1983, 270.

8 Panfichi Huamán, 1995, 15-42. Esta zona elevada de Lima tenía un centro ceremonial y un canal prehispánico, el Huatica, que extraía agua del río Rímac con el fin de expandir la agricultura y que se siguió usando durante la colonia.

tenían más agua y en esa zona la infraestructura reventaba por la presión del agua entubada. Los barrios bajos, por el contrario, necesitaban almacenes de agua para su distribución y reparto.

En este periodo, la zona denominada “barrios altos” se llenó de numerosos conventos, instituciones públicas y casonas que albergaban familias extensas con criados y esclavos. Por lo tanto, era un área de la ciudad muy demandante de agua fresca privada y pública. En los barrios altos descendía el agua entubada por gravedad, pero la constante fuga de agua del área entubada reveló la existencia de una mayor presión del agua en aquella zona. Esta pérdida provocaba la disminución de agua en los barrios bajos. Ante esta situación, los alarifes, maestros de obras, albañiles y cañeros entendieron la necesidad de que hubiera un mayor número de aliviaderos o almacenes de agua en esa zona, así como de una representación gráfica de la ubicación de las arcas, acompañada de un libro o registro de los beneficiarios directos del agua.

Además, el depósito llamado “Caja real”, que captaba el agua del manantial, y la tarjea, acueducto abovedado de ladrillo y cal, que llevaba el agua hasta la ciudad, tenían que protegerse para evitar que fuesen saboteadas fácilmente. Las autoridades y técnicos realizaban visitas periódicas para impedir la tala de árboles o la explotación agrícola a lo largo de su recorrido. El manantial requería una limpieza frecuente para eliminar los restos de vegetación, limos y barros que arrastraba el agua, que la ensuciaba y atascaba. Asimismo, las autoridades prohibieron actividades contaminantes en el sistema de distribución de agua para impedir la generación de enfermedades y pestes<sup>9</sup>.

“En la toma de agua, desde donde comienza a correr encañada, que es en su misma fuente, se hizo un cercado de cantería en forma de torre cuadrada, con una puerta, que de ordinario está cerrada con llave; viene el agua dentro por debajo de tierra, todo el sobredicho espacio, y es una grande acequia de tarjea labrada de cal y ladrillo, arqueada con sus alcantarillas y padrones a trechos hasta llegar a la ciudad: en ella entra y se reparte por arcaduces y atenores”<sup>10</sup>.

El sistema de atenores, arcaduces o cañerías y sus correspondientes arcas de reparto o almacenes estaban distribuidos por la ciudad para llevar el agua hasta las plazas y hacia el interior de patios, casas, palacios, hospitales, etc. Este sistema de reparto se basaba en la gravedad para conducir el agua a través de las cañerías, fabricadas en barro, cuyas piezas estaban machihembradas e impermeabilizadas con zulaque —betún en pasta hecho con estopa, cal, aceite y escorias o vidrios molidos para tapan las juntas de las tuberías— como en España<sup>11</sup>. Las cañerías no se ponían directamente en la tierra, sino que se insertaban dentro de un estuche de sección cuadrangular construido generalmente con ladrillos. Cada cierto tramo, se instalaban registros o aberturas tanto en el estuche de ladrillo como en el atenor correspondien-

te, para poder limpiar la cañería con facilidad y sin tener que hacerlo desde los extremos<sup>12</sup>.

Entre los constructores y reparadores del sistema de distribución de agua destacaron frailes, albañiles, arquitectos e ingenieros civiles y militares. Hubo una rápida difusión de la tecnología y del uso de mano de obra local que necesariamente produjo una mezcla de técnicas y conocimientos válidos en la práctica.

#### *PRIMER PROBLEMA: FALTA DE DESAGUADERO EN LA PLAZA MAYOR Y SU SOLUCIÓN*

Un problema que surgió al poco tiempo de ser inaugurada la fuente de la Plaza Mayor fue la evacuación del agua sobrante, que formaba grandes lodazales en las calles, por lo que a la par que avanzaba la cañería debían construir desagües, pero no lo hicieron<sup>13</sup>. De esta manera, durante tres años, la fuente de la Plaza Mayor no tuvo desagüero, algo tan elemental como un punto de desfogue había sido obviado ante la algarabía de tener agua fresca de manantial en la ciudad. Este olvido produjo permanentes encharcamientos y la pérdida del agua que debía ir a otros barrios más alejados<sup>14</sup>. En 1579 fue advertido este descuido y por fin al cabo de dos años de la inspección ocular para hacer el desagüero de la fuente de la Plaza Mayor, el 28 de julio de 1581, el Cabildo lo encargó a los comisarios y al juez de aguas<sup>15</sup>.

El 6 de octubre de ese año se nombró a una persona para que se ocupase de vigilar todo el sistema y mantener limpia la fuente de la Plaza Mayor. Este oficial fue Francisco de Morales, que recibiría cien pesos anuales por su trabajo. El Cabildo le entregó un juego de llaves de las cajas de agua de la ciudad y otro igual lo tendría el secretario del Cabildo. Sin embargo, no duró mucho tiempo, pues el 1.º de junio de 1582 se nombró en este cargo a un indio, Juan Isla, portero del Cabildo, con la misma obligación y salario. En 1583, el Cabildo ordenó a los regidores que habían asumido los cargos de comisarios de las fuentes que comprobasen que la fuente de la Plaza Mayor estuviera reparada, así como la

12 Registro: Abertura con su tapa o cubierta para examinar, conservar o reparar lo que está subterráneo o empotrado en un muro o pavimento (González, 1998a; Rojas de C., 1598, f. 84). Se ponía cada quinientos pasos un arca o descanso donde se recogía el agua y de un arca a otra se ponía cada cien pasos un lebrillo o arqueta de registro, que servía para hallar la quiebra del sistema sin desmontar toda la fábrica. Las cañerías debían seguir el trazado de las calles públicas para facilitar las reparaciones.

13 Cruz Cabrera, 1996, 134. En ciertos lugares en España, el Cabildo vendía en almoneda los remanentes o sobrantes de agua de las fuentes públicas, algo que no sucedió en Lima.

14 Esto no fue obviado en México ya que el agua del desagüe fue propuesta como energía para un molino (AGI. Gobierno México, 1088, L.1bis, F. 8r-9r, 22 de septiembre de 1530, “Real cedula al presidente y oidores de la Audiencia de México para que vean lo que solicitan los procuradores generales de Nueva España sobre llevar agua hasta la plaza principal de la ciudad para surtir a los vecinos, construyendo un molino que aproveche el agua que se perdiese a partir de la fuente”).

15 *Libros de cabildo de Lima, Libro noveno, Años 1579-1583* (10 de julio de 1579). El agua que manaba de la fuente de la Plaza Mayor proporcionaba agua fresca, pero, a la vez, formaba lodazales y focos de infección. Por eso, al año de abrirse la fuente, sus comisarios expusieron en la junta capitular del 10 de julio de 1579 la necesidad de un desagüero para esta fuente.

9 Val Valdivieso, 2003, 130. Las autoridades locales prohibían lavar trapos, hortalizas o cualquier otra cosa que generase suciedad bajo pena de multa. Costumbre que se arrastraba desde, al menos, la Baja Edad Media.

10 Cobo, (1639), 1964, 314.

11 González, 1998a, 360-361. Los arcaduces macho y hembra se zulaaban o unían a base de cal, estopa, polvo de ladrillo, escorias molidas, clara de huevo y aceite.

encañadura y las cajas. El gasto sería asumido por la sisa de la carnicería<sup>16</sup>.

Al cabo de diez años el agua que eliminaba la fuente provocaba charcos y mal olor pues el desagadero no era limpiado periódicamente, por lo que esta plaza tenía mal aspecto. Esta situación hizo reaccionar al virrey García Hurtado de Mendoza, exigiendo al Cabildo que tomara medidas ya que el ornato, limpieza y mantenimiento de la Plaza Mayor eran muy importantes. Ante esta situación, el encargado del desagadero, Pedro Falcón, fue despedido por no haber tenido cuidado de limpiar la pila y nombraron a Félix Rodríguez con un salario de cien pesos para que la limpiara y reparara en 1591, le siguió Jacomé Bricaino<sup>17</sup>. Este cargo de oficial de la limpieza de la fuente de la Plaza Mayor perduró hasta el fin de la presencia española en el Perú.

El uso de esta fuente por la población era diario y el desgaste obligaba a repararla y cambiar las baldosas de piedra constantemente. Más tarde, el número de fuentes, pilas y almacenes por la ciudad aumentaron y, muchas veces, el agua rebosaría sus contenidos, formando charcos que intentaban dirigir hacia las acequias, aliviaderos o desagaderos porque un sistema de hussillos o alcantarillas subterráneas aún no existía en Lima. El procurador de la ciudad, el juez de aguas, los comisarios y alguaciles de fuentes recorrían el sistema, pues las cañerías empezaron a romperse por la presión del agua y las reparaciones exigieron inmediatez. Las calles estaban encharcadas por las constantes fugas de agua. Este problema obligó a hacer desagaderos de las fuentes públicas que permitiesen eliminar el sobrante de agua. Ya había albañares y vaciaderos de las casas particulares e instituciones públicas que descargaban sus efluentes al río Rímac. El Cabildo ordenó que estos desagaderos debían hacerse a ras del suelo. Algunas casas tenían canalones altos y bajos que descargaban sus aguas en los desagaderos públicos, pudiendo producir estancamiento con los residuos sólidos y líquidos expelidos desde tales conductos, perjudicando el empedrado si lo había o creando lodazales de polvo y barro, en caso contrario. Pronto, el problema no solo fue la construcción de nuevos desagaderos sino sobre todo su reparación, como el que estaba en la plazuela de la Inquisición<sup>18</sup>. La conservación del buen estado de los desagaderos era fundamental pues caso contrario generaría filtraciones en las cañerías de agua dulce, con los consiguientes riesgos para la salud pública, especialmente graves si contaminaba los colectores.

Los vecinos de las ciudades eran los responsables del cuidado y limpieza de los tramos viarios inmediatos a sus viviendas, con la

obligación de hacer y mantener en buen estado los desagües que salían de sus casas, pero los de las fuentes públicas los asumía el Cabildo.

#### SEGUNDO PROBLEMA: LA FALTA DE PLANOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA ENCAÑADA

El 3 de julio de 1581, el Cabildo denunció que no había un libro en su archivo donde se anotaran los asuntos del agua de boca de la ciudad como la ubicación de las cajas del sistema de abastecimiento de agua potable ni los lugares donde se había realizado una encañadura o encañado. El Cabildo formó una comisión integrada por dos regidores que, con la ayuda de los maestros cañeros, detectaron marcas señaladas por los albañiles en las paredes y en otras partes de la ciudad durante el tendido de los conductos de agua. Estas marcas podían borrarse con el polvo y la garúa, perdiéndose esta información necesaria para las reparaciones del sistema. Los regidores del Cabildo consideraron que las conducciones debían ser reproducidas y anotadas en un libro para saber la ubicación de las cajas de agua y las principales conexiones de las cañerías.

Estas indicaciones dejadas por los cañeros en distintos puntos de la ciudad señalaban la ubicación de las canalizaciones, de los puntos de desfogue del sistema y de las arcas, puestas de trecho en trecho en el sistema. La importancia de estas anotaciones estaba en que permitían su inspección periódica y reparación en caso de detectarse averías en alguna parte del trazado<sup>19</sup>.

La sisa a la carne impuesta a la población pagó los gastos de inspección de la ciudad en busca de las marcas dejadas por los cañeros, la compra de un libro de anotación y los emolumentos del escribano que tendría que dar fe del acto de identificación para que el mayordomo del Cabildo desembolsara el dinero. Tal libro se guardaría en el archivo del Cabildo. En vista de que demoraba la apertura del mencionado libro, esta vez, a finales de enero de 1582, el procurador mayor solicitó que en aquel libro no solo se pusiese la ubicación de las tuberías, sino los nombres de las personas a quienes se les había concedido agua y autos que se habían hecho en razón de ello<sup>20</sup>. Así y todo, no han llegado a nosotros los inventarios de cañerías que el Cabildo mandó hacer. También se ha perdido la información sobre los depósitos o almacenes de agua que estuvieron repartidos por diferentes puntos de la ciudad, tanto la cantidad de pajas dadas como la totalidad de

16 Ibidem (4 de febrero y 6 de octubre de 1581).

17 *Libros de cabildo de Lima, Libro undécimo, Años 1588-1593* (6 de julio y 31 de agosto de 1590, 3 de abril de 1592). El 22 de enero 1594, este oficial de limpieza avisó de que se habían arrancado dos piedras del estribo de la pila de la Plaza Mayor. Posteriormente se comprobó que no se trató de un acto de sabotaje, sino que la fuerza del agua había reventado y quebrado las piedras de la pila de la fuente.

18 *Libros de cabildo de Lima, Libro décimo, Años 1583-1588* (21 de mayo de 1586 y 5 de junio de 1587). En la documentación utilizada mencionan muy poco a los desagaderos. Lo mismo ocurría en España. Por ejemplo, el investigador Cruz Cabrera (1996, 79) transcribe lo siguiente sacado de los libros cabildos de Baeza: "Nada se dice en estos documentos sobre la conformación de los caños de desagüe, tan necesarios para la evacuación de sobrantes y seguridad de la salud pública".

19 Mateos Royo, 2005, 143 (Vitruvio Polión, t. VIII, c. VII, 206-208). Los canales de mampostería cubiertos eran frecuentes en los acueductos situados fuera de las ciudades. Las cañerías o tuberías debían disponer de arcas o registros a tramos más o menos regulares con el objeto de que si se produjera alguna avería en cualquier parte de la conducción, no hubiese necesidad de revisar toda la tubería y se pudiese con facilidad encontrar el sitio en que se hubiese producido. Además de la reparación y limpieza del sistema, estos receptáculos facilitaban la acumulación hídrica y su filtración. El arca general recogía el agua de captación, de ella partía una red de cañerías con arquetas de registro cada cierta distancia.

20 Muy pocos planos del sistema de distribución de agua de América hispana de los siglos XVI y XVII se conservan, a diferencia del siglo XVIII. Por ejemplo, en el Archivo General de Indias se encuentra el plano de la antigua atarjea y otra de la nueva conducción del agua de Chapultepec por arcos (MP-México, 715 —año 1761—). El plano de las atarjeas y conductos de agua que abastecían a la ciudad de México, cerca del pueblo de Santa Fe, en AGI, MP-México, 545 (año 1754).

los usuarios. El desorden y el descontrol del Cabildo en asuntos documentales eran problemas crónicos tanto en Lima como en cualquier otra ciudad de la monarquía.

*TERCER PROBLEMA: LA CONSERVACIÓN DE LA CALIDAD  
Y CANTIDAD DEL AGUA DEL MANANTIAL  
QUE PROVEÍA DE LÍQUIDO AL SISTEMA*

El manantial de donde se extraía agua estaba rodeado de montes y árboles, cuyas raíces permitían que la textura del suelo fuera esponjosa y retuviese agua, pero la intervención humana a través de los desbroces, talas, explanaciones y el labrado habían provocado compactación o apelmazamiento de la estructura del suelo que provocaba alteraciones del drenaje natural. La experiencia había demostrado que la falta de agua que alguna vez se dio en la fuente de la Plaza Mayor se debía en parte a esta última causa, por lo que protegieron al manantial, cercándolo con cinco fanegadas de tierra y tapias<sup>21</sup>. El objetivo era conservar la calidad y cantidad de sus aguas.

A pesar de proteger el manantial, al poco tiempo fue necesaria mayor cantidad de agua para abastecer a la fuente de la Plaza Mayor y a otros puntos de la ciudad. Un año y medio después de inaugurarse la fuente, el 14 de julio de 1580, el Cabildo sugirió ingresar más agua a la cañería, procedente de otro puquio, con el consentimiento del virrey Toledo. De esta manera, una comisión conformada por el capitán Juan Maldonado de Buendía, Juan de Barrios y algunos albañiles fueron al nacimiento del manantial y examinaron el lugar y los alrededores para encontrar otro que aumentara la cantidad de agua fresca del primero, que se enviaba a la fuente de la Plaza Mayor. Finalmente, el 22 y 30 de enero de 1581, el Cabildo ordenó incorporar un puquio o manantial de agua para la fuente de la ciudad, según las condiciones de la obra primera y se determinó que el dinero provendría de la sisa el 23 de febrero de 1581<sup>22</sup>.

El agua de manantial era transportada por una cañería de doce kilómetros de longitud e iba envuelta en una masa de ladrillo cilíndrico con mezcla de calicanto (cal y arena) para su mejor protección. El diámetro de los tubos era entre 28 y 30 centímetros y de estas matrices salían ramales con tubos de menor diámetro, de 15 centímetros. Los tubos de cerámica con el interior vidriado tenían fragmentos de ladrillo que retenían los sedimentos, siendo destapados cada cierto tiempo para retirar el acumulado y dejarlo limpio<sup>23</sup>. Así, el agua del manantial que llegaba a las fuentes de la ciudad había reducido bastante los males estomacales que padecían los habitantes de Lima por beber el agua del río:

21 *Libros de cabildo de Lima, Libro Noveno, Años 1579-1583* (19 de mayo de 1581) (AGI. México, 1088, l. 3, f. 138, 9 de agosto de 1538). En un estado similar estaba la fuente de Chapultepec, de la que se proveía de agua la fuente de la ciudad (Salazar-Exaire, 2014, 60). Igualmente, la carencia de agua fue una problemática constante para los habitantes de San Andrés Chalchicomula a comienzos del siglo XVII.

22 *Libros de cabildo de Lima, Libro Noveno, Años 1579-1583* (9 de enero de 1581).

23 Arciga, 2011. El sistema de agua se impermeabilizaba con zulaque, al menos en Sevilla. La documentación no menciona nada al respecto en cuanto a Lima. Sin embargo, las excavaciones arqueológicas han confirmado que los tubos de conducción eran vidriados.

“El agua del río Rímac no es tan buena como la de los demás valles de estos llanos..., pero proveyole Dios de una fuente a tres cuartos de legua de la ciudad, de una agua tan buena, que los médicos no sé si quisieran fuera tal. Oí decir a uno de ellos, y el más antiguo que hoy vive, que la fuente de esta agua le habría quitado más de tres mil pesos de renta cada año, porque después que el pueblo bebe de ella, las enfermedades no son tantas, particularmente las cámaras de sangre, que se llevaban a muchos”<sup>24</sup>.

Las primeras denuncias sobre sabotajes, que personas anónimas habrían hecho en la toma matriz, es decir en la captación del agua, fueron realizadas desde 1583. El regidor y juez de aguas —Francisco Ortiz de Arbildo— fue a ver el daño hecho, llevando consigo al alarife para que comprobara y certificara la magnitud del estrago y detectara a los culpables para condenarlos. Llevó un escribano para que diera fe de la visita y al oficial de las fuentes, Juan Isla, a cuyo cargo estaba la vigilancia de la obra<sup>25</sup>. Esta denuncia fue la primera de las muchas que se dieron a lo largo de toda la colonia.

*CUARTO PROBLEMA: LOS PRIMEROS PROBLEMAS TÉCNICOS  
DE LA ENCAÑADURA POR LA PRESIÓN, LOS SEÍSMOS,  
EL ROBO DE AGUA Y SUS TENTATIVAS DE SOLUCIÓN*

Todo el sistema de distribución de agua, almacenes, cajas de agua, pilas y fuentes, requería mantenimiento continuo desde 1578. Este sistema no era perfecto por los constantes atascos en las tuberías. La limpieza, por su parte, era lenta porque implicaba cortar el agua por largos periodos de tiempo. La tubería de la parte este de la ciudad, conocida como los barrios altos, casi siempre estaba reventada por la presión del agua, que hacía necesaria la construcción de almacenes y aliviaderos por distintos puntos de la ciudad para bajar la presión y tener agua para surtir a las demás partes. Además, el agua no llegaba en cantidad suficiente para distribuirla por simple gravedad en toda la ciudad. La tubería, que circulaba bajo los caminos de la ciudad y de las acequias, estaba protegida del peso externo por una argamasa o mortero. No obstante, podía quebrarse por la acción de terremotos de gran magnitud, por el peso excesivo de los carretones o por la presión del agua. Además, las acequias circulaban muy cerca del encañado de agua potable, con alta probabilidad de contaminación a través de las roturas de las tuberías de barro vitrificado. De esta manera, la calidad del agua que tomaba el habitante de Lima podía llegar a ser de muy mala calidad si es que no se tomaban las precauciones necesarias.

Los albañiles medían la anchura del canal o marco por el que discurrían las aguas y el peso o presión que la propia agua ejercía al ingresar por el marco u orificio practicado en las planchas que eran colocadas en su camino en la atarjea o en las arcas de agua<sup>26</sup>. No se medía el caudal, pero se sabía teóricamente su existencia. Los orificios o pajas eran medidos de forma rudimentaria

24 Lizárraga, 2002, 83.

25 *Libros de cabildo de Lima, Libro Noveno, Años 1579-1583* (24 de mayo de 1583).

26 Castaño Hinojo, 1978, 118. Si tenían todos los agujeros del arca el mismo nivel no habría desigualdades en cuanto a la presión y disfrute de la misma.

con punzones durante las visitas e inspecciones mandadas hacer por el Cabildo con motivo de litigios de distribución y cantidad de agua otorgada o por denuncias de robos.

La disminución del agua en los barrios bajos hizo necesaria la construcción de varios almacenes desde donde acumular, decantar y repartir el agua<sup>27</sup>. El reservorio más importante estaba en el interior del hospital de la Caridad, en una de las esquinas de la plazuela de la universidad, también llamada de la Inquisición. Más tarde se construyeron otros dos almacenes que abastecieron al convento de la Encarnación y a la pileta de la Plazuela de San Sebastián, y otros más en conventos y casonas de vecinos principales. Sin embargo, las muestras del deficiente sistema de almacenaje y de conservación del agua eran evidentes. Por ejemplo, del agua que se escapaba de la caja de la Caridad se formaban grandes lodazales en 1583. La solución estaría en hacer otra caja por la acequia grande de Huatica y conducir el agua sobrante que se generara en la Caridad hacia una acequia<sup>28</sup>.

Las cañerías de particulares recibían el agua regulada a través de una placa de piedra o de bronce denominada marco en la que había practicados varios agujeros con el diámetro equivalente a la cantidad de agua que debían gozar los beneficiarios. Las fuentes públicas no tenían marcos para regular el agua que recibían directamente de la cañería del almacén. Esta cañería no era un sistema cerrado y los cálculos que hacían los maestros cañeros no eran exactos, pues se cometía un error importante: muchas de las pajas que circulaban por una cañería, iban a seguir haciéndolo por otras diferentes hasta perderse. Ello significa que se contaron varias veces las mismas cantidades, con lo que el cálculo total de agua conducida no se correspondía con el número real de pajas concedidas. Los vecinos compraban dos, una y media paja de agua y los conventos recibían de forma gratuita o por merced de tres a medio real de agua. Otro gran problema para el sistema de distribución de agua era los seísmos. El primer gran terremoto tras la fundación de Lima ocurrió durante el gobierno del virrey Fernando Torres y Portugal, conde de Villar Dompardo, el 9 de julio de 1586. Destruyó gran parte de Lima y El Callao e incluso provocó un maremoto<sup>29</sup>. Este seísmo habría causado graves daños materiales como el derrumbe de la torre de la catedral y otros edificios, así como el desprendimiento de peñascos del cerro San Cristóbal y el agrietamiento del terreno, que provocó graves roturas en el sistema de distribución de agua y acequias. Esto, aunado al hecho de que la cañería ya se rompía por la presión del agua, generó escapes en diferentes puntos de la ciudad, caso de la plaza de la universidad, específicamente en su pila pública y en las casas de la Inquisición.

El agua que llegaba a la fuente de la ciudad era escasa, las autoridades empezaron a sospechar que había algo más que fu-

27 Mateos Royo, 2005, 145. En Daroca, en la metrópoli, el agua era conducida mediante arcaduces de arcilla enterrados en el subsuelo coronados cada cierta distancia por arcos con el doble propósito de decantar el agua y permitir precisar el lugar de posibles roturas al constatarse si corría el agua a través de estas.

28 *Libros de cabildo de Lima, Libro Décimo, Años 1583-1588* (14 de agosto de 1583). Los encargados en dar orden para la ejecución de la obra eran los comisarios-regidores que contrataban los albañiles necesarios para ello.

29 AGI. Lima, 31. Carta del virrey conde de Villar al rey (Lima, 3 de noviembre de 1586).

gas de agua por roturas del encañado. En Lima se empezaron a detectar los primeros fraudes a finales del XVI y a adoptarse las primeras medidas en el XVII. La primera denuncia de robo de agua fue realizada el 11 de mayo de 1587<sup>30</sup>. En alguna parte, la cañería había sido abierta sacando el agua del sistema de conducción que iba a la Plaza Mayor. Sin licencia del Cabildo y sin haber pagado nada, hacían uso de ella. Los regidores indicaron que esto debía corregirse, pues perjudicaba a todos y convenía cerrar las partes abiertas de las cajas de agua. El regidor Martín de Ampuero fue elegido para esta comisión, pero no lo hizo, así que fue reiterada esta petición el 26 de junio de 1587<sup>31</sup>.

Las autoridades del Cabildo acordaron poner algún vigilante para capturar a los infractores del robo de agua del sistema de conducción. Pese a todo, continuaron durante todo el periodo colonial, aumentando los orificios o rompiendo el marco por abajo para que filtrase mayor cantidad de agua. Los albañiles participaban en el robo de agua por dinero, al abrir más los agujeros sin permiso de la alcaldía durante las labores de mantenimiento o reparación y limpieza. Personas no autorizadas podían acceder a los depósitos por la facilidad de alterar marcos de reparto y provocar adulteración y fraude.

Como indica la historiadora Val Valdivieso lo que ocurre en Lima es análogo a lo que sucede en cualquier ciudad de la metrópoli:

“Garantizada la llegada de agua a la ciudad, el concejo debe velar para que todos los vecinos tengan acceso a ella, y es aquí donde se produce otro nivel de intervención. El agua se pone a disposición del vecindario mediante fuentes públicas, pero esto no satisface a todos. Esto explica que algunos vecinos quieran disponer de caño propio y esto puede hacerse por dos vías: captando, sin autorización, agua de la conducción pública, o bien consiguiendo el pertinente permiso para hacerlo”<sup>32</sup>.

En este contexto, en el año de 1588, los vecinos empezaron a solicitar al Cabildo la adquisición de pajas de agua más asiduamente. Recordemos que nueve y cinco años atrás ya se había dado al convento de San Francisco y a la Inquisición, desde entonces no hubo más peticiones ya que la estaban tomando sin permiso o se abastecían de la fuente pública. El 15 de febrero de 1588 se produjo la tercera petición de agua de una institución religiosa a través del prior del convento de Santo Domingo, fray Reginaldo de Lizárraga, que solicitó cuatro pajas de agua para hacer una pila en el claustro de la casa. El corregidor Francisco de Quiñones y el capitán Diego de Agüero examinaron la petición y dieron la orden de que se diese el agua que les pareciera, pero sin perjuicio de la que iba a la fuente principal.

30 Val Valdivieso, 2003, 45 y 55. Casi en todos los lugares en que hay una obra de conducción de agua al casco urbano se producen apropiaciones particulares indebidas del agua de la ciudad, tomándola de los conductos generales, a veces a escondidas. Esto provoca el descontento del grueso del vecindario, que se siente amenazado en sus derechos.

31 *Libros de cabildo de Lima, Libro Décimo, Años 1583-1588* (26 de junio de 1587), Carmona, 2000, 76. Por ejemplo, en Sevilla, el agua de las cajas y depósitos municipales que servían para la redistribución del agua era robada y la red de tuberías era manipulada con objeto de consumir en beneficio propio o de aumentar el aporte que se recibía (Carmona, 2000).

32 Val Valdivieso, 2003, 123.

Los problemas del agua conducida por las tuberías estaban manifestándose más asiduamente desde 1587. Una de las más graves era la rotura de las cañerías y el encharcamiento que humedecía las casas y provocaba amenaza de derrumbe. Se dio un caso interesante de un vecino, Juan de Bilbao, que había entablado un pleito con el Cabildo porque el agua de la cañería causaba destrozos materiales de forma periódica en su casa. El 30 de marzo de 1588, el procurador Garci Pérez sugirió que era más provechoso comprar la casa para la ciudad a censo que repararla, ya que el Cabildo estaba condenado a hacerlo regularmente por el daño que el agua desbordada hacía en ella. Finalmente, se decidió comprar la casa y pagarla de propios<sup>33</sup>.

#### EL CONTROL POLÍTICO DEL AGUA DE BOCA EN LIMA

El poder económico que alcanzó el virreinato del Perú debido a la minería fue máximo en el periodo estudiado y trajo prosperidad a otros sectores económicos. En este contexto, el concejo concentró una parte de sus esfuerzos en la política hidráulica en cuanto a la gestión, la construcción, el mantenimiento, reparación de fuentes y pilares, así como su fiscalización, financiación e inspección directa, respondiendo a la responsabilidad del concejo de abastecer a sus vecinos y aumentar el prestigio de la ciudad<sup>34</sup>. El poder que tenía el Cabildo se ponía de manifiesto en su titularidad sobre el agua y en la capacidad de poder disponer de su uso, obligando a la población a que aceptara sus decisiones, al punto de exigir tributos por su usufructo a modo de sisas, es decir, pagos extraordinarios<sup>35</sup>. La población cooperaba con sisas para ampliar el sistema. Sin embargo, la retribución no siempre era justa porque el Cabildo estaba controlado por los poderosos del lugar a quienes favorecía, pero no por eso dejaba de cumplir en lo básico con la población, pues el agua se percibía como un bien público y comunal. El Cabildo tenía el poder de dar agua al barrio que considerase por los motivos que fueran, ceder su usufructo a particulares, controlar su utilización, obteniendo de todo ello claros beneficios<sup>36</sup>.

Sin embargo, el ejercicio del poder se basa en pactos que implican un acuerdo interno, tácito entre los gobernantes y los gobernados. Así, los problemas de mantenimiento se solucionaban a través del Cabildo, que negociaba con los sectores privilegiados e instituciones públicas y privadas, conciliando los intereses particulares a fin de desarrollar un proyecto en común, ya que los órganos de gobierno urbano se presentaban como los garantes de los intereses de toda la comunidad<sup>37</sup>. Esto obligaba a quienes ejercían el poder a hacerse aceptables para el conjunto

de la población, siendo de vital importancia el papel que ejercía el Cabildo como garante del bien común. Para conseguir ese fin, el agua jugó un destacado papel, garantizando su disponibilidad en cantidad y con la calidad suficiente para mantener satisfecha a la población. La obligación del Cabildo fue unir a la población, reforzando el sentimiento de pertenencia a su localidad, haciéndolo a través del prestigio que deparaba la disponibilidad de agua en el ámbito público y privado<sup>38</sup>.

Pero, en realidad, los que realmente se beneficiaron del agua fueron la elite religiosa, sobre todo conventos, y la laica, como los regidores, encomenderos y funcionarios<sup>39</sup>. Las personas particulares y las instituciones religiosas que tenían las relaciones de poder suficientes obtenían una concesión de agua a pesar de que pudieran derivarse perjuicios para el resto de la población. Tal como indica Val Valdivieso:

“Se considera el agua como un instrumento de poder, del que se sirven los poderosos para marcar su privilegiada condición, afianzar su posición y hacerse aceptables al conjunto de habitantes. Porque el agua permite marcar diferencias sociales y es un instrumento que favorece el control y la regulación de los intereses y actividades del vecindario, así como la ampliación del ámbito de intervención concejil”<sup>40</sup>.

El poder del Cabildo se dejó sentir sobre los vecinos al obligarlos a actuar según unas normas impuestas, que no siempre coincidirían con su voluntad o con sus intereses, lo que denotaba su poder en el control del uso del agua en la ciudad, estando sometidos a su autoridad y constreñidos a seguir unas pautas de conducta impuestas por quien les gobernaba, fuesen o no de su agrado. De esta manera, el Cabildo tenía que cumplir con el deber de todo buen gobernante de mantener el orden y la paz, garantizando los recursos que satisficieran las necesidades de todos los integrantes de la comunidad. Los regidores tenían el poder de controlar e intervenir sobre el uso del agua, indicando a la población parámetros a cumplir, así como evitar la polución del agua de boca. Por eso buscó ingresar más agua de otros manantiales: para aumentar su cantidad y calidad<sup>41</sup>.

El agua potable pertenecía al Cabildo o a la ciudad y la concedía como usufructo a la población. La prioridad de acceso al agua la tenían las fuentes públicas, pero lo más selecto de la elite laica y religiosa accedía al agua por merced, es decir regalado, y otros lo compraban. La presión que la elite ejercía sobre el Cabildo para definir el trazado de la distribución de

33 *Libros de cabildo de Lima, Libro Decimonoveno, Años 1621-1624* (3 de marzo de 1622). Otro caso se dio en 1622 cuando se entabló un pleito judicial entre un vecino llamado Francisco Quintero contra el Cabildo en la Real Audiencia por haber puesto una caja de agua en sus casas, habiéndole producido daño y molestia en sus propiedades. Pedía una reparación civil de 1300 pesos.

34 Álvarez, 1985.

35 Val Valdivieso, 2003, 117, 201 y 133. Al final de la Edad Media, las miradas propias y ajenas perciben que las acciones emprendidas en una ciudad para mantenerla bien abastecida, limpia y hermosa se hacen con el objetivo de verla más honrada y más poderosa.

36 *Ibidem*, 64-69.

37 Mateos Royo, 2005, 153. Val Valdivieso, 2003, 19.

38 *Ibidem*, 190. El agua dispensadora de rentas y recursos del poder.

39 Izquierdo Benito, 1985, 1081. En aquellas ciudades en que junto al poder público o temporal (concejo) podía existir un poder eclesiástico importante (catedral, con su respectivo obispo y Cabildo), los conflictos entre uno y otro, por diversos motivos, podían ser frecuentes.

40 Val Valdivieso, 2003, 46, 54 y 65. Ese papel ennoblecedor del abastecimiento no es privativo de los espacios públicos, afecta también a los privados.

41 *Ibidem*, 49, 139, 140 y 161. Los Cabildos perseguían el mantenimiento del orden y tienden a dar un trato de favor a sus vecinos frente a los foráneos.

agua y su acceso a ella era por diversas vías<sup>42</sup>. Ante todo primaba la presión política del virrey sobre los regidores del Cabildo para que favoreciese a sus favoritos. A tal punto que Francisco de Toledo arrebató al Cabildo la facultad de nombrar al juez de aguas e impuso ciertos criterios a través de este funcionario que favorecieran el abasto en ciertos tramos de la ciudad. Otra presión era monetaria, pues quien diese dinero tenía derecho al agua porque contribuía en la ampliación del sistema: en un comienzo como préstamo para ser retribuido con las sisas y posteriormente en forma de donación como la presión máxima para tener agua. Otras maneras de presión eran las peticiones de suministro privado de particulares con poder político importante, incluso ofrecimientos de crear almacenes en casas o conventos para proporcionar agua a las fuentes públicas que encubrían la verdadera intención de obtener agua para sí. Finalmente, el robo sistemático y en gran magnitud de agua, que se producía desde la misma implantación del sistema<sup>43</sup>.

A fines del siglo XVI, la demanda sobre el agua aumentó debido a problemas climáticos, al crecimiento demográfico de la ciudad y al mayor poder político que alcanzaron las elites afincadas en Lima. En el periodo de 1578 a 1599, el poder conventual influyó en las decisiones que tomaba el Cabildo en cuanto a la distribución del agua en la ciudad de Lima. El Cabildo se vería obligado paulatinamente a conceder el uso del agua a todas las comunidades religiosas y hospitales, ya que los favores espirituales que derivaban de la existencia de conventos y casas pías en la ciudad eran, en la época, un bien tan cuantificable como cualquier otro de tipo material.

Las fuentes y las pilas eran los destinos finales del sistema de conducción de agua por atadores, que fueron ampliándose por las calles de Lima en la medida en que los vecinos solicitaban disfrutar de agua potable, fuera por compra o por merced. Jugaron un papel muy importante en la ampliación del sistema los conventos, que prestaban dinero al Cabildo para que el agua llegase hasta sus barrios y una vez allí no solo abastecieran de agua al convento sino a la plaza o plazuela principal del lugar. Su vigilancia y mantenimiento estuvo en manos de un oficial de fuentes que tenía que mantenerla limpia y visitar toda la cañería, que incluía el manantial, la atarjea, todos los almacenes, cajas de agua, pilas y fuentes<sup>44</sup>.

La limpieza periódica de las fuentes, pilas y almacenes de agua era una tarea que recaía sobre el concejo, que buscaba acrecentar el prestigio urbano de la ciudad y velar por los intereses de la población al regular asuntos referidos a la salubridad, a la higiene colectiva, a la cantidad de agua de consumo y a la

evacuación de aguas sucias<sup>45</sup>. A través de comisiones, los regidores administraban el trabajo de un oficial que se encargaba de velar por el mantenimiento y limpieza del sistema desde “su nacimiento hasta la pila de la plaza” y recibía cien pesos de plata al año de la sisa de la carne. Estos oficiales que eran capataces contrataban, a su vez, a indios o negros, quienes realizaban el verdadero trabajo. De esta manera, los comisarios y los oficiales serían un ejemplo de la burocracia colonial jerarquizada, pues los que al final realizaban el trabajo recibían ínfimas pagas o a veces ni las recibían conformándose, muchas veces, solo con la comida diaria prometida. Este sistema de distribución de agua requería de mantenimiento e inspección constante de ahí la contratación de un capataz que se hiciera cargo expresamente de esto, bajo el control de los comisarios de la fuente que eran dos regidores que el Cabildo elegía.

El surgimiento de nuevos puntos de abastecimiento de agua corriente obedeció a la política concejil y a la iniciativa privada. En el caso limeño, la construcción de pilas públicas fue impulsada por el Cabildo, los vecinos pudientes y los conventos que solicitaban una fuente en el interior doméstico de sus recintos. Los gastos anuales del mantenimiento de este sistema de distribución de agua eran pagados de la sisa de la fuente y de las derramas de los propios vecinos<sup>46</sup>. En Lima, la difusión del agua de “pie” o corriente acabaría dependiendo del número de interesados en ella, número que aumentó al ritmo que lo hicieron las mercedes de agua concedidas por la Corona.

En el caso limeño —como ya se mencionó— el agua pertenecía a la ciudad y el Cabildo podía disponer de ella cuando quisiera y quitársela a cualquiera en caso de emergencia. Este sistema de distribución de agua era público, nunca privado. La posesión del agua era del Cabildo y el usufructo de la población, pero la elite y la Iglesia se resistieron. Por eso, consumían más agua que la concedida, muchas veces sin pagarla siquiera, conducta que afectaba a todos los usuarios y que el Cabildo ya no pudo tolerar en el siglo XVII a causa de la escasez de agua. No hay que olvidar que Lima está en medio de un desierto, por lo que el Cabildo se obligó a gestionar mejor el uso del agua<sup>47</sup>. Además, a fines del siglo estudiado se dio en forma consecutiva una serie de años con oscilaciones climáticas severas que provocaban aumento y disminución drástica del caudal de agua de escorrentía y subterránea, que afectaban al sistema de distribución de agua de Lima<sup>48</sup>.

45 Val Valdivieso, 2003, 129. Bonachia, 1996, 194. Bonachia, 1998, 63. Además de razones de salubridad y abastecimiento de la población, las fuentes eran componentes de utilidad pública, de prestigio y de ornato urbano “para ennoblecimiento”, acrecentar su “pro e honra de la villa y de los que en ella viven”.

46 La sisa impuesta en la carne fue muy utilizada para abastecer la ciudad de agua. Así, por ejemplo, en AGI. Santo Domingo, 899, l. 1, f. 229v., 31 de agosto de 1561 (Real cédula que “echase un maravedí de sisa en cada arrelde de vaca que en la ciudad se vendiese y se gastare en traer el agua del río...”).

47 Macharé y Ortlieb, 1993, 40. “El agua ha sido siempre un bien muy valioso, máxime en lugares con escasez o dificultades de transporte y distribución... este bien tan valioso como escaso, convertido en un auténtico signo de poder, alcurnia y distinción. Por esta razón el concejo, la Iglesia y los vecinos de elite mantuvieron fuertes intereses en el control del agua de boca que iban a menudo en perjuicio de los derechos del vecindario”.

48 Idem. Fenómenos del Niño de grado muy fuerte se dieron en 1578, fuerte en 1593 y 1596, y moderado en 1574.

42 Ibidem, 191. “Los regidores tienden a aparecer como garantes del interés colectivo. Lo que persiguen es mantener el orden y hacer posible a algunas personas poderosas ciertas conductas irregulares abusivas que pasarían desapercibidas en la medida en que no supusieran una agresión directa a las necesidades básicas del resto del conjunto social”.

43 Castaño Hinojo, 1978, 116.

44 Ibidem, 117. La obligación de los cañeros era ver dos veces al año los caños y lumbreras de fuera de la ciudad, por donde viene el agua, debiendo limpiarlas y vigilar para que no se usaran para otros fines.

## LA FINANCIACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL AGUA

El Cabildo se ocupaba de la financiación de la actividad urbanística y, por ende, del encañado. La ampliación de las cañerías requirió de prestaciones financieras vecinales, imposiciones tributarias y penas pecuniarias impuestas por el Cabildo<sup>49</sup>. Las ciudades afrontaban grandes gastos en la traída del agua, en el mantenimiento de las instalaciones y en la infraestructura necesaria para garantizar la provisión de agua suficiente en el interior de la ciudad.

La expansión demográfica y económica en Lima generó una creciente demanda de agua en la ciudad. La función del Cabildo fue esencial para conseguir ayuda financiera y negociar con particulares e instituciones con el fin de que la ampliación de la cañería se hiciese realidad<sup>50</sup>. El interés común por el mantenimiento del encañado obligó al Cabildo a establecer pactos con la elite religiosa y laica y la población en su conjunto. El virrey en este aspecto desempeñó un papel importante, así como el Cabildo, para lograr consensos sociales en la regulación y distribución del agua. Sin embargo, los intentos resultaron infructuosos por la lentitud en las obras. Una de las razones sería que las materias primas eran proveídas por la elite laica y religiosa local, por lo que obtenían importantes ingresos<sup>51</sup>. Además, estaba el robo de agua del encañado, circunstancia que hacía muy difícil lograr un consenso, pues todos buscaban su bien propio por encima del colectivo.

La ampliación del encañado en Lima fue complicada, costosa y lenta. En el siglo XVI, el Cabildo solía tener sus arcas casi vacías y para obras de envergadura tenía que recurrir a mercedes reales otorgadas por el mismo rey, pedidos a través del virrey o, en ausencia de este, al presidente de la Real Audiencia. La precariedad económica había reducido el papel del mayordomo a buscar en cada caso los recursos económicos, en un desempeño profesional muy ligado a lo que ahora identificaríamos como el día a día. Su competencia era la administración del tesoro municipal que procedía, sobre todo, de la renta de los propios, es decir, del alquiler de los bienes rústicos y urbanos que el Cabildo reservaba para sí mismo. Sin embargo, Lima solo sacaba de ahí parte del dinero que necesitaba, de manera que constantemente tuvieron que solicitar ayudas económicas a la Corona y a las autoridades coloniales; en su defecto, no le quedaba otro remedio que acudir a los vecinos.

De esta manera, los gastos de la ampliación del encañado provenían en parte de los propios y rentas concejiles que estaban destinados a arreglar la infraestructura pública, pero no eran suficientes. Así, el Cabildo se vería en la necesidad de recurrir a censos enfiteúticos, contratos de arrendamientos, ingresos procedentes de la actividad mercantil, renta de mojonaría, préstamos, enajenaciones, penas de cámara y fisco procedentes de infraccio-

nes, etc. Pero casi de continuo acudía a ingresos extraordinarios que eran las sisas, derramas o repartimientos de diferentes cantidades entre los vecinos pecheros de las colaciones o barrios<sup>52</sup>.

Las sisas eran ayudas extraordinarias y puntuales provenientes de la población para hacer frente a gastos que excedían los ingresos ordinarios de los propios del Cabildo<sup>53</sup>. Se trataba de un impuesto indirecto que facilitaba su recaudación municipal. Unos derechos reales basados en el impuesto sobre el intercambio y la transformación de ciertos productos que eran cedidos por el rey a las ciudades reales para su autofinanciación. La ciudad solía renunciar a su percepción directa, optando, por el contrario, por arrendarlos a particulares, procedentes en su mayoría del sector poderoso de la comunidad, capaces de aportar un numerario suficiente a la recaudación directa de las imposiciones entre la población<sup>54</sup>. Las sisas gravaban los productos esenciales<sup>55</sup>. En el caso limeño, este impuesto se impuso en la carne y, a veces, en el vino. De otra manera, no hubiera sido posible hacer la ampliación y mantenimiento de las cañerías, pues eran muy caras.

A veces los gastos se hacían por prorrato, según las pajas de agua que algunos vecinos disfrutasen. Por un tiempo los estratos privilegiados aceptaron contribuir, incluida la Iglesia, pero algunos religiosos se quejaron y se les devolvió lo invertido a comienzos del siglo XVII.

La sisa de la carne fue un impuesto, una forma de repartir los gastos, que se renovaba periódicamente y era el medio más efectivo de obtener dinero rápido. Se empezó a utilizar durante la construcción del sistema de agua entubada hacia la fuente de la Plaza Mayor en la década de los setenta del siglo XVI. Una vez que se alcanzó este objetivo, la sisa se utilizó para reparar tajamares, tender tuberías por la ciudad y construir almacenes y cajas de agua.

La primera sisa solicitada por el Cabildo para obras de alto costo, consistió en gravar los artículos de importación que entraban a la ciudad, pero —finalmente— se impuso la sisa sobre la carne, un producto que consumían todos los moradores y vecinos de la ciudad, quienes al ser beneficiarios directos de las mejoras que se hicieran en la ciudad, tendrían que asumir estos gastos. El 23 de mayo de 1578 se implantó la sisa de la carne por el virrey Francisco de Toledo. Una sisa de seis años destinada en sus dos terceras partes a la construcción del sistema de distri-

52 Martín Fuertes, 1985, 605. Monturiol González, 1985, 1037. Val Valdivieso, 2003, 46 y 113-114. El gasto era tan grande que se recurría a la contribución puntual de los vecinos. Esta forma de proceder era propia de la Baja Edad Media, pues ya Alfonso XI lo autorizaba. Pero parece ser que, en la segunda mitad del siglo XV, su utilización empezó a ser más frecuente, seguramente porque es, entonces, cuando los gastos de las obras públicas se incrementan de forma notoria, como por ejemplo las conducciones y la construcción de fuentes y todo tipo de reparaciones.

53 Monturiol González, 1985, 1047-1056. La sisa era una pervivencia de imposiciones financieras que los vasallos daban a su señor feudal.

54 Furió y García, 1985. El valor legal de esta cesión se ponía de manifiesto cada vez que la ciudad hacía uso de esos derechos; así en los contratos de arrendamiento de las sisas, el texto se encabeza siempre con la reproducción del documento de la cesión real.

55 *Ibidem*, 1625-1626. Las sisas gravaban el vino, la carne, la molienda de granos, la manufactura del pan (tahona), los animales, los bienes raíces, los paños y el lino.

49 Álvarez, 1985, 159.

50 Mateos Royo, 2005, 131 y 148. El papel de los concejos fue esencial, no solo como promotor financiero, sino también como la única institución pública que podía unir a todos los estratos locales para aceptar el proyecto en aras del bien común.

51 Cuartas Rivero, 1985, 241. Este historiador se pregunta si intereses creados pueden alargar la ampliación de la cañería en una ciudad.

bución de agua potable y una tercera parte para los muros de contención del río Rímac. Todos, religiosos y laicos, cooperaron en la construcción de la fuente y los gastos se repartieron entre los vecinos, moradores de la ciudad y entre otras personas que estaban en la comarca. De todos los mencionados, al menos los vecinos fueron empadronados para saber cuántos eran y llevar la contabilidad.

A pocos años de inaugurada la fuente de la Plaza Mayor, la encañadura de agua empezó a hacer visibles sus primeros defectos. El 13 de agosto de 1582, el Cabildo debatió la necesidad que tenía la ciudad de hacer reparaciones en el sistema de distribución de agua. Sin embargo, sus arcas carecían de liquidez, estaban sin propios, e incluso debían 10.000 pesos, y lo que había de la sisa de la carne era muy poco. Los regidores pidieron echar sisa al vino que se consumía en la ciudad por tres años, la cual también pagarían todos<sup>56</sup>. Incluso en 1583, el Cabildo decidió que los vecinos de las parroquias de San Marcelo y San Sebastián contribuyeran monetariamente en su construcción, al ser los principales beneficiarios, pues resultaba “conveniente y justo”. Entonces, el Cabildo determinó que se echara de sisa un real por arroba de carne de vaca, pues entonces costaba solo seis reales, habiendo estado otros años a ocho y nueve. E incluso, esta vez, se impuso sisa al vino de la tierra que se vendía al por menor a dos reales por cada botija. Medidas impuestas por tiempo limitado y sujetas a la confirmación del virrey Martín Enríquez de Almansa.

El Cabildo necesitaba la sisa de la carne para continuar con las obras públicas y la ampliación de la cañería, pero a veces —a solicitud de los regidores— se quitó, alegando sobreprecio de la carne, que llegó a estar tan cara que la gente se abstuvo de comprarla. La eliminación de la sisa del 1 de septiembre de 1586 hizo que se detuviese la obra de las fuentes, generando problemas, por lo que se volvió a poner para instalar tuberías que llevaran el agua potable a otros puntos de la ciudad y así todos participasen de este beneficio.

En la ciudad de los Reyes, todos pagaban el impuesto de la carne para la construcción de la infraestructura necesaria, al menos en el XVI, pues a partir del XVII se eximió de tal pago a la Iglesia, incluso se les devolvió el dinero entregado. En el periodo estudiado, 1578-1599, los impuestos afectaban a todos, pues la ampliación y mantenimiento del sistema de agua potable conllevaba importantes gastos que los contribuyentes debían sufragar mediante exacciones extraordinarias o impuestos, aunque esos sistemas hidráulicos sí terminaban beneficiando a algunos de forma legal o subrepticia, porque introducían en sus casas una conducción de agua próxima. Muchos de estos beneficiarios obtenían agua de forma gratuita porque las autoridades entregaban mercedes o cedían gratuitamente el agua a los más poderosos y el sistema terminaba beneficiando a estos. Así, el agua de uso común, cuya conducción se había realizado gracias a los impuestos de los contribuyentes, ofrecía a un grupo, con frecuencia no contribuyente, la posibilidad de utilizarla como propiedad privada<sup>57</sup>. Pese

a considerar el agua como un bien gratuito, la comunidad pagaba la infraestructura, los gastos de funcionamiento del sistema y el mantenimiento de la calidad del agua suministrada.

El agua concedida a los vecinos que lo solicitaban era dada en usufructo y no como propiedad, por lo que el Cabildo podía cortarla o racionarla cuando le pareciese. Al menos en teoría, la prioridad era el agua que llegaba a las fuentes públicas.

Los vecinos anhelaban tener agua de cañería, pero el Cabildo no podía satisfacer a todos por la escasez de fondos, entonces en 1586 se produjo el primer préstamo de un vecino para la conclusión de una caja de agua, con la condición de la devolución del dinero. Se trataba de un desaguadero que estaba junto a las casas de Baltasar de la Cruz que no terminaba de concluirse por lo que se decidió finalmente capturar este agua, que se escapaba y anegaba las calles, en una caja de agua para el almacenamiento y la conservación del agua potable<sup>58</sup>. Este trabajo hubiera sido realizado con la sisa de la carne, pero no se hizo por haber poco dinero en ella. En este contexto, el 14 de noviembre de 1586, el fiscal de la Real Audiencia —licenciado Carbajal— ofreció dinero para terminar esta caja de agua, pero asegurándosele su devolución cuando la sisa de la carne lo tuviese: entonces se acordó que los regidores Francisco Ortiz de Arbildo y Luis Rodríguez de la Serna hiciesen la obra tomando los oficiales que fuesen necesarios y los materiales que conviniese y libran lo necesario de este préstamo que estaba en poder del mayordomo.

El agua se obtenía por concesión o venta del concejo, como órgano representante del común, siendo plenipotenciario en los otorgamientos de tales escrituras. El otro modo de obtener agua era por robo ilegal por rotura de las cañerías. Acto que fue perseguido porque no solo mermaba el caudal de las fuentes públicas sin dejar beneficio económico alguno, sino que además ocasionaba grandes gastos en reparaciones.

¿Cómo se calculaba la medida de agua y, por consiguiente, su precio? Lima utilizó como medida básica la “paja de agua”, que equivalía a la cantidad de agua que salía por un orificio del diámetro de un tallo de centeno que podía fraccionarse en medias y cuartas<sup>59</sup>. En el periodo de estudio (1578-1599) la paja de agua costaba 400 pesos, pero la tendencia sería bajar esta tarifa en los siglos siguientes. El primer vecino que pidió agua de la fuente para introducirla en su casa fue la encomendera doña Jordana Mejía. En la Junta Capitular del 4 de noviembre de 1588 se ordenó al regidor Francisco de León para que lo gestionara y comunicara lo que hiciera al Cabildo<sup>60</sup>. El 11 de noviembre de 1588, el regidor dio relación sobre el agua concertada por 400 pesos corrientes

ser iguales para todos, pues dependían del poder y de la riqueza de cada persona o grupo”).

58 Levillier, 1925, 134. La caja recogía el agua y desde ella se encauzaba a cualquier destino.

59 El Cabildo limeño guardaba medidas de pesos de mercado, aunque no se sabe si tenía medidas de las pajas de agua (Maier Allende, 2005, 51). Se desconoce el origen, pero es antiguo. Se practicaba con el tallo una incisión en una superficie de barro fresca quedando un orificio de tamaño similar.

60 Almorza Hidalgo, 2012, 1. Jordana Mejía era encomendera, viuda de Melchor Verdugo. Heredó la encomienda de Cajamarca y fundó un obraje en ella. En Lima, la casa de Jordana Mejía fue de las pocas que tuvo fuente privada. Estas viudas y familias de encomenderos fueron las encargadas de recibir y alojar a los virreyes.

56 Hinojosa Montalvo, 1997-1998, 157-170. El impuesto de la sisa era una fuente de ingresos para la hacienda local.

57 Segura Graiño, 2003, 17 (“Las instituciones públicas posibilitaban una apropiación del agua para usos privados, pero estos usos particulares no podían

de a nueve reales que se había de dar a Mejía. A su petición, el trato fue hecho por escrito estipulando que la cantidad de agua a darse fuese una paja “que no excediera de un cuartillo” y que el lugar a tomar fuese con el parecer del alarife de la ciudad<sup>61</sup>. De esta manera, si alguna persona quisiera agua de la fuente, tenía que pagar la cantidad precisa y pactar con el comisario que debía llevar el concierto al Cabildo para que quedara constancia. El dinero recaudado de la venta de pajas de agua habría de utilizarse para las obras de mantenimiento del encañado. En 1589 se habría realizado una inspección ocular de todo el sistema de distribución de agua, gastándose en ello lo necesario del dinero que entregó Jordana Mejía “por ser negocio de mucha importancia el agua que venía a la ciudad para la salud de todos los moradores y habitantes”<sup>62</sup>.

Los vecinos exigían la construcción de más fuentes de agua fresca en otros puntos de la ciudad. El virrey García Hurtado, III marqués de Cañete, y la mayoría de los oidores de la Real Audiencia estaban de acuerdo en la necesidad de hacer fuentes en la parroquia de San Sebastián, San Marcelo y otros lugares, conforme a la primera traza de la obra principal de la fuente. Incluso algunos regidores pidieron echar sisa al vino y a otras carnes para obtener dinero con el fin de acelerar la ejecución de estas obras públicas. Los vecinos moradores de aquellas partes de la ciudad lo exigían ya que habían contribuido en la sisa de la carne de vaca para acabar la obra de la fuente de la Plaza Mayor, la reparación de las barreras de contención para proteger las barrancas del río y la construcción del puente de la ciudad. Todos eran conscientes de la necesidad de hacer más fuentes y otras obras públicas. Por esas razones, el 29 de octubre de 1590, los regidores votan a favor de que continuara la sisa de la carne de vaca que se pesaba en la carnicería a medio real cada arroba, acordándose pedir al virrey García Hurtado de Mendoza que echara sisa al carnero que se rastrea en la ciudad porque el dinero recaudado de la de la vaca resultaba tan poco que la imposición de otras sisas era imprescindible. Así, este virrey aplicó la sisa para la construcción de otras fuentes el 8 de febrero de 1591. La aplicada a la carne de vaca que se pesaba en la carnicería era de medio real por arroba, y la aplicada a los carneros que se vendían en el rastro era de un real por cabeza.

Las reparaciones del sistema de distribución de agua potable eran habituales y los gastos crecían. El juez de aguas pidió 40 pesos para arreglar la compuerta o evacuación del desagadero principal que salía del hospital de la Caridad, y con el parecer del alarife, el mayordomo entregó el dinero el 11 de noviembre de 1594. De esta manera, el sistema fue haciéndose más complicado, por lo que se puso a otra persona a las órdenes del comisario de la fuente. El 13 de septiembre de 1596 se nombró un sobrestante o capataz para ocuparse también del cobro de la sisa.

El regidor Diego Núñez de Figueroa fue el segundo vecino que recibió una paja de agua en 1593 por haber gastado mucho dinero (6.000 pesos) en llevar el agua de la fuente de la Plaza Mayor a San Marcelo y a su paso abastecer de agua a los hospitales que estuviesen por el camino. Este sevillano, que fue regidor del Cabildo de la Ciudad de los Reyes, era conocido por su desprendimiento: puso a su disposición 2.000 pesos para adquirir trigo destinado al consumo de la ciudad en 1590 y adelantó dinero para la construcción de la fuente en la plazoleta de San Marcelo<sup>63</sup>.

Los vecinos y las instituciones empezaron a pedir pajas de agua con mayor asiduidad desde 1594, por lo que el Cabildo ordenó al alarife que determinara si había agua suficiente para eso y cuál debería ser el precio. Así, el 1.º de febrero y el 6 de mayo de ese año, el secretario de gobernación Álvaro Ruiz de Navamuel y la sevillana María Fajardo de Villarroel, mujer de Diego Núñez de Campoverde, regidor perpetuo, solicitaron agua<sup>64</sup>. Álvaro pidió un real de agua, una cantidad exorbitante. Se ignora si se le concedió. Diego ya había recibido una paja de agua y su esposa María pedía otra más para introducirla en su casa, ofreciendo pagar 400 pesos, igual cantidad que pagó Jordana Mejía. El Cabildo aceptó y los comisarios de la fuente fueron encargados de hacerlo. Ambas mujeres eran encomenderas y con gran poder económico.

Instituciones civiles, eclesiásticas (conventos y hospitales) y vecinos habían prestado dinero al Cabildo para acelerar y agilizar el proceso de conducción de agua por la ciudad, con la condición de su devolución. El hospital de Santa Ana había prestado 2.596 pesos para la fuente en 1593 y pidió su devolución un año después. El 26 de enero de 1596, el convento de San Agustín pidió el pago de los 4.000 pesos que había prestado para la obra de las fuentes. El Cabildo ordenó se cargasen a la sisa del vino y la carne. Asimismo, el convento de monjas de la Encarnación prestó 2.500 pesos al Cabildo para llevar agua a la fuente del convento, con la condición de que se le devolviese en un año de los ingresos de la sisa. El 17 de julio de 1598 el regidor Alonso de Vargas Carbajal y el procurador mayor Francisco de Sandoval otorgaron escritura a favor del convento de Nuestra Señora de la Encarnación, según el auto provisto por el Cabildo y confirmado por el virrey. De igual manera, el 13 de noviembre de 1598, el convento de la Merced había prestado mil pesos de plata para introducir agua en su interior. El 8 de enero de 1599, el procurador general del convento de San Agustín, fray Diego de Vargas, solicitó al Cabildo la reparación de la pila de la plaza, pero como no había dinero el mayordomo tomó cien pesos prestados de propios.

De esta manera, los conventos impulsaron el avance de la red de cañerías a los distintos barrios de la ciudad, ya que con el adelanto de dinero se aceleraba la obra construyéndose almacenes y fuentes de agua, que a la larga beneficiaron a los vecinos

61 Cruz Cabrera, 1996, 134. Por ejemplo, en Baeza —en 1594— se vendió a don Diego de Quesada, señor de las villas de Garciez y Santo Tomé, el caudal de una “paja de agua”, al precio de 200 ducados. En Lima se pagaba aproximadamente una cuarta parte más por la paja de agua, al menos en el caso de la encomendera Jordana Mejía.

62 *Libros de cabildo de Lima, Libro Undécimo, Años 1588-1593* (29 de mayo de 1589).

63 Lohmann Villena, 1986, t. II, 216 y 217.

64 *Ibidem*, 1983, t. II, 215. Bárbara María Fajardo de Villarroel, nacida en Sevilla, viuda del capitán Antonio de Hoznayo, de este matrimonio heredó encomiendas en La Paz y recibió una pensión de mil pesos impuesta sobre un repartimiento en Chimo y Chicama. Se casó de nuevo con Diego Núñez de Campoverde, sevillano, regidor perpetuo y acaudalado mercader y agente en el Perú de la Sociedad Militar radicada en Sevilla.

de menos recursos<sup>65</sup>. También provocaba que vecinos con poder económico solicitaran agua de estos almacenes para introducirla en sus casas.

Durante estos años, los vecinos importantes de la ciudad (los encomenderos, encomenderas, comerciantes, regidores, oidores y oficiales de la Casa de la Moneda) pidieron agua para sus casas. El 19 de enero de 1598, Álvaro de Alcocer y Alarcón, sevillano, regidor perpetuo y tesorero de la Santa Cruzada pidió licencia para que del caño de la fuente pudiera meter en su casa media paja de agua, tomándola del almacén más cercano<sup>66</sup>. El Cabildo le dio licencia, previo pago de 200 pesos corrientes. El lugar de donde habría de tomarla sería decidido por los comisarios del agua.

A veces se solicitaba agua al virrey y este la concedía a su nombre a algunos vecinos ilustres de la ciudad. El 8 de junio de 1598 el Dr. Yñigo de Hornero, protomédico, dijo en el ayuntamiento que el virrey Velasco había dado licencia para que el Cabildo le diese el agua que había pedido para su casa, como indicaba el decreto del que hizo presentación. Se le concedió media paja de agua, pagando por ella 150 pesos corrientes y bajo la condición de quedar supeditada a las fuentes públicas. Al mes, los comisarios de las fuentes señalaron el lugar de donde se le daría el agua al protomédico, que a su vez entregó el dinero.

Al cabo de un año, el 5 de febrero de 1599, el Cabildo asumió el empedrado de las calles por donde había instalado la cañería de las fuentes. Las otras calles sin empedrar las cubriría la sisa junto con los vecinos y las personas que por allí tuvieran casa. Una de estas calles, tan maltratadas, era la que estaba junto al convento de San Agustín. Asimismo, la primera vez que se impuso que el gasto de reparación del respiradero o acequia que pasaba por unas casas lo pagase el dueño, sucedió el 1.º de febrero de 1599.

#### LA AMPLIACIÓN DEL SUMINISTRO DE AGUA A OTROS BARRIOS DE LA CIUDAD

Un año después de inaugurada la fuente de la plaza mayor, el Convento de San Francisco fue el primero en solicitar agua para uso privado —el 6 de abril de 1579— y los regidores en el Cabildo empezaron a debatir sobre la necesidad de ampliar el sistema de distribución de agua hacia otros barrios más alejados del centro<sup>67</sup>. Después de dos años del primer debate en el Cabildo, el 10 de abril de 1581, se decidió ampliar el sistema y eso exigía almacenes desde donde el agua sería repartida y descargada por nuevos desagüados que en algunos tramos requerían puentes de paso pagados a costa de los propios de la ciudad. También las cañerías requerían mantenimiento. La responsabilidad estaría en el juez

65 Bonachía Hernando, 1998, 63. Por ejemplo en la metrópoli, a finales del siglo XV, se permitió que los frailes del monasterio de San Juan en Burgos, canalizaran el agua hasta su convento con condición de edificar una fuente en la plaza del monasterio que “mane de continuo” para el uso de la población.

66 Lohmann Villena, 1983, t. II, 19-21. Álvaro de Alcocer y Alarcón nació en Madrid. Llegó al Perú en 1572 y regresó a Sevilla, donde se convirtió en mercader de la carrera y navegación de las Indias. Volvió al Perú con el cargo de tesorero de la Santa Cruzada. Fue regidor perpetuo del Cabildo limeño (1589-1610).

67 *Libros de cabildo de Lima, Libro noveno, Años 1579-1583* (6 de abril de 1579). El primero que pidió agua de la fuente fue el convento de San Francisco.

de aguas con poder para gastar lo necesario en ello. Ante esta situación, la licitación pública para la ampliación del sistema fue llevada a cabo el 19 de mayo de 1581<sup>68</sup>.

Ante la presión de la población por el agua, el Cabildo puso en marcha la extensión paulatina de las cañerías por la ciudad<sup>69</sup>. El primero en recibirlas fue el convento de San Francisco, que había pedido varias veces que se le diese licencia para poder meter un poco de agua en su claustro. El 16 de junio de 1581, después de más de dos años de la primera solicitud, el Cabildo le concedió una paja de agua, tomándola de la caja que estaba encima de la acequia grande de Huatica, sin perjuicio del agua que iba a la Plaza Mayor<sup>70</sup>.

La plaza de la Universidad pronto sería llamada de la Inquisición porque el Santo Oficio había comprado la casa de Nicolás de Ribera, que estaba en uno de sus flancos, para trasladar a ella su audiencia y cárcel. Un canal de distribución de agua fresca pasaba cerca, por lo que pidió al Cabildo que le entregase agua. Los comisarios debían comprobar si era posible hacer lo pedido, sin que la fuente principal recibiera daño<sup>71</sup>. De esta manera, de la cañería de la fuente pública se dio agua a la Inquisición en 1583.

En los barrios bajos se fueron construyendo varios almacenes de agua para llevar agua a esta zona: los principales beneficiarios era la elite que vivía en la zona, quienes compraban su usufructo. El pretexto para extender la cañería era construir una fuente pública en la plaza de San Marcelo o en el espacio abierto donde estaba el mármol de Carbajal, pero solo era una intención, pues no se destinaba el suficiente dinero para los gastos<sup>72</sup>.

Uno de los principales gestores e impulsores de la ampliación del encañado sería el virrey García Hurtado de Mendoza, que en la junta capitular del 31 de diciembre de 1592 proclamó que una de las cosas más necesarias para la vida humana, el ornato y la policía de la ciudad era el agua potable que llegaba a las fuentes ya hechas, debiendo hacerse otras siguiendo el modelo de las antecesoras. De esta manera, la satisfacción de la necesidad de agua se convirtió en un punto de preocupación para las autoridades, a la vez que en uno de sus deberes para con los gobernados<sup>73</sup>.

68 *Ibidem* (19 de mayo de 1581). Se mandó pregonar por nueve días la búsqueda del mejor postor para rematar en quien más barato y mejores condiciones ofreciese para realizar el trasvase de otra fuente que alimentara a la que suministraba de agua a la ciudad.

69 Fernández Chávez, 2011, 40. Una cañería se construyó para surtir un convento o solar agraciado con una merced, con el paso del tiempo el agua se fraccionaría y en la mayoría de los casos se utilizaría la misma cañería para tirar nuevos ramales que llegasen hasta las casas de los nuevos interesados, o bien al ir creciendo la red de distribución comenzaron a conectarse unas cañerías con otras para llegar a nuevos puntos de la geografía urbana.

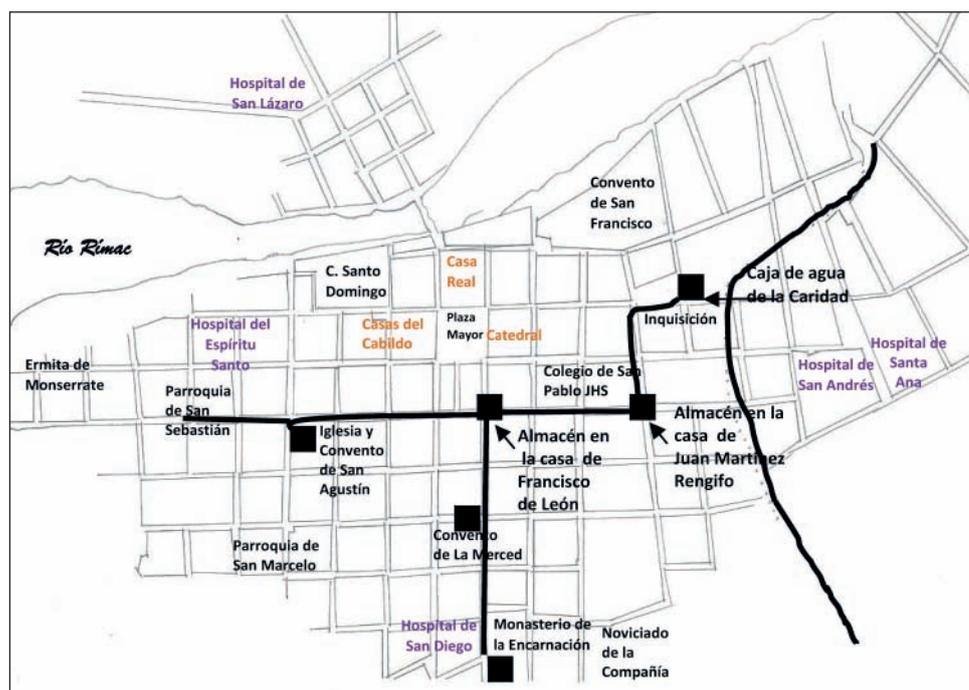
70 Urquiola Permisán, 2009, 53-71. Una paja de agua proporcionaba durante un día un total de 648 litros o 0,648 metros cúbicos de agua (SEDAPAL —Servicio de agua potable y alcantarillado de Lima—, 1997, s/p.).

71 *Libros de cabildo de Lima, Libro Décimo, Años 1583-1588* (2 de septiembre de 1583).

72 *Libros de cabildo de Lima, Libro Undécimo, Años 1588-1593* (15 de enero de 1592). Un mármol en recuerdo del castigo que se propinó a Gonzalo Pizarro y Francisco de Carbajal, el demonio de los Andes, quienes se levantaron contra el poder central. Este mármol se colocó en 1538 en el sitio donde se derribó la casa de Carbajal y se sembró de sal para que nada creciera sobre él.

73 Val Valdivieso, 2003, 186.

Plano 2. Ubicación de los almacenes de distribución de agua en los barrios bajos de Lima



Fuente: Elaboración propia.

El frenesí en la ampliación del sistema se dio en los últimos años del gobierno de este virrey: el agua llegó a distintos puntos de la ciudad a través de fuentes públicas y privadas. Almacenes de agua fueron construidos en las casas de algunos regidores. Como el de Francisco de León, que consintió no pedir derecho a indemnización por los daños y perjuicios que recibieran sus casas del agua infiltrada<sup>74</sup>. De esta manera, en la junta capitular del 14 de febrero de 1594 se propuso hacer un almacén grande en la esquina de las casas que habían sido de Álvaro Illescas y que, por aquel entonces, eran del regidor perpetuo Francisco de León con el objeto de repartir desde allí el agua que iría a San Sebastián y San Marcelo por haber en aquellos barrios mucha gente y vecindad, procurándose que sus vecinos contribuyeran con algo a ello. También se acordó que ese almacén tuviese un pilar tal como se había hecho en la esquina de las casas del licenciado Juan Martínez Rengifo<sup>75</sup>. Así observamos que los regidores y la elite permitían que en sus casas se construyesen almacenes de agua con el pretexto de acercar el agua a la población.

En julio de 1594, el entubado llegaba hasta el convento de San Agustín e ipso facto empezaba a darse agua de ahí a la elite que lo pedía. El 12 de agosto de 1594 se concedió título o posesión de agua al Dr. Diego de Salinas por una paja de los caños que iban a la fuente de San Agustín. De este punto se proyectó extenderlo a San Marcelo y San Sebastián. Finalmente, al estar el barrio de San Sebastián más cercano al río y poderse aprovechar sus aguas, se concluyó que el barrio con mayor necesidad de agua era San Marcelo. Se acordó que la conducción del agua se dirigiese allí a través del camino real que cruzaba toda la ciudad rumbo al puerto, pasando por el convento de San Agustín y la parroquia de San Sebastián. En la esquina del camino real donde estaba el Mármol de Carbajal se haría una pila para que desde allí se pudiese llevar el agua al monasterio de las monjas de la Encarnación.

En 1594, el Colegio Máximo de San Pablo fue la primera institución educativa a la que se concedió agua para la fuente de los

colegiales. Asimismo, el capitán Antonio Suárez de Medina, sevillano, había pedido que se le diese una paja de agua para su casa proveniente del almacén que estaba junto a este colegio<sup>76</sup>. El Cabildo les concedió las peticiones con la condición de que ante cualquier emergencia, serían preferidas las fuentes públicas a las particulares y que si no llegaba agua no había de ser el Cabildo ni la sisa obligados a devolver cosa alguna<sup>77</sup>.

En los barrios altos de la ciudad, el hospital de Santa Ana había prestado dinero al Cabildo para acelerar los trabajos de instalación de cañerías, pero no se había hecho nada porque se estaba trabajando en los barrios bajos de la ciudad. El 9 de septiembre de 1594, el virrey García Hurtado de Mendoza mandó detener la ampliación del tramo que estaba proyectado del barrio de San Agustín a San Marcelo en la parte occidental de los barrios bajos para empezar con los arreglos en la parte alta de la ciudad. La deuda comprometida con el hospital obligó a hacerlo y el 7 de octubre de 1594 se decidió reorientar la obra hacia la plazuela de Santa Ana en el área oriental.

Ante este cambio de dirección no tardaron en manifestarse reacciones en la parte más occidental de los barrios bajos a través del hospital del Espíritu Santo, que solicitó media paja de agua el 4 de noviembre de 1594<sup>78</sup>. El mayordomo de este hospital,

74 Lohmann Villena, 1986, t. II, 172-174. Francisco de León Garavito (1583-1612) fue regidor perpetuo del Cabildo limeño. Vivió en la esquina de las calles denominadas de los Bodegonos y de los plateros de San Pedro.

75 Rodríguez Quispe, 2005, 116 y 140. Martínez Rengifo, fundador económico del Colegio Máximo de San Pablo, permitió a la Compañía de Jesús afianzar su labor educativa. *Libros cabildo de Lima, Libro Undécimo, Años 1588-1593*. Vivió a tres cuadras de la Plaza Mayor, frente a la plazuela de los Coloquios.

77 *Libros de cabildo de Lima, Libro Duodécimo, Años 1593-1597* (1.º de julio de 1594). El Cabildo limeño difícilmente cortó agua a los particulares, pero sí procedió a castigar a los albañiles y fontaneros que permitiesen la entrada de agua a casas de particulares sin licencia.

78 Cruz Cabrera, 1996, 103, 133 y 222. "Las excesivas concesiones de agua a conventos y particulares terminaron comprometiendo los propios raudales de

Antonio Fernández, pidió agua para el servicio de sus enfermos, alegando que el Cabildo había dado agua a los demás hospitales y conventos de la ciudad de forma gratuita, por lo que consideraba justo que se le diera media paja de agua. El Cabildo accedió pero la instalación sería a costa del hospital. Los comisarios de aguas indicarían el lugar donde había de tomarse el agua. De este modo, la ampliación de las tuberías en la parte alta y baja de la ciudad empezó a hacerse, pero esta vez ayudados económicamente por los propios interesados, sin devolución del gasto efectuado a la autoridad competente. Así, la presión de los distintos barrios limeños al Cabildo para abastecerlos de agua fresca era bastante fuerte, ya que el agua era considerada un bien común y público, pero el Cabildo tendía a favorecer al sector dominante, tratando de no atentar contra los intereses básicos del conjunto de la población<sup>79</sup>.

En la intersección de los barrios altos y bajos, en la plaza de la Inquisición, el agua era distribuida desde una caja de agua de la Caridad por medio de un caño y aliviaderos que se rompían constantemente. El almacén dificultaba el paso del agua hacia la Plaza Mayor porque era pequeño, estaba mal construido y tenía riesgo de caída de sus paredes. El Cabildo debatió sobre esto el 12 de noviembre de 1593 pero finalmente decidió rehacerla el 13 de febrero de 1595. La comisión se formó al cabo de cinco meses y el objetivo fue hacer otro almacén de mayores dimensiones que reemplazara a la caja de agua colindante al hospital de la Caridad. El almacén permitiría subir más agua y llegar mejor a las fuentes de la parte baja de la ciudad<sup>80</sup>. Tomó casi dos meses hacer el almacén y más de dos años tomar la decisión de hacerlo.

La instalación de tuberías continuaba. Mientras, la ciudad hizo frente a un serio problema de escasez de agua desde finales de 1595, ya que llegaba poca a las fuentes de la parte baja de la ciudad. El comisario Francisco de León lo comunicó en la junta capitular del 29 de diciembre de 1595, indicando que convenía meter agua en el manantial que abastecía a la ciudad porque el que venía de la caja principal era escaso. Un nuevo manantial había sido detectado, conduciéndolo hacia una caja de agua, pero se requería limpiar la zona y reparar una acequia que conectara con la matriz principal para ingresar el agua por la tarjea. El Cabildo accedió a que esta conexión fuese hecha lo antes posible para aliviar la necesidad de agua de la vecindad<sup>81</sup>. Sin embargo, al cabo de seis meses, el comisario de la obra de la fuente, Luis Rodríguez de la Serna, denunció en el ayuntamiento que no se terminaba de hacer el canal que permitiría meter más agua de otro manantial, tal como se había decidido hacía años<sup>82</sup>.

---

agua que vaciaban en las fuentes públicas, lo que originó serias protestas, ya desde finales del siglo XVI, toda vez que las nuevas redes hidráulicas se habían construido en su mayor parte por medio de derramas entre todos los vecinos".

79 Val Valdivieso, 2003, 134 y 136.

80 Castaño Hinojo, 1978, 119. Llega la tarjea principal a un "depósito de donde arranca la cañería nueva. Por la parte de dentro de la ciudad había que construir un arca para dar altura al agua. De ella salen todos los caños para hacer el reparto".

81 *Libros de cabildo de Lima, Libro Duodécimo, Años 1593-1597* (29 de diciembre de 1595).

82 *Ibidem.* (12 de julio de 1596).

El 1.º de enero de 1596, el año que finalizó el gobierno del virrey García Hurtado de Mendoza, expuso en el Cabildo el beneplácito que sentía al haber llevado "el agua de las fuentes a los conventos y otras partes como era notorio y era bien se prosiga hasta llevarla a San Sebastián, San Marcelo, la Encarnación y a las demás partes que conviniere según parecer del Cabildo, comunicándose las decisiones al virrey"<sup>83</sup>.

La conexión del encañado con el barrio de San Sebastián terminó en una fuente el 9 de febrero de 1596<sup>84</sup>. Sin embargo, al poco tiempo, el 19 de abril de ese año, empezaron las quejas de los vecinos y sobre todo de los frailes de San Agustín porque no llegaba el agua a este barrio y menos aún a San Sebastián. Ante esta situación, los regidores trataron la manera de solucionar el problema: quitar el agua a los particulares para que llegase a las fuentes públicas. Es decir, dejar sin efecto las pajas o reales de agua repartidos por la parte que iba a San Sebastián. Finalmente, se decidió no darla a ninguna persona ni convento si no era por la medida de las arandelas o anillos en cada almacén, protegidos con las llaves que el Cabildo tenía en su poder.

El 21 de septiembre de ese año 1596, a poco tiempo de reformado el almacén de agua cerca de la Casa, Recogimiento y Hospital de la Caridad, el comisario de la obra comunicó que estaba roto un pedazo de esta obra y se debía reparar para evitar fugas o pérdidas. El almacén de la Caridad estaba generando problemas a toda la red: cañerías, almacenes y, sobre todo, la atarjea. Según el informe de los alarifes del 25 de octubre de 1596, la caja de agua del manantial y la tarjea estaban rotas por muchas partes, de manera que la mayor parte del agua se perdía. La causa estaba en que el almacén construido próximo al hospital de la Caridad había sido elevado mucho y por ello el agua volvía atrás y provocaba roturas en el sistema de la parte de los barrios altos, por lo que convenía poner la caja en el estado en el que estaba antes. Es decir, se había elevado este almacén con la creencia de mejorar el sistema, pero resultó lo contrario. Los alarifes aprendieron a conocer el movimiento del flujo del agua de la cañería en una suerte de ensayo y error.

La primera vez que el Cabildo quitó el agua a un vecino ocurrió el 29 de noviembre de 1596. El agua fue retirada al Dr. Diego de Salinas ya que el almacén que había fabricado a la puerta de sus casas estaba dañado y filtraba la humedad por las paredes. Había que hacer de nuevo este almacén, pero al descubrir que consumía el agua sin pagar por ella, el Cabildo ordenó quitársela definitivamente.

Al asumir el cargo el virrey Luis de Velasco este devolvió la licencia al Cabildo para que eligiera al juez de aguas, entre sus regidores, el 30 de diciembre de 1596, facultad que le había sido arrebatada durante el gobierno de Francisco de Toledo. A pesar de los problemas de escasez de agua y de los fallos en el sistema de conducción, continuó la ampliación de la red de distribución. En la junta capitular del 27 de enero de 1597, el comisario de la obra de las fuentes, el regidor Francisco de León, propuso, como estaba acordado, que el agua de boca se llevara al barrio de San

83 *Ibidem.* (1 de enero de 1596).

84 *Ibidem.* (9 de febrero de 1596): "La obra de la fuente de San Sebastiano se ha continuado y está acabada".

Marcelo y al de la Encarnación, porque aquellas partes de la ciudad estaban bastante pobladas. Sin embargo, al comisario no le pareció buena idea utilizar el agua que iba a San Sebastián para la Encarnación, pues no bastaría para unas y otras fuentes públicas. Este comisario sugirió tomar agua del almacén que estaba en la esquina de la Plaza Mayor hacia el convento de la Encarnación por haber menos fuentes por aquel tramo. Los regidores acordaron que los alarifes dieran su opinión.

La indecisión en cuanto al tramo a seguir fue resuelta cuando las monjas de la Encarnación prestaron una cantidad considerable para traer agua al convento con la condición de que se le devolviese de las sisas. Entonces, el Cabildo ordenó que

“La encañadura se prosiga por la calle que está ordenado hasta meterla en el monasterio en la parte y lugar donde se ha de hacer la fuente principal del monasterio por cuenta de la sisa y para poder proseguir la obra se admite el préstamo de los 2.500 que ofrece la abadesa por un año el cual pagado se le devolverá de lo primero que procediere”<sup>85</sup>.

El 31 de julio de 1598, el dinero de las monjas de la Encarnación fue entregado al regidor comisario Francisco de León para que prosiguiese la obra. En la junta capitular del 17 de diciembre de ese año, el Cabildo informó que se había truncado la obra que llevaba el agua al barrio de las monjas de la Encarnación porque se pretendía llevar el tramo a otra parte, pero se mandó notificar al comisario que ingresara el agua al interior del convento. El Cabildo justificó esta medida porque había que cumplir con el monasterio antes que con cualquier otro como estaba ordenado. Sin embargo, al cabo de un año —el 8 de octubre de 1599— la abadesa del monasterio de la Encarnación, Mencía de Sosa, había enviado una petición en la que indicaba que estaba ordenado y mandado por el virrey Luis de Velasco que a costa de la sisa metiese el agua de las fuentes en el monasterio, haciéndose un almacén en él. El monasterio para facilitar este trabajo había adelantado el dinero, pese a lo cual el comisario se negaba a hacer el almacén. El Cabildo le ordenó obedecer<sup>86</sup>.

De igual manera, en 1598, el convento de la Merced había prestado 1.000 pesos de plata para meter agua a su interior. El Cabildo determinó pagar primero al convento del monasterio de la Encarnación que le había prestado dinero anteriormente.

Hay que decir que algunos miembros de órdenes religiosas eran expertos albañiles, incluso con conocimientos y habilidades en infraestructuras hidráulicas y técnicas de abastecimiento de agua, por lo que instalaron fuentes, albercas, pilas, pozos y letrinas en los conventos, a veces sin permiso, consumiendo más agua de la permitida. La contribución de los religiosos a la introducción de la tecnología europea en Indias fue fundamental tanto en la ubicación de las posibles fuentes de abastecimiento de agua, como en el diseño de canales, estanques y fuentes. El Cabildo tomaba en cuenta a estos singulares albañiles pues introdujeron

novedades en el manejo del agua, entre ellas las fuentes de chorro y el grifo de agua en otros lugares indianos<sup>87</sup>.

Los conventos prestaban sus instalaciones para hacer almacenes donde depositar el agua que consumían y desde donde poder distribuirla por el barrio a través de cañerías. Sin embargo, no estaban libres de problemas técnicos que afectaban a su infraestructura, como la existencia de cañerías quebradas que humedecían las paredes y anegaban las calles.

La ampliación de la distribución de agua por la ciudad prosiguió con problemas. Uno de ellos era que las calles por donde pasaba el agua encañada habían estado adoquinadas, pero con la obra habían quedado desempedradas. El Cabildo ordenó empedrarlas el 23 de febrero de 1598 aprovechando que había mucha piedra en aquel entonces. También la rotura del encañado de la red de distribución soltaba agua a las calles y humedecía las paredes, que amenazaban con derrumbarse. El almacén y caja de agua del hospital de la Caridad era el que mayores problemas daba. El 28 de septiembre de 1598, se leyó en la junta capitular una petición de solución del Dr. Marcos Ternero. El Cabildo delegó esta tarea en el regidor Francisco de León para que hiciera cierto desagadero. Asimismo, en la junta capitular del 9 de octubre de 1598, Juan Jiménez Flores dijo que la caja de agua que estaba en las paredes de sus casas —de donde tomaba agua para su fuente particular— se filtraba muchas veces, las paredes se humedecían y su casa corría riesgo porque queriéndolo arreglar no se hallaba la llave de la caja de agua. Pidió licencia para tener en su poder una llave, que el Cabildo le concedió con la condición de que no tomara más agua de la señalada. También los desagaderos o aliviaderos creaban problemas. Otro problema era la insuficiente vigilancia del sistema con solo un alguacil y una escasa inversión en el mantenimiento.

A finales del siglo XVI, varios barrios limeños tenían ya sus fuentes, la placeta de la Inquisición, el barrio de San Sebastián, los monasterios, las casas de hombres principales, las cárceles y el palacio, entre otros lugares<sup>88</sup>.

## CONCLUSIONES

Las causas que provocaron la ampliación del encañado en Lima fueron sociales porque la población de los distintos barrios exigía que el agua llegara a ellos, pero los problemas climáticos, técnicos y económicos lo impidieron o retardaron. Asimismo, el acceso al agua entubada se hizo política por los conflictos de poder entre el Cabildo, virrey y las elites.

El control que tenía el Cabildo sobre el encañado era total, interviniendo en la regulación del consumo del agua en la ciudad.

87 Gonzalbo Aizpuru, 2004, 391-412. Díaz-Marta, 1981, 689-699. González, 1998, 346 y 347. Por ejemplo, fray Diego de Chávez fue creador de la laguna artificial de Yuriria, en el sur de Guanajuato, en el año de 1548. Fray Francisco de Tembleque, que realizó el acueducto de Zempoala de 34 km en el altiplano de México, entre 1554 y 1571. Tiene 67 arcos y 1059 varas de longitud. Muchas de estas obras de ingeniería civil fueron concebidas y dirigidas por religiosos, franciscanos y carmelitas.

88 Lizárraga, 2002, 83. “...porque como las calles sean en cuadro, y el agua vaya encañada por medio de las calles, es fácil de la calle ponerla en casa”.

85 *Libros de cabildo de Lima. Libro Decimotercero. Años 1598-1601* (8 de octubre y 8 de marzo de 1599).

86 Val Valdivieso, 2003, 188. El papel del agua en la organización del espacio urbano.

Apoyándose en su predominante posición, imponía su criterio y decisión en aquello que afectaba al suministro del agua. Se ocupaba de todo lo que se refería a la disponibilidad de agua para consumo, acondicionamiento de los puntos de abastecimiento, mantenimiento de la cañería a través del control del trabajo de los técnicos, así como de las medidas necesarias para garantizar su salubridad.

En Lima, el agua pertenecía a la ciudad y el Cabildo vendía su usufructo a los vecinos, pero no su propiedad. Por eso, en situaciones de necesidad se podía cortar el agua. Las fuentes públicas tenían preferencia por lo que, al menos en teoría, la población general estaba sobre la elite laica o religiosa. El Cabildo tenía el control de la distribución del agua en Lima, pero algunos de sus vecinos podían presionarle para tener uso de agua potable a través del poder político y religioso.

A los barrios bajos llegaba poca agua o quedaban sin ella durante días por la rotura de las cañerías en los barrios altos. Todo se debía a la carencia de un plan maestro para realizar un reparto homogéneo por la ciudad. La cañería avanzaba según las peticiones y el dinero entregado, sin el seguimiento de un proyecto o plan previo, sino según las circunstancias coyunturales. En un principio, los vecinos que querían fuentes privadas pagaban su acceso al agua, pero pronto, a finales del XVI, nos encontramos con mayor cantidad de mercedes de agua, en especial a órdenes religiosas y a instituciones de caridad. El control y mantenimiento de este sistema de distribución del agua lo llevaba el juez de aguas, sus comisarios y alguaciles.

Lima se dividió hidráulicamente en barrios altos y bajos, habiendo más fuentes en la parte baja de la ciudad que en la zona alta. En el periodo estudiado se pusieron fuentes en las plazas de San Agustín, San Sebastián y varias fuentes privadas más. A finales del siglo XVI, el sector de los barrios bajos de Lima empezó a poblarse rápidamente, mientras que los barrios altos donde estaba la reducción de indios "Santiago del Cercado" y los conventos tomaban el agua sin ningún control de la atarjea. Más tarde se construirían las fuentes de Santa Ana y de Santiago. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que las fuentes marcaban física, económica y simbólicamente a la ciudad y se convirtieron en polos de atracción de una población que necesitaba de agua para vivir, pero también eran divisores del espacio, sirviendo para afianzar límites entre los diversos barrios. Así, el agua cumplió un papel importante en la organización del espacio. A la vez que se ampliaba el sistema, el Cabildo protegió las nuevas fuentes, abrevaderos, tuberías y arcas de los ataques y malos usos de particulares para evitar deterioros y atascos.

Las necesidades de los conventos aceleraron la ampliación del trazado al facilitar al Cabildo el acceso al crédito y reducir los problemas inmediatos de financiación. La ayuda no solo fue económica sino también técnica hidráulica al asegurar el mantenimiento de los almacenes para el abasto de la ciudad. Así, algunos religiosos en estos conventos se revelarían como diestros albañiles que mejoraron la técnica hidráulica paulatinamente.

El periodo de 1578 a 1599 constituyó una época de ensayo, error y aprendizaje en el desarrollo de la técnica hidráulica. Así, esta etapa sirvió para que los cañeros conocieran el terreno lime-

ño tanto hidrológica como topográficamente y comprendiesen y manejasen mejor el sistema. Por ejemplo, los alarifes creyeron haber hecho lo mejor al elevar y remodelar la caja de la Caridad aunque las consecuencias fueron negativas, generando mayor presión en la cañería por lo que tuvieron que deshacer lo hecho y mantener este almacén en el estado en el que estaba para evitar que el sistema colapsara. De este modo, si bien en nuestro periodo de estudio algunas iniciativas no cumplieron las expectativas, el enorme esfuerzo realizado consistió en promover la tecnología hidráulica con el fin de lograr una mejor adaptación del entorno natural a las necesidades humanas.

Las aguas subterráneas de la ciudad de Lima estaban muy profundas por lo que no había aljibes, por eso necesitaban de almacenes de agua para abastecerse. Así, este ciclo se caracterizó por la construcción de almacenes de agua en la parte baja de la ciudad para —a través de ellos— extender la cañería a los distintos barrios de la ciudad. Los conventos y la elite religiosa y laica cooperaron en la ampliación del sistema, ofreciendo sus casas para la construcción de cajas que, a la vez que proveían agua a sus solares, permitían extender el sistema para que llegara a las plazas donde se construirían las fuentes públicas. Así, el agua llegó a la fuente de la plaza de la universidad o de la Inquisición, la plaza de San Agustín, la plaza de San Sebastián y se empezaría a extender hacia los barrios de San José y San Marcelo. El énfasis en esta etapa fue proporcionar agua a los barrios bajos que tenían mayor penuria para conseguirla y mucha la compraban de aguadores. La parte alta de la ciudad tenía mejor acceso al agua y la mayor parte la extraía ilegalmente.

La expansión económica y demográfica supuso un poderoso impulso para ampliar el sistema de distribución de agua por la ciudad. La estabilidad política local y la expansión del crédito permitieron utilizar dinero público hacia empresas dedicadas no solo a promover la actividad económica, sino también la calidad de vida de la población. Avaladas por prácticas consuetudinarias, algunas de estas iniciativas estaban destinadas a procurar un mejor abasto de agua, cristalizando en auténticos pactos sociales entre los diversos sectores de la población: el pago de sisas, la construcción de almacenes en conventos, la intervención en la ampliación del encañado de un mayor número de vecinos, etc. El Cabildo trató de ofrecer a la población la mejor agua posible y cerca de sus viviendas o en puntos colectivos de aprovisionamiento a disposición del vecindario.

El Cabildo trataba de conseguir un buen nivel de calidad en el agua, mediante el control de la distribución y disponibilidad de los recursos hídricos a fin de incrementar la honra local y con ello su poder. La existencia de fuentes —máxime, si eran hermosas— proporcionaba honor y prestigio, por lo tanto reforzaba el poder de la ciudad, a la vez que se convertía en uno de sus signos característicos y distintivos. Una fuente pública o privada ennoblecía. Todas estas acciones contribuyeron de forma importante a incrementar el grado de cohesión de la colectividad con su ciudad y aumentar el poder concejil, legitimando su posición, garantizando sus intereses, fortaleciéndolo y haciendo aceptable el poder ejercido por los regidores del Cabildo ante la comunidad. Con el fin de hacer frente al mantenimiento del sistema se

recurría habitualmente a recaudaciones extraordinarias, sisas o derramas, para las que se solicitaba la pertinente autorización. Sin embargo, parece general e indiscutible que los integrantes del gobierno municipal tendían a favorecer a los miembros de los sectores poderosos de la ciudad. El agua cerca de la vivienda empieza a convertirse en una demanda social, por comodidad, pero también como signo de prestigio. Esta particularización del uso del agua de la comunidad por parte de algunos poderosos perjudicaba a la comunidad considerada en su conjunto.

## BIBLIOGRAFÍA

### FUENTES PRIMARIAS

- Libros de cabildo de Lima. Libro Noveno. Años 1579-1583.* 1937. Lima, Consejo Provincial de Lima. Impresores Torres Aguirre Sanmarti.
- Libros de cabildo de Lima. Libro Décimo. Años 1583-1588.* 1942. Lima, Consejo Provincial de Lima. Impresores Torres Aguirre.
- Libros de cabildo de Lima. Libro Undécimo. Años 1588-1593.* 1942. Lima, Consejo Provincial de Lima. Impresores Torres Aguirre.
- Libros de cabildo de Lima. Libro Duodécimo. Años 1593-1597.* 1943. Lima, Consejo Provincial de Lima. Impresores Torres Aguirre.
- Libros de cabildo de Lima. Libro Decimotercero. Años 1598-1601.* 1944. Lima, Consejo Provincial de Lima. Impresores Torres Aguirre.
- Libros de cabildo de Lima. Libro Decimonoveno. Años 1621-1624.* 1958. Lima, Consejo Provincial de Lima. Impresores Torres Aguirre.

### FUENTES SECUNDARIAS

- Almorza Hidalgo, A. 2012: *Poder y movilidad social de las mujeres inmigrantes en Indias: el caso de doña Jordana Mejía*. Florencia, Instituto Universitario Europeo.
- Alva Hurtado, J., Meneses Loja, J., Martínez del Rosario, J. y Huamán Egoávil, C. 1991: "Avances en la microzonificación sísmica de Lima, Perú", en *Fourth International Conference on Seismic Zonation*, Stanford University, 1-2.
- Álvarez, C. 1985: "La gestión administrativa del concejo de Santiago de Compostela en el ámbito del urbanismo durante el siglo XVI", en *La ciudad hispánica durante los siglos XIII al XVI*. Madrid, Universidad Complutense, t. I, 151-160.
- Arciga, R. 2011: *El Canal de Agua de Cercado Lima y el sistema de Tuberías Vidriadas de la Colonia y Republica*. <http://casahaciendapunchauca.globered.com/categoria.asp?idcat=48>.
- Bonachia Hernando, J. A. 1996: "Más honrada que ciudad de mis reinos...": La nobleza y el honor en el imaginario urbano (Burgos en la Baja Edad Media)", en *La ciudad medieval*. Valladolid, Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Valladolid, 169-212.
- Bonachia Hernando, J. A. 1998: "El agua en la documentación municipal: los Libros de Actas", en *El agua en las ciudades castellanas durante la Edad Media: fuentes para su estudio*. Valladolid, Universidad de Valladolid, Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico, 41-70.
- Capel Molina, J. J. 1999: "Lima, un clima de desierto litoral", en *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 19, 25-45.
- Carmona García, J. I. 2000: *Crónica urbana del malvivir (s. XIV-XVII). Insalubridad, desamparo y hambre en Sevilla*. Sevilla, Universidad de Sevilla.
- Castaño Hinojo, J. 1978: "Estudio sobre las aguas del cabildo de Córdoba", en *Actas del I Congreso de Andalucía. Andalucía Moderna*. Córdoba, Cajas de Ahorros, t. I, 115-125.
- Cobo, B. 1964: "Fundación de Lima, escrita por el padre Bernabé Cobo de la Compañía de Jesús, año 1639", en *Biblioteca de Autores Españoles desde la formación del lenguaje hasta nuestros días*. Madrid, Atlas. PMCid: PMC289659
- Cruz Cabrera, J. P. 1996: *Las fuentes de Baeza. Las fuentes y el abastecimiento urbano (siglos XVI al XVIII); captación, usos y distribución del agua*. Granada, Universidad de Granada.
- Cuartas Rivero, M. 1985: "La forma urbana de Oviedo en el primer tercio del siglo XVI", en *En la España Medieval (La ciudad hispánica durante los siglos XIII al XVI)*. Madrid, Universidad Complutense, t. I, 233-248.
- Díaz-Marta, M. 1981: "La ingeniería colonial en el Nuevo Mundo. Las obras de dos insignes religiosos en la Nueva España", en *Revistas de Obras Públicas*, 689-699.
- Fernández Chaves, M. F. 2011: *Los caños de Carmona y el abastecimiento de agua en la Sevilla moderna*. Sevilla, Emasesa Metropolitana.
- Furió, A. y F. García. 1985: "La economía municipal de Alzira a fines del siglo XIV según el libro de cuentas de 1380-1381", en *La ciudad hispánica durante los siglos XIII al XVI*. Madrid, Universidad Complutense, t. II, 1611-1633.
- Gonzalbo Aizpuru, P. 2004: *Historia de la vida cotidiana en México*. México, El Colegio de México-Fondo de Cultura Económica.
- González Tascón, I. 1998: "Abastecimiento de agua a las ciudades", en *Felipe II. Los ingenios y las máquinas. Ingeniería y obras públicas en la época de Felipe II*. Madrid: Sociedad estatal para la conmemoración de los centenarios de Felipe II y Carlos V, 323-385.
- González Tascón, I. 1998: "Ingenios y máquinas para la industria", en *Felipe II. Los ingenios y las máquinas. Ingeniería y obras públicas en la época de Felipe II*. Madrid, Sociedad estatal para la conmemoración de los centenarios de Felipe II y Carlos V, 241-309.
- Hinojosa Montalvo, J. 1998: "Poder municipal y abastecimiento de carne en la gobernación de Orihuela a fines de la Edad Media", en *Miscelánea Medieval Murciana*. Vol. XXI -XXII, 157-170. DOI: <http://dx.doi.org/10.6018/j7881>
- Izquierdo Benito, R. 1985: "Conflictos entre los poderes temporal y eclesiástico en las ciudades medievales: el caso de Toledo en 1390", en *En la España medieval. La ciudad hispánica durante los siglos XIII al XVI*. Madrid, Universidad Complutense, t. II, 1081-1103.
- Levillier, R. 1925: *Gobernantes del Perú: Cartas y Papeles, siglo XVI. Documentos del Archivo de Indias. Ordenanzas del virrey Toledo*. Colección de publicaciones históricas de la Biblioteca del Congreso Argentino. Tomo VIII. Madrid, Imprenta de Juan Pueyo.
- Lizárraga, R. de. 2002: *Descripción del Perú, Tucumán, Río de la Plata y Chile*. Madrid, ediciones Destin.
- Lohmann Villena, G. 1982: "Los regidores andaluces del Cabildo de Lima", en *Andalucía y América en el siglo XVI*. La Rábida, Universidad Santa María de la Rábida, II, 223-272.
- Lohmann Villena, G. 1983: *Los regidores perpetuos del Cabildo de Lima (1535-1821), Crónica y estudio de un grupo de gestión* (2 vols.). Sevilla, Diputación Provincial de Sevilla.
- López de Velasco, J. 1894: *Geografía y Descripción Universal de las Indias, desde el año de 1571 al de 1574*. Madrid, establecimiento tipográfico de Fortanet.
- Maucharé J. y L. Ortlieb, 1993: "Registros del Fenómeno el Niño en el Perú", en *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 22, 1, 35-52.

- Maier Allende, J. 2005: *Antigüedades siglos XVI-XX*. Madrid, Real Academia de la Historia.
- Mateos Royo, J. A. 2005: "Expansión económica, intervención pública y desarrollo tecnológico preindustrial: la política hidráulica municipal en Aragón durante el siglo XVI", en *Llull*, 28, 61, 131-159.
- Monturiol Gonzalez, M. de los A. 1985: "El ingreso en la hacienda municipal de Madrid: su estructura y evolución (1464-1497)", en *En la España medieval. La ciudad hispánica durante los siglos XIII al XVI*. Madrid, Universidad Complutense, t. II, 1027-1057.
- Panfichi, A. 1995: "Urbanización temprana de Lima, 1535-1900", en *Mundos Interiores: Lima 1850-1950*. Lima, Universidad del Pacífico.
- Rivasplata Varillas, P. E. 2013: "El agua de manantial a la fuente de la plaza mayor de la ciudad de los reyes: sanidad y tecnología en el virreinato del Perú en el siglo XVI", en *Agua y Territorio*, 2. Jaén, Universidad de Jaén, 107-116. DOI: <http://dx.doi.org/10.17561/at.v1i2.1349>
- Rodríguez Quispe, D. 2005: *Por un lugar en el cielo: Juan Martínez Rengifo y su legado a los jesuitas, 1560-1592*. Lima, Fondo Editorial de la Facultad de Ciencias Sociales. UNMSM.
- Rojas, C. de. 1598: *Teoría y práctica de fortificación conforme las medidas y defensas destes tiempos: repartida en tres partes*. Madrid, Luis Sánchez.
- Salazar-Exaire, C. 2014: "San Andrés Chalchicomula: un estudio de caso de la distribución de agua a mediados del siglo XVII", en *Agua y Territorio*, 3. Jaén, Universidad de Jaén, 56-64. DOI: <http://dx.doi.org/10.17561/at.v1i3.1423>
- Segura Graiño, C. 2003: "Sistemas y aprovisionamientos hidráulicos e historia social", en *Agua y sistemas hidráulicos en la Edad Media Hispana*. Madrid, Asociación Cultural AI- Mudayna, 9-26.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL), 1997: *Historia del Abastecimiento de Agua Potable de Lima 1535-1996*. Lima, Ministerio de la Presidencia.
- Urquiola Permisán, J. I. 2009: "El arte de medir y pesar las aguas", en *Ciencia@uaq*, 2, 1, 53-71.
- Val Valdivieso, M. I. del. 2003: *Agua y poder en la Castilla bajomedieval. El papel del agua en el ejercicio del poder concejil a fines de la Edad Media*. Salamanca, Junta de Castilla y León.
- Vitruvio Polión, M. L. 1787: *Los diez libros de arquitectura de M. Vitruvio Polión*. Madrid, Imprenta Real.

## El agua y la obra pública hidráulica en México: concesiones, contratos y otras modalidades, 1880-1940

### *Water and Public Works In Mexico: Concessions, Contracts, and other Management Modalities, 1880-1940*

*Nelly Josefa León-Fuentes*

Universidad Veracruzana. Xalapa, México. nleon@uv.mx

**Resumen** — En este artículo se analiza cómo el agua en México, desde la época de la colonia, experimenta su proceso de privatización y de incorporación como servicio público. Desde entonces, ha estado sujeta a las formas de control y regulación de la administración de los gobiernos municipales y de los sectores sociales con poder económico y político. La información remite a las distintas modalidades en los procesos de gestión que regularon el abasto de agua a las ciudades y con ello contribuyeron a la modernización del país durante el periodo de 1880-1940. Un aspecto relevante del trabajo es que se subrayan los alcances y limitaciones financieras, organizativas y técnicas de los municipios, cuestiones que mantuvieron a la institución local en una relación vulnerable y desventajosa con otros niveles de gobierno y la iniciativa privada.

**Abstract** — *This article analyses how water in colonial Mexico underwent a process of privatisation and incorporation as a public utility. Since then it has been subjected to forms of control and regulation by municipal governments and private initiatives backed by economic and political power. The information available reveals distinct modalities in the management processes that regulated the provision of water in the cities and their contribution to the modernisation of the country from 1880 to 1940. One relevant aspect of the text underlines the financial, organisational, and technical scope and limitations of municipal administrations, which in turn illustrate the vulnerability and disadvantages experienced by municipal government vis-à-vis other levels of government and private entrepreneurship.*

---

**Palabras clave:** abastecimiento de agua, servicio urbano, formas de gestión, México

**Keywords:** Water supply, urban utilities, forms of water management, México

**Información Artículo:** Recibido: 31 enero 2015

Revisado: 29 junio 2015

Aceptado: 7 febrero 2016

“Si bien es esencial implicar al sector privado en la gestión de los recursos hídricos, debería ser en calidad de catalizador financiero y no como una condición previa para el desarrollo del proyecto. Puesto que la valoración del agua incluye prioridades sociales y ambientales, así como la recuperación de gastos, el control de los activos debería permanecer en manos del gobierno y de los usuarios”<sup>1</sup>.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es analizar como recurso el agua y cómo se ha considerado un recurso mercantil y, por tanto, objeto de negocio. Por eso, en esta ocasión, toca observar las formas en que las instituciones gubernamentales y empresas privadas nacionales o extranjeras han contribuido a la instalación de las redes de abasto de agua necesarias en los núcleos de población, a través del establecimiento de acuerdos, concesiones, contratos u otras modalidades de explotación del recurso y cómo con este tipo de obra pública ha contribuido a la modernización del país.

La temporalidad que abarca contiene dos periodos, uno que va de 1880 a 1929 y el segundo de 1930 a 1940. Es en el primer periodo cuando el esplendor de la economía liberal y la evolución del capitalismo en el ámbito internacional se manifestó con el desarrollo de las vías de comunicación, el auge industrial y comercial que propició la movilidad de capitales, organizaciones, empresas y personas entre las ciudades más importantes del mundo occidental.

En México, este impulso modernizador fue encabezado por el presidente Porfirio Díaz, quien incorporó a México a los cambios globales<sup>2</sup> y su gobierno (1876-1910) promovió políticas, leyes y reglamentos que apoyaron este proceso de mejoras.

Durante el porfiriato estos procesos se aplicaron en las ciudades de México que tuvieron como eje económico el desarrollo industrial y comercial. En ellas se hizo indispensable la apertura y desarrollo de las redes de abasto del agua y saneamiento urbano; así que este estudio observa cómo el abasto del recurso estuvo supeditado al control de los ayuntamientos, el estado y la federación, según el momento histórico; estas instituciones de gobierno establecieron concesiones, contratos y otras modalidades con los grupos de elite locales o regionales.

El segundo periodo de análisis, de 1930 a 1940, refiere al tiempo en el que las empresas privadas de abastecimiento de agua continuaron su participación, pero cada vez más limitada y controlada porque el municipio retomaba su función específica sobre el suministro de agua, solo que bajo la vigilancia normativa, operativa y financiera de la federación. Por tanto, se enfatizan los vaivenes, beneficios y perjuicios que genera el esquema pú-

blico y privado sobre la administración y explotación del agua y las obras asociadas a esta. En el año de 1940, se concluye que los ayuntamientos crean las Juntas de Mejoras Materiales y establecen las tarifas para el pago del servicio de agua, a fin de contribuir al abastecimiento regular del agua en las poblaciones<sup>3</sup>.

El trabajo se divide en tres partes: en la primera se destacan los antecedentes históricos de la manera en que el agua, desde la llegada de los españoles a México, se convirtió en un objeto mercantil, sujeto a ventas y formas de financiamiento; la segunda, subraya como la concesión de las redes de agua representa uno de los primeros detonantes de obras públicas urbanas que justifican las funciones sobre todo de los gobiernos municipales; y la última, analiza cómo durante el porfiriato las concesiones se legalizaron y adquirieron el cariz de contratos y otras modalidades, al adoptar políticas y formas de modernización europea que incluyeron el financiamiento de redes de agua en obras públicas, Esto permitió observar el papel que desempeñó el ayuntamiento como órgano gestor.

## ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Desde el inicio de la etapa Colonial en México el agua se incluyó en las cesiones absolutas de tierras que los españoles recibieron. A mediados del siglo XVII este recurso se reglamentó como un elemento separado de la tierra, de modo que si los habitantes compraban una merced o una mayor extensión de tierra —y si querían el agua como propia— también debían pagar por ella. Entonces, al igual que la tierra, se consideró un recurso sujeto al control real español, y se vendía por mercedes individuales<sup>4</sup>. De modo que el agua comenzó a ser un bien particular o privado, como una mercancía para quienes la podían comprar. Pero esto no aplicaba para todos, pues los indígenas tenían el agua como un bien comunal al servicio y aprovechamiento de todos los habitantes desde antes de la aplicación de las Leyes de Indias<sup>5</sup>.

La ambivalencia del recurso del agua en el uso privado y comunal persistió desde la Colonia hasta el XIX, lapso en el que el recurso hídrico se vendió a particulares e instituciones locales<sup>6</sup>. A fines del siglo XVIII, y en especial durante el siglo XIX, se aprecia una tercera modalidad en la regulación del agua: como obra pública, servicio para quienes se concentraban en los núcleos de población y que carecían de este recurso. En esta modalidad se desarrolló, con el auge del comercio, el proceso de industrialización y crecimiento urbano, con intervención del gobierno municipal, las elites y los empresarios que, por intereses particulares, promovieron las obras públicas relacionadas con el agua<sup>7</sup>.

Es necesario tener claro que las “obras públicas” son aquellas que se producen y consumen colectivamente e implican la

1 UNDESA, 2003, 27-28.

2 Cuando se hace referencia a cambios globales durante este tiempo es porque en algunas ciudades de países del mundo occidental (Buenos Aires, Argentina; Málaga y Madrid en España, por ejemplo) los gobiernos estaban incorporando “nueva tecnología” para instalar un sistema de saneamiento o de abasto de agua que mejorara las condiciones de higiene de aquellas poblaciones que se iban concentrando (Méndez, 2013. Matés Barco, 2013, 2014, 2015, 2016. Heredia, 2013).

3 Birrichaga, 2007.

4 Medida equivalente a cinco pajas de agua; es decir, cinco libras por minuto (Palerm, 2002, 230). Jurídicamente, las mercedes de agua fueron reconocidas hasta la primera década del siglo XX, y controladas por los gobiernos locales y estatales.

5 Margadant, 1989.

6 Según se aprecia en documentos de los archivos notariales de Querétaro, Puebla, México, Cuernavaca y Xalapa (Aboites, 1998. Birrichaga, 1997 y 1998).

7 León, 2009.

presencia de fondos del Estado. Cuando el gobierno carece de la capacidad económica para realizar las obras interviene el sector privado<sup>8</sup>. Esta fue una práctica común fundamentada desde las Leyes de Indias expresadas por el rey Felipe II en 1563 y 1567, que a la letra dice:

“que no se haga obra pública sin acuerdo del que gobernare [...] que nuestro presidente tenga cuidado de ver cómo y lo que se gasta en las dichas obras y hacer que se tome en cuenta de ello en cada un año [que] Las obras públicas que se hubieren de hacer a costa del consejo de las personas y las que se pudiere y las personas que en ello hubieren de entender [...] que se hagan y reparen puentes a costa de los que de ello tuvieran beneficio [...] los vuestros virreyes, presidentes y gobernadores se informaran que es lo que podrán costear y hacerse y que lugares y personas han de gozar de ello; y repartir a cada uno según el beneficio que recibiere y más provecho de ello tuviere”<sup>9</sup>.

Este principio legislativo se constituyó en una práctica cotidiana durante la colonia, pero se incrementa en el siglo XVIII cuando, con la mayor movilidad comercial de los más importantes centros urbanos que se ubican entre la zona del Altiplano y el golfo de México, se realizaron algunas obras hidráulicas. La inversión que los municipios hacían en relación a este recurso natural era escasa porque “los usos fundamentales del agua no presentaban grandes variantes. Salvo excepciones, solo se utilizaba para el aseo, la limpieza, el riego y el abrevadero de los animales”<sup>10</sup>, habida cuenta que los ayuntamientos frecuentemente carecían de fondos económicos para solventar las obras. En ese contexto, el sector privado, apoyado en la legislación colonial, ya fuera por intereses económicos o familiares, estaba dispuesto a emplear recursos para componer alguna vía de comunicación o realizar obras para la captación de acuíferos, o incluso para el desarrollo de algunas actividades agrícolas o manufactureras.

Un ejemplo es el caso de Juan Antonio Urrutia y Arana, marqués del Villar del Águila (Querétaro, 1726-1738), quien compró el agua en mercedes con el propósito de llevarla a su domicilio. Por ello, mandó construir un gran acueducto, financiando el 67% de los costos, mientras que el restante 33% fue aportado por el municipio. Según sus acuerdos, también mandó construir cuatro fuentes públicas para el servicio de la población<sup>11</sup>. Posteriormente, en 1763, Joseph Breton, dueño de una hacienda en San Andrés Chalchicomula, Puebla, por interés de comercializar los derrames de agua para sí, y viendo la precaria situación del abasto a la fuente pública y a la población, costó la construcción de la cañería y arcos para la conducción del agua<sup>12</sup>.

Dos ejemplos más se presentan en la ciudad de Xalapa. El primero, cuando en 1777 el teniente José María Gorozpe compró mercedes de agua al ayuntamiento y con su autorización construyó un acueducto, una caja y la atarjea para obtener el agua de los manantiales de Xallitic y conducirla tanto a su casa parti-

cular como a las que había comprado en la misma calle, bajo la consigna de aportar de su peculio una fuente y un conjunto de veinte lavaderos. El segundo ocurre cuando en 1779 el teniente militar Joaquín de Castillo compró la merced de agua y con similar acuerdo con la autoridad local llevó el agua del manantial de Techacapa para su uso particular. En este caso no le tocó construir, pero sí pagar el mantenimiento de los lavaderos del mismo nombre que estaban en total descuido<sup>13</sup>.

El uso y la explotación del agua se modificó con el desarrollo de la industria textil en la primera mitad del siglo XIX. Para su avance fue necesario instalar maquinaria hidráulica, lo que implicó la edificación de diversas obras, y por ello los empresarios solicitaron permisos a los cabildos municipales respectivos. La autorización fue otorgada a los nuevos empresarios bajo dos condiciones: a) Que no se apropiaran del agua de la población a menos que ya la tuviesen como suya; y b) Que brindaran un beneficio para la comunidad afectada al mover los cursos de agua. Esto significa que el Estado ejercía control del recurso y como parte del “buen gobierno” cumplía con su función de contribuir con determinadas obras públicas a la población que servía<sup>14</sup>.

Una vez que los empresarios conseguían la aprobación de la institución municipal desviaban el curso natural de las fuentes de agua a través de la apertura de zanjas para colocar caños, acueductos, cajas de agua y atarjeas a fin de conjuntar las corrientes de agua y aumentar la presión y constancia indispensables para el movimiento de la rueda hidráulica que activaba la maquinaria con la que se fabricaban diversos productos textiles.

Muchos procesos industriales como el descrito permitieron la dotación de obras públicas en zonas urbanas. Debido al desarrollo, la población fue aumentando y generó una economía comercial ligada a la industria. De ahí que el ayuntamiento, siguiendo la tradición colonial, condicionara a los empresarios a proporcionar un beneficio a la población, traduciéndose esto en la construcción de conjuntos de lavaderos, tanques de agua, acueductos, fuentes públicas, puentes o caminos que mejoraran la interacción social y económica entre las poblaciones circunvecinas<sup>15</sup>.

#### LAS CONCESIONES DE LAS REDES DE AGUA, UNO DE LOS PRIMEROS DETONANTES DE OBRAS PÚBLICAS URBANAS

Las actas de cabildo de diversas localidades de la República, antes del siglo XIX, revelan los acuerdos entre empresarios y autoridades<sup>16</sup>. Sin embargo, hacia la segunda mitad del siglo XIX, los arreglos transitaron de simples acuerdos municipales a concesiones formales. Por ello es pertinente cuestionarse ¿por qué aparece esta figura normativa si antes bastaba con un acuerdo celebrado entre las juntas de cabildo y los particulares para realizar determinadas obras públicas? ¿Cuál fue el motivo que propició la

8 Connolly, 1994.

9 De León Pinelo, 1992, t. III, 2099.

10 Matés Barco, 2009, 39.

11 <http://www.queretaro-mexico.com.mx/turismo/acueducto.html> (consulta realizada el 20 de marzo de 2014).

12 Salazar, 2014.

13 León, 2009.

14 Idem. Connolly, 1997.

15 Un caso ilustrativo fue la construcción del puente (en la salida del camino a Coatepec) y el conjunto de lavaderos, con tanques, acueductos y atarjeas junto a la fábrica del Dique (León, 2009).

16 Idem. Birrichaga, 1997.

formalización o los cambios de algunas costumbres heredadas de la época de la colonia?

Después de la Guerra de Reforma, durante los gobiernos de Juárez (1861-1872) y Lerdo de Tejada (1872-1876), el Estado adoptó una política liberal apoyada en el fortalecimiento de la propiedad privada, a través de la redistribución de las tierras, lo que a su vez amplió el mercado de fuerza de trabajo y permitió mantener bajos los costos de producción; aunado a ello se dio la unificación del mercado nacional a través de los ferrocarriles, apuntalado con la eliminación de impuestos a la circulación interior, a lo que se sumó el impulso al mercado externo<sup>17</sup>.

En este sentido, el Estado —apoyado en la concepción liberal— promovió una política de fomento y desarrollo industrial que lo llevó a controlar de una manera más formal la administración de sus recursos, lo que hizo de la “concesión” una de las formas más provechosas para impulsar el desarrollo económico, y que se define:

“[como el acto administrativo el cual se] confiere a una persona una condición o poder jurídico para ejercer ciertas prerrogativas públicas de bienes del Estado, [...] el contrato legal de la concesión da el derecho a los particulares de uso o explotación de un recurso, tratase de algún derecho de propiedad de la tierra, [...] el derecho de vía o de la propiedad del agua y de terrenos resultantes de la desecación de lagos y ríos”<sup>18</sup>.

La concesión como instrumento de subsidio se relacionó con la necesidad “real o ficticia de compensar la baja rentabilidad de las inversiones”<sup>19</sup> en infraestructura, de la que carecían los gobiernos municipales o estatales desde la Colonia hasta el siglo XIX. Por esta razón, a partir de 1865 el gobierno formalizó acuerdos consensuales entre los actores implicados para construir obras públicas, es decir, entre autoridades locales, gobierno nacional y empresarios contando a veces con la opinión pública<sup>20</sup>.

Las concesiones otorgadas con el fin de realizar obras públicas significaban una fuente de ingreso para el Estado, una forma de administrar los servicios públicos locales y una manera de legitimarse ante los habitantes; mientras que a los concesionarios les confería una forma de control de los recursos para el desarrollo de su industria<sup>21</sup>. Ambos actores, al proporcionar servicios a la población, adoptaron elementos de lo que se denomina “economía moral”, basada en la justa equidad de los individuos que, en este caso, reclaman la satisfacción de sus necesidades del recurso; por eso el ayuntamiento debía asegurar el servicio de agua a la población, para que de esta manera se mantuviera ecuánime, sin expresiones de violencia debido a su falta o escasez<sup>22</sup>.

La introducción de redes para el abasto del agua a las poblaciones representó una de las primeras obras o servicios públicos que “en México se sitúan en el parte-aguas entre lo público y lo

privado”<sup>23</sup>, porque el Estado otorgó la concesión legal de obras de utilidad pública a individuos particulares o constituidos en compañías.

Estas obras se aprecian desde antes del porfiriato, cuando algunos industriales textiles que ya contaban con maquinaria hidráulica incorporaron maquinaria de vapor, lo que hizo necesario explotar otros acuíferos para aumentar y regular la cantidad de agua indispensable para la obtención de vapor, cuyo proceso utilizaba compuestos químicos, reductores y filtros que consumían mucha más agua<sup>24</sup>, lo que motivó que los empresarios obtuvieran nuevamente permisos de los ayuntamientos a cambio de apoyar con su peculio obras que beneficiaran a las poblaciones.

La evidencia de que los ayuntamientos autorizaron la construcción de las obras hidráulicas requeridas —y las formalizaron a través de concesiones— se detecta en estudios de esa época sobre ciudades como Puebla, Monterrey, Toluca, Ciudad de México y Xalapa<sup>25</sup>.

En 1855, en Puebla, la empresa Cañerías de Puebla de Ignacio Guerrero recibió la concesión de parte del ayuntamiento para surtir de agua potable, colocar cañerías y llaves económicas a todas las casas y fuentes públicas de la ciudad; con excepción de la población dispersa y distante del centro urbano y de quienes recibían el agua por derecho de las antiguas mercedes. En el contrato de cesión de derechos se indicaba que Guerrero podía vender el agua que quisiera, después de abastecer a los sectores citados. En otra cláusula se expresaba que ningún otro empresario podía intervenir en el ramo y los propietarios de fincas únicamente debían hacer uso del servicio de esta empresa, con lo que Guerrero aseguró el monopolio del agua<sup>26</sup>.

De igual forma el ayuntamiento de Toluca, en 1862, otorgó la concesión al ingeniero inglés Jorge Ainslic para construir un caño con tubería de plomo que conduciría el agua de la hacienda La Pila al centro de la ciudad para surtir de agua a la gente de mejor posición social. La autoridad se comprometió a pagar por la instalación un costo superior a 21.000 pesos; por ello, instituyó “el impuesto al derrame”, consistente en 24 pesos anuales a quienes fueran los beneficiados, hasta cubrir la deuda<sup>27</sup>.

En 1871, en Xalapa<sup>28</sup>, los empresarios textiles Bernardo Sa-yago y Jorge Todd, constituidos en una compañía, instalaron máquinas de vapor en sus establecimientos, por lo cual solicitaron la concesión del cabildo a fin de construir un acueducto y una represa de más de cinco km para conducir y concentrar el agua de varios manantiales que surtían a los ríos Sordo y Pixquiac. Con el objeto de garantizar el éxito de su empresa motivaron a 200 ciudadanos, entre ellos a sus trabajadores, para que solicitaran agua entubada porque escaseaba en las fuentes públicas. Pero el ayuntamiento se negó, por carecer de liquidez, a responder esta

17 Kunzt, 2010.

18 Serra, 1996, 385-389.

19 Ibidem, 386.

20 Rodríguez, 1999.

21 Connolly, 1997. León, 2009.

22 Rodríguez, 1999.

23 Connolly, 1997, 55.

24 Hernández, 2004.

25 Suárez, 1998. León, 2009. Castañeda, 1998.

26 Birrichaga, 1998.

27 Castañeda, 1998.

28 Los ejemplos que se seleccionaron para el centro del Estado veracruzano se destacan por los estudios que se han hecho para este espacio y porque, al parecer, van a la vanguardia en cuanto a los cambios tecnológicos y sociales.

solicitud. En esta situación los empresarios aprovecharán para acudir al gobierno estatal, quien aprobó la concesión y, bajo esta presión, el cabildo del ayuntamiento tuvo que firmar el convenio y apoyar la iniciativa empresarial aportando una mínima parte de los gastos para la primera red de agua entubada en Xalapa. Esta, como parte del beneficio común<sup>29</sup>, legitimó las funciones públicas del Estado frente a la ciudadanía. Como establecían los reglamentos emitidos por el gobierno en el siglo XIX, el sistema de agua debía formar parte de la estructura física urbana a cargo de las autoridades locales.

La reglamentación estatal relacionada con el agua se modificó durante el periodo comprendido entre 1800 y 1900, debido al proceso de construcción de un nuevo Estado, las formaciones de los grupos en el poder y el desarrollo de las ideas relativas a la salud e higiene de las zonas urbanas. Se establecen ordenanzas de orden estatal y municipal que guardan una relación similar en contenidos. En la Constitución de 1825 (artículos 59, 61 y 62), las Ordenanzas municipales de 1837 (Artículos 142 y 150) y la Ley General del Gobierno del Estado de Veracruz de 1855 (Artículo 139) se indica que son atribuciones del ayuntamiento: cuidar la limpieza de calles, mercados y plazas públicas; la construcción y reparación de puentes, calzadas y caminos; la desecación de pantanos o aguas estancadas e insalubres, y la remoción de lo que pueda alterar la salud de los hombres y el ganado. Además, en 1825 se creó la Junta de Sanidad y en 1837, la Junta de Caridad, ambas para apoyar la problemática surgida por las recurrentes epidemias<sup>30</sup>.

En este tenor, el artículo 146 de la Ley General del Gobierno del Estado de 1855 subraya el cuidado y la conservación de las fuentes públicas procurando que haya abundancia de agua<sup>31</sup>. Después de la Guerra de Reforma, entre 1869 y 1876, a las funciones del ayuntamiento se sumaron otras como: cuidar el alumbrado público, los jardines de las plazas, las fuentes públicas y las atarjeas del centro de la ciudad. Las leyes y ordenanzas señaladas se relacionaban con la prevención y el tratamiento de enfermedades epidemiológicas, como parte de la política sanitaria de México, la cual se apegó a los cánones de los países europeos y americanos.

Después de la segunda mitad de siglo XVIII, cuando llegaron las ideas relativas a la higiene para prevenir las enfermedades contagiosas, se favorecía la libre circulación del aire y del agua, la apertura de calles para facilitar la circulación, la remoción de basuras y la canalización de los desechos líquidos fuera de los centros urbanos pasaron a ser claves para la vida de la población. En consonancia con lo anterior, las acciones en materia de agua, de drenaje y remoción de inmundicias las impulsó el conde Revillagigedo y representaron las bases de las políticas públicas

de salud que planteaban la idea de que toda ciudad debería de tener agua, drenaje fluido y buena ventilación<sup>32</sup>. Pero la infraestructura que se construyó en el siglo XIX escasamente contribuía a los requerimientos necesarios porque respondía más a intereses particulares.

Pese a que la construcción de alcantarillas, acueductos y atarjeas era una atribución del gobierno local, los márgenes de acción estuvieron limitados, entre otros factores, por la escasez financiera, el desconocimiento de la tecnología y la falta de capacidad organizativa, a lo que se sumó la insuficiente política pública orientada hacia la salud y bienestar de los ciudadanos como lo destaca Matés Barco<sup>33</sup>, quien enfatiza que los niveles de gestión de los ayuntamientos españoles fueron bastante limitados frente al desarrollo del capital. Situación similar ocurría en ayuntamientos latinoamericanos, particularmente mexicanos. Por ende, si las empresas privadas y los particulares tenían interés por conducir los recursos con fines industriales, o para el beneficio propio, impulsaron la construcción de infraestructura mediante el arreglo de concesiones con los gobiernos municipales.

En la década que va de 1870 a 1880 se experimenta una paulatina incorporación del marco legal derivado de las políticas de libre mercado y de fortalecimiento de la propiedad privada, promovidas desde la constitución de 1857. Fruto de ello se desamortizaron los bienes eclesiásticos y se ampliaron las libertades económicas que permitieron desarrollar más el concepto de la libertad individualizada y la libre competencia; además, se "fomentaron los derechos laborales y el lugar de la empresa privada, nacional y extranjera, en el proceso de crecimiento"<sup>34</sup> del Estado. De ahí que, a partir de 1870, se observen acuerdos o contratos concesionados por las instituciones locales y estatales a empresarios, quienes aún para esa década aprovecharon el recurso a cambio de beneficios a la comunidad afectada: de esa forma la institución cubría la función de servir a sus ciudadanos con obras públicas.

#### DE LAS CONCESIONES A LOS CONTRATOS PARA LAS REDES DE AGUA DURANTE EL PORFIRIATO

La recuperación y modernización de la economía estuvo acompañada de transformaciones estructurales como la industrialización y la urbanización, que demandaba la construcción de infraestructura y servicios públicos<sup>35</sup>. Por ello, para colocar a México al ritmo de los avances de los países desarrollados de Europa (Gran Bretaña, Francia y Alemania), el presidente Manuel González impulsó entre 1880 y 1884 una política que dio cabida a las concesiones como contratos empresariales al capital extranjero, lo que permitió al Estado delegar responsabilidades en la construcción de redes de agua, introducción de energía eléctrica, entre otras ramas de la economía, ante su incapacidad para cumplir con ellas. Las concesiones empresariales representaron el imán para atraer capitales, medios técnicos, financieros y formas

29 Como lo señalan las distintas constituciones y reglamentos municipales del siglo XIX, aunque se avanzó en los trámites legales entre los agentes involucrados, y en la construcción del acueducto, no se llegó a un feliz término por oposición de los hacendados cañeros de la zona de Coatepec, entre quienes se vivió un intenso conflicto que se resolvió con la intervención de la federación (León, 2009, 355-377).

30 Gobierno del Estado de Veracruz, 1997 (Ley para la organización, policía y gobierno del interior, Gobernador: Miguel Barragán, t. I (1824-1827), 288-291; t. III (1840-1860), 39-41; art. 122 a 165, sección, 20 de marzo de 1837, t. III, 395.

31 Gobierno del Estado de Veracruz, 1997, t. III (1840-1860), 399.

32 Connolly, 1997.

33 Matés Barco, 2013.

34 Kuntz, 2010, 312.

35 Ibidem.

de gestión para el desarrollo de distintas obras con el propósito de desencadenar el desarrollo del mercado y el progreso del país.

Con este antecedente, cuando el general Porfirio Díaz retornó a la presidencia en 1884, se atrajo a empresas extranjeras bajo el régimen de concesiones y apoyos arancelarios para el desarrollo de la industria textil y cervecera; a ello se aunó la explotación de minas y la extracción de petróleo, el desarrollo de las vías de ferrocarril y la apertura de puertos de altura que facilitarían la libertad comercial entre países.

Las fábricas textiles se establecieron en su mayoría en un espacio que va desde Veracruz al altiplano y de ahí hacia el norte; en particular en lugares que ya tenían tradición artesanal y comercial y en donde se localizaron las principales vías del ferrocarril. Varias fábricas prosperaron por el empeño de las compañías capitalistas extranjeras (inglesas, francesas y norteamericanas), porque se asentaron cerca de las fuentes de agua o buscaron formas de acercarla.

El agua fue un recurso estratégico, primero para la fuerza motriz de la maquinaria hidráulica, luego para la de vapor y, finalmente, para la generación de energía eléctrica útil para las distintas actividades que permitieron el crecimiento de la industria y el del ritmo de la producción de mercancías para el mercado<sup>36</sup>.

El auge de la industria y el impulso al crecimiento económico motivó la movilización de habitantes del campo a la ciudad para ocuparse en las fábricas, el comercio y otras actividades. Esta concentración de población hizo que varias ciudades en las dos últimas décadas del siglo XIX necesitaran de la habilitación de los servicios públicos e infraestructura urbana. Sin embargo, los alcances fueron de distinta magnitud para las ciudades implicadas pues mientras algunas tuvieron un aumento significativo de población, otras se estancaron o disminuyeron durante el porfiriato. Además, como lo expresan Aboites, Birrichaga y Garay, surgió una política urbanística "orientada a modificar la antigua traza Colonial de las ciudades"<sup>37</sup>, que contaba con acueductos, cajas y fuentes de agua como parte de las obras públicas para que las poblaciones se abastecieran del preciado líquido.

El abasto del agua se modernizó en el porfiriato con la instalación de un sistema en red abierta, compuesto por un circuito de tuberías ramificadas con distintas salidas unidas a tanques almacenadores, caños, acueductos y tanques decantadores y reparadores que permitieron ampliar la oferta del servicio<sup>38</sup>. Ello implicaba fuertes costos de instalación por la novedosa tecnología, la necesidad de contratación de personal calificado y materiales que exigían la apertura o alineación de calles para una óptima circulación de la red<sup>39</sup>.

El nuevo sistema en red tuvo tres modalidades, derivadas de las políticas públicas del régimen liberal, que generaron la interacción permanente entre la economía pública y la privada, entre el Estado y el mercado, que, para promover la moderniza-

ción urbana, creó espacios de acción para la empresa privada<sup>40</sup>. Se manifiestan mediante tres vías reglamentadas: a) la administración directa, cuando los ayuntamientos o gobiernos estatales prestaban el servicio en algunos centros urbanos asumiendo todos los requerimientos (diseño de obra, control técnico, mano de obra y materiales); b) el contratismo, que establece una estipulación entre dos o varias voluntades en la que el Estado se reserva la propiedad y el derecho de apropiación y según los acuerdos, emplea a los trabajadores de forma directa y se hace cargo de sus salarios; o la obra en su totalidad corre por cuenta de una empresa particular, comúnmente extranjera, y c) la concesión o la privatización, que consistía en que los gobiernos locales o estatales o ambos concedieran el abasto de agua a empresas o compañías particulares, con mayor o menor injerencia del Estado<sup>41</sup>. Estos modelos tuvieron matices de aplicación de acuerdo con las negociaciones que establecían los permisionarios o concesionarios con las autoridades, en forma de subvenciones o exenciones fiscales, plazos y condiciones con base al monto de las obras, los intereses económicos y políticos, además del lugar donde las obras se construyeran.

En México, las dos últimas modalidades fueron las más practicadas, aun cuando en la mayoría de las ciudades prevaleció el modelo de las concesiones a empresarios particulares o integrados en compañías (con el predominio de las nacionales sobre las extranjeras) que contaron con la autorización y mediación del Estado.

El contratismo estuvo acompañado de arreglos institucionales como la construcción de distintas obras públicas y los contratos formales se negociaron con empresas extranjeras, principalmente británicas y francesas, que tenían experiencia suficiente, poseían habilidades y autoridad para dirigir el trabajo en equipo. Además de contar con fuentes de financiamiento externo para proveerse de los adelantos técnicos y científicos, como los tubos de hierro colado que hicieron más fuertes y duraderas las tuberías que se instalaron de la calle a los domicilios particulares, los embalses o presas destinados a mantener la regularidad del abastecimiento urbano y del campo<sup>42</sup>.

Ejemplo de ello es la compañía inglesa Pearson & Son, que se ocupó del desagüe de la Ciudad de México, de las obras portuarias de Veracruz, Salina Cruz y Coatzacoalcos, y de la introducción del agua en esta última urbe, entre otras obras<sup>43</sup>.

En lo referente a los primeros sistemas hidroeléctricos, la presa de Necaxa fue concesionada inicialmente a la empresa francesa Societé du Necaxa en 1889, pero al no cumplir las expectativas en tiempo y forma, la concesión se transfirió en 1902 a Pearson & Son, que junto con otros accionistas fundaron la compañía The Mexican Ligth and Power Company Limited de capital canadiense e inglés<sup>44</sup>. Otra concesión la tuvo la Compañía Eléctri-

36 Aboites, Birrichaga y Garay, 2010.

37 Ibidem, 26.

38 León, 2014. Connolly, 1997.

39 Alfaro, 2013. Matés Barco, 2009.

40 Kuntz, 2010.

41 Serra, 1997. Connolly, 1993.

42 En Inglaterra se habían instalado en la primera mitad del siglo XIX. Estas obras públicas fueron realizadas por nueve compañías o empresas dedicadas a la construcción de obras para el abasto de agua (Derry y Williams, 1971, 612-613).

43 Connolly, 1997. Garner, 2005.

44 Invirtió 12.000.000 de dólares, capital con el que logró construir un sistema de canales, unidos a través de 40 kilómetros de túneles que concentró varias

ca de Luz y Fuerza del Río Conchos para construir La Presa de la Boquilla en Chihuahua, subsidiaria de la empresa anglo canadiense Makenzie, que desde Toronto dirigía la construcción de esta obra<sup>45</sup>. Similar situación se observa cuando en 1912 se construyó la Presa de Taximay en Tula Hidalgo, con una inversión de la Compañía Luz y Fuerza del Centro (filial de la empresa canadiense The Mexican Light & Power Limited) y del Ferrocarril de Pachuca. Las primeras hidroeléctricas tuvieron como propósito apoyar el desarrollo de la minería y la red de agua potable de las ciudades relacionadas con esta actividad extractiva, así como el desarrollo agrícola regional<sup>46</sup>.

Con la apertura que Porfirio Díaz les brindó, estas compañías pudieran realizar obras de mayor envergadura, que requerían una considerable inversión de capital extranjero, un mayor conocimiento científico y tecnológico y redes de financiamiento. En cambio, las empresas nacionales de individuos particulares fortalecieron sus negocios a través de la construcción de obras públicas como el sistema de redes en algunas ciudades, mediante acuerdos según su posición o grado de injerencia con las instituciones locales o estatales.

Entre 1880 y 1930 se registraron entre 30 y 40 empresas en ciudades con importancia económica y/o política de las entidades federativas de Chihuahua, Coahuila, Jalisco, México, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Sinaloa, San Luis Potosí, Sonora, Zacatecas, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán. La oleada de modernidad que trajo la incursión de dichas empresas fue aprovechada por los centros urbanos con mayor incremento poblacional al demandar una transformación en sus sistemas de abastecimiento de agua, pero las poblaciones más pequeñas fueron excluidas de este avance porque sus condiciones económicas eran distintas<sup>47</sup>.

Para mostrar cómo se incorporó el modelo de las concesiones formales a empresas privadas en las ciudades de provincia baste citar unos cuantos ejemplos. En 1887, la carencia de servicios públicos en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa, favoreció que Francisco Echeguren y de la Quintana, junto con un grupo de inversionistas, formaran la Compañía Abastecedora de Agua de Mazatlán, con el objetivo de hacer todas las inversiones y trabajos que fueran necesarios para dotar de servicio de agua a la ciudad en un plazo máximo de 20 meses, por una suma mensual fija; de este modo en 1890 llegó agua limpia, suficiente y constante a Mazatlán<sup>48</sup>.

fuentes acuíferas (Tecolutla, Necaxa y Tenango) en una amplia zona geográfica comprendida en territorio de los Estados de Puebla, Hidalgo y México. El agua que después se conducía a las turbinas de la planta de Necaxa, antes tuvo una caída de 443 m de altura. La concentración de agua permitió a la compañía controlar el mercado de energía eléctrica más importante para los primeros diez años del siglo XX, abarcando las ciudades de México, Puebla, Orizaba y Pachuca (Martínez y Ramos, 2006, 235-251).

45 Rivas y Pérez, 2013.

46 En el caso de la presa de Necaxa las ciudades que se vieron favorecidas fueron Pachuca, Puebla y la ciudad de México. Respecto de la presa de la Boquilla fue principalmente la ciudad de Chihuahua y, finalmente, la presa de Taximay se aprovechó para introducir el agua en Tula y otras poblaciones de Hidalgo (Martínez y Ramos, 2006. Rivas y Pérez, 2013)

47 Connolly, 1993. Aboites, Birrichaga y Garay, 2010.

48 Contreras, 2007.

Otro breve ejemplo se observa en la ciudad de San Luis Potosí, donde la empresa de Aguas de la Ciudad de San Luis Potosí, S. A. —constituida por 48 socios de los gobiernos estatal y municipal, así como de varios ciudadanos potosinos con capital económico— acordó en 1894 construir una red de agua potable que abasteciera a dicha ciudad; para ello, edificaron una presa en la sierra la Escalerilla. Esta obra sería libre de impuestos, pero con la posibilidad de vender pajas de agua (500 litros de agua cada una) a quienes la necesitaran tanto para sus actividades productivas como para el mantenimiento de la salud de sus familias<sup>49</sup>.

En Xalapa, Veracruz, en 1907, los Gobiernos estatal y municipal aprobaron el proyecto del general Ángel García Peña para introducir agua del río Pixquiac a Xalapa construyendo un tanque de captación y almacenamiento para llevar el agua en tubería de fierro a los domicilios de particulares y a los hidrantes<sup>50</sup> colocados estratégicamente en la ciudad para el servicio público. Para cubrir los costos, la empresa acordó con el cabildo la venta de mercedes de agua a los habitantes cobrando 3,00 pesos mensuales por paja, en calidad de impuestos<sup>51</sup>.

La instalación de redes de agua para poblaciones de provincia se realizó en mayor medida con capital de empresas nacionales, aunque también participaron compañías extranjeras de capital británico, norteamericano, francés o belga<sup>52</sup>. La razón principal estriba en las facilidades concedidas por el gobierno porfirista a los inversores extranjeros como respuesta al ideal de progreso que planteaba el positivismo y la política liberal.

Las empresas nacionales estaban constituidas por un individuo, otras por dos o más miembros de la elite local, quienes en ocasiones cubrían alguna función importante en el ayuntamiento, el gobierno estatal o federal<sup>53</sup>.

La intención de las empresas era lograr negocios con suficientes ganancias por su participación en la venta de agua, ya que la concesión se convirtió en la forma administrativa adecuada para controlar y regular los derechos y las obligaciones entre concesionarios y el Estado. Así, la federación contribuyó en la mejoría de las condiciones de salud de sus comunidades y los concesionarios lograron contratos con diversas condiciones: la duración del tiempo de explotación de las concesiones (cuyo in-

49 Castañeda, 1998.

50 Los hidrantes son "bocas de caño de agua", es decir, tubos gruesos con varias válvulas o salidas alimentados por la red de abastecimiento público, colocados estratégicamente en las esquinas y calles para que la población se proveyera del recurso, sobre todo considerando a aquellos que carecían de acceso directo.

51 Archivo Histórico Municipal de Xalapa (en adelante AHMX), Fondo Secretaría (FS), 1907, 4, 72.

52 Por ejemplo, el abasto de agua de la ciudad de Veracruz y la de Coahuila estuvo a cargo de la empresa británica de Pearson & Son. Mientras que los empresarios ingleses James Stoker y William Walker se responsabilizaron de la red de Monterrey y la compañía Strucktor —dirigida por el norteamericano Tomas Branniff— del abasto del agua de Tampico. Los franceses Dillon y Makin, sin mayores prerrogativas, obtuvieron del gobierno coahuilense la concesión para introducir el agua entubada a la ciudad y las familias alemanas (radicadas en Toluca, desde aproximadamente 1860) Rosenzweig, Graff, Gottwald y Henkel, como funcionarios del ayuntamiento, formaron una compañía particular para encargarse de la colocación de la red de agua de la ciudad. En este caso, fundamentalmente, para abastecer del recurso sus empresas (Connolly, 1997. Birrichaga, 1998, 202-210. Castañeda, 1998, 167-169).

53 Castañeda, 1997.

tervalo fluctuaba entre 20 y 99 años de vigencia), los costos de la infraestructura, las exenciones fiscales, la reducción en derechos aduanales, las formas de recuperación económica y el grado de relación entre los niveles de gobierno local, estatal y federal.

Durante esos años los distintos niveles de gobierno carecieron de una legislación adecuada que permitiera un control eficiente de estas compañías; aunado a ello estaba el hecho de que los empresarios contaran con las prerrogativas que les otorgaba el presidente Díaz, que les permitió incidir en la edificación de la infraestructura urbana de la Ciudad de México y de otras ciudades en la provincia mexicana, con el fin de obtener abundantes ganancias.

Con el progreso porfiriano, el financiamiento externo de obras públicas mediante el endeudamiento aceleró una tendencia centralizadora en manos del gobierno federal y debilitó los poderes locales, lo que se manifestó en la centralización de funciones. El 5 de junio de 1888 se inicia la regulación de las corrientes fluviales, las cuales gradualmente fueron quedando bajo la vigilancia federal. Posteriormente, en 1908, la reforma constitucional a la fracción 22 del artículo 72 introdujo el concepto de dominio público sobre las corrientes declaradas federales, argumentando que el agua es de dominio público y de carácter federal, lo que permitió a los particulares acceder a concesiones, a través del gobierno federal, excluyendo con ello a los gobiernos locales en la toma de decisiones<sup>54</sup>. Estos cambios legales facilitaron la construcción de diversas obras en ciudades que por su crecimiento demandaban más servicios<sup>55</sup>.

La fragilidad económica y legal de los ayuntamientos frente a las compañías privadas, se manifestó cuando las empresas se impusieron, a pesar de no contar con el beneplácito de los usuarios, quienes estaban inconformes por el pago excesivo de impuestos. En ocasiones, los usuarios pedían apoyo al gobierno federal, especialmente cuando se generaban conflictos entre los compradores, las empresas y los ayuntamientos, y si estos problemas no se solucionaban con acuerdos verbales, intervenía la acción judicial, con la mediación del gobierno estatal o federal<sup>56</sup>.

#### EL AGUA COMO OBRA PÚBLICA Y EL AYUNTAMIENTO DURANTE EL PERIODO POSREVOLUCIONARIO

Al término del movimiento armado del periodo revolucionario el abasto del agua en las ciudades estuvo controlado por empresarios y compañías, que tenían el recurso hídrico como objeto mercantil. México se encontraba vulnerable, inmerso en una crisis económica y financiera, pues los bancos estaban endeudados a consecuencia de los avatares de la revolución, por lo que fue necesario establecer políticas gubernamentales que ayudaran a la recuperación económica de la República. De modo que establecieron leyes, reglamentos y normas para las instituciones financieras, de crédito nacional y de organización que operaran los proyectos del gobierno mexicano e impulsaran el desarrollo agrí-

54 Aboites, 1998.

55 Connolly, 1997.

56 León, 2009. Castañeda, 1998.

cola, industrial y urbano del país. Pero, ¿qué sucedió con el agua? ¿siguió estando bajo control de los particulares? ¿Hasta dónde llegó el control del recurso con los gobiernos postrevolucionarios?

Uno de los resultados de la Revolución mexicana fue la Constitución de 1917, que favoreció —principalmente— el interés público en detrimento de los intereses particulares. En su artículo 27 instauró que “la propiedad de tierras y aguas comprendidas en el territorio nacional corresponden originalmente a la nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada”<sup>57</sup>, con lo que se reafirma el carácter federal en cuanto a la idea de centralización del agua. Para el caso de los cuerpos de agua la noción de propiedad “inalienable e imprescriptible de la nación”<sup>58</sup> resultó parte de un proceso iniciado con la ley de 1888 al que se le incorporó la ley de 6 de enero de 1915 para darle el sustento legal al Estado, a fin de que procediera al reparto de tierras, aguas y bosques.

Para Luis Aboites<sup>59</sup> significó una ruptura y un volver al pasado porque se retorna a las prácticas coloniales. Los “usuarios” ya no serían únicamente los agricultores privados, sino también los pueblos, las corporaciones y los ejidos. Asimismo, el agua acompañó a la tierra en la discusión jurídica sobre el reparto o restitución a los campesinos de forma similar a tiempos de la colonia, cuando ambos recursos se entendían como una sola cosa ya que están estrechamente vinculados para el desarrollo agrícola y humano: por eso se puede considerar que dependía uno del otro. Aunque en realidad fue solo durante el siglo XVI cuando los dos recursos permanecieron unidos en la venta de mercedes de tierra. Sin embargo, para el siglo XVII (1643) las mismas Leyes de Indias se modifican y apartan los dos recursos para vender mercedes de tierra y agua por separado.

El gobierno federal, para fortalecer la federalización y convertirse en la instancia suprema en el manejo del recurso hidráulico, promovió políticas gubernamentales y obligó a los usuarios a ceñirse gradualmente a las nuevas reglas. Por ello, desapareció la Secretaría de Fomento<sup>60</sup> en 1917 y se creó la Secretaría de Agricultura y Fomento (en adelante SAgF), la cual se hizo cargo de las funciones administrativas y políticas, así como de la formulación de leyes para la promoción de las actividades inherentes al sector agropecuario y forestal del país, la dotación y restitución de tierras, la administración de las aguas de propiedad federal, así como de las obras de irrigación, desecación y mejora de terrenos<sup>61</sup>. Posteriormente, también se encargó de vigilar los cambios en las concesiones de obra pública de las aguas nacionales destinadas al abasto de las poblaciones por grandes o pequeñas que fuesen.

57 Tena Ramírez, 1982, 825.

58 Aboites, 1998, 89.

59 *Ibidem*.

60 Que había sido creada en 1891 como la Secretaría de Fomento para atender las funciones de fomento agrícola, colonización de terrenos baldíos, irrigación, chequeo de pesas y medidas, exposiciones de productos agrícolas e industriales y los observatorios meteorológicos y astronómicos (Carrillo, 2011, vol. 2, t. 1, 342).

61 Carrillo, 2011, t. II.

Hasta la década de 1920 las empresas habían logrado concesiones en diversas ciudades mediante autorizaciones federales y en las que los ayuntamientos respectivos permitían explotar dicho servicio de agua. No importaba si ocasionaban perjuicios ya que no tenían ninguna obligación con el municipio y se convirtieron en verdaderos dictadores del consumo de agua<sup>62</sup>. Sobre todo por la amplia vigencia que las empresas particulares habían firmado con las autoridades, con la intención de retener sus derechos sobre las distintas fuentes; es decir, estaban suficientemente enraizadas en el control del agua de diversas localidades y no permitían que el Estado posrevolucionario recuperase el vital líquido.

El gobierno federal comenzó a ejercer un creciente control sobre los usos del agua debido a los conflictos entre las compañías privadas y la población, generados por los precios excesivos que cobraban por el agua. Este fue el caso de los pobladores de Ixtpec, Oaxaca, quienes en 1926 firmaron contratos para pagar 10 pesos por cada llave de agua de media pulgada. Y no porque estuvieran de acuerdo con el precio del servicio de agua y el valor del hielo, sino “por la fuerza irresistible que produce la sed”<sup>63</sup>, sobre todo tratándose de poblaciones en la costa suroeste de México, en tierra caliente, lo que hace necesario el consumo de agua en abundancia. Este tipo de situaciones obligó al gobierno federal a imponer nuevas formas de regularizar el acceso al agua como vigilar las tarifas o apoyar a los gobiernos estatales y municipales para recuperar o comprar las empresas de agua.

Por otra parte, los gobiernos postrevolucionarios —apoyados en los estudios de Pasteur y Koch, que habían demostrado la importancia de la calidad del agua como vehículo de trasmisión de enfermedades— realizaron diagnósticos de salud pública a fin de evaluar el funcionamiento de las empresas. En este sentido, el agua se convirtió en un elemento clave de salud pública e higiene personal<sup>64</sup>.

Los diagnósticos relativos a la calidad del agua que corría en las redes de varias ciudades para el consumo de la población indicaban que había “más de mil gérmenes del grupo Coli por litro de agua”<sup>65</sup>. Por ello, el agua entubada estaba infectada de estos microorganismos causantes de enfermedades gastro-intestinales que ocasionaban un elevado índice de mortalidad infantil y reducían la esperanza de vida. Ante este panorama el gobierno federal asumió la tarea de impulsar y generalizar los nuevos sistemas de abasto de agua, apoyado en el artículo 27 de la Constitución de 1917. Esta le otorgaba el rango de propiedad nacional a las aguas y expresaba que los particulares y colectividades solo podían tener acceso al agua por medio de resoluciones del Estado<sup>66</sup>. Por tanto, se centralizó el recurso hídrico mientras que las fun-

ciones de salud pública que debían atender los problemas sanitarios pasaron a ser responsabilidad de la federación.

Consolidar la centralización efectiva del agua y facilitar su control sobre el abasto de agua potable obligó a la federación en 1929 a crear la Ley Federal de Aguas, que en su artículo 14 definió el procedimiento para la confirmación del derecho de las empresas sobre el agua. El artículo subraya que las compañías seguirían abasteciendo a terceros siempre y cuando pagaran las cuotas determinadas por la SAyF. Este organismo, desde su fundación en 1928, sentó las bases para otorgar las concesiones de agua de uso público y doméstico. Estipulaba que las compañías privadas, particulares y los ayuntamientos debían dar un depósito de 50 pesos por cada 1.000 m<sup>3</sup> que fueran destinados para abastecer de agua a las poblaciones. Se supeditó la vigencia de acuerdo al artículo 31 de esa misma ley a un máximo de 75 años, siempre que estuvieran al día con la contribución de las cuotas que anualmente pagaban<sup>67</sup>.

Lo anterior expresa que la centralización influyó de manera negativa en la administración que los ayuntamientos ejercían sobre los recursos porque sus finanzas se debilitaron y no se les permitió adquirir deudas externas. Por tal motivo, algunos gobiernos locales recurrieron al endeudamiento interno para financiar obras públicas programadas en sus presupuestos.

Bajo este contexto legal y administrativo, el abastecimiento del recurso continuó en manos de empresarios particulares que la misma ley protegía al permitirles acceder libremente a 60.000 m<sup>3</sup>, mientras que los ayuntamientos solo accedían a 50.000 m<sup>3</sup> según señala Lanz<sup>68</sup>. Lo anterior expresa la fortaleza de las empresas particulares y la escasa liquidez de los ayuntamientos, ya minada por los contratos “beneficiosos” expedidos antes de la referida ley. De esta forma, los gobiernos locales quedaron aún más limitados por el pago de contribuciones anuales y el control del gobierno federal.

De acuerdo con el artículo 23 de la Ley de Aguas Propiedad Nacional de 1929, se indica que toda solicitud de concesión de aguas se sujetará a las disposiciones establecidas en los reglamentos de la SAyF. Por ejemplo, que se debe: “Demostrar que el aprovechamiento que solicite sea para usos domésticos o servicios públicos de las poblaciones, que se obra en representación de la autoridad municipal o que se tiene concesión de ella”<sup>69</sup>. El capítulo IV, artículo 37, señala que es el ejecutivo federal el encargado directo de regular los derechos de las concesiones.

En 1933 la federación determinó que el Departamento de Salubridad gestionara la aprobación de un reglamento general de aguas potables. Este fue autorizado en 1934, durante el gobierno del presidente Abelardo Rodríguez, como anexo al Código Sanitario. El artículo 257 establecía las normas jurídicas, en los ámbitos federal y local, en materia de salud, y el Departamento de Salubridad quedaba autorizado para dictar las medidas convenientes apegadas a los análisis físicos, químicos y bacteriológicos que debían realizarse en las fuentes de abastecimiento con el objeto de

62 Connolly, 1997.

63 Birrichaga, 1998, 219.

64 Ibidem. Aboites, 1998.

65 AHMX, fondo México Independiente, paq. 4, 1928, exp. 98, s/f, 42. Cabe señalar que el grupo coli está formado por microorganismos llamados *Escherichia coli*, *enterobacter*, *Klebsiella* y *citrobacter*; es decir, bacterias que comparten características comunes y se encuentran en el intestino y las heces fecales de los humanos y animales que provienen del agua o de los alimentos contaminados ([www.slideshare.net/lucasburchard/coliformes.app1.semarnat.gob.mx/playas/nuevo/analisis\\_tecnico02.shtm](http://www.slideshare.net/lucasburchard/coliformes.app1.semarnat.gob.mx/playas/nuevo/analisis_tecnico02.shtm), consulta realizada el 24 de julio de 2014).

66 Aboites, 1998.

67 Birrichaga, 1997. Lanz Cárdenas, 1982, t. II.

68 Lanz Cárdenas, 1982, t. II.

69 SIAPS, 2010, 34.

determinar la potabilidad necesaria del agua que contribuyera a la salud y la higiene de la población<sup>70</sup>.

En 1934, el presidente Abelardo Rodríguez promovió reformas a la Ley de Aguas de Propiedad Nacional para facilitar que los ayuntamientos recuperaran parte de sus tareas en el servicio público, sin desatender el dominio federal. Según el artículo 2° se indica:

“Los ayuntamientos que estén autorizados para usar aguas de propiedad nacional, con el fin de atender los servicios públicos y domésticos de las poblaciones, solo podrán contratar con particulares la administración de dichos servicios, previo permiso de la Secretaría de Agricultura y Fomento. [...] el aprovechamiento de las aguas será por mediación del contratista, [que] se sujetará al régimen de las concesiones [...] y tarifas que se presentarán a la SAy F”<sup>71</sup>.

Esta normatividad federal brindó espacio a algunos ayuntamientos para recuperar el servicio de abasto de agua, que estaba en manos de empresas privadas. Aunque a varias empresas no les fue fácil separarse del negocio del agua por los nexos o las deudas contraídas con las mismas autoridades. Tal es el caso de la empresa del general Ángel García en la ciudad de Xalapa, que había ganado la instalación de la red abierta de agua desde 1907, y aun con los cambios de la legislación, permaneció hasta su muerte en 1937. Esta situación se produjo por la existencia de deudas, conocimientos técnicos y de suelos, además de la interacción social entre el gobierno municipal y los empresarios locales.

Por otra parte, la federación asumió la tarea de impulsar la generalización de los nuevos sistemas de abasto de agua y drenaje, que en buena medida permitió la recuperación de las redes de agua de manos de compañías privadas, a través del apoyo crediticio del Banco Hipotecario Urbano y de Obras Públicas (BHU y OP) o de la Nacional Financiera<sup>72</sup>, institución que fue establecida por el mismo presidente Abelardo Rodríguez en 1933 para construir obras de abastecimiento de agua, la construcción de drenaje, mercados, servicios municipales, rastros y lavaderos públicos, para abatir los coeficientes de morbilidad y mortalidad de la población mexicana<sup>73</sup>.

Durante el gobierno del presidente Lázaro Cárdenas, específicamente en el año de 1939, se propuso dotar de agua potable y drenaje a todos las poblaciones en general, a fin de protegerlas de los problemas extremos de salud y evitar la mortalidad. La mayoría de los habitantes se encontraban en condiciones de pobreza, a pesar de ello y debido a la economía, solo era posible introducir agua potable a las cabeceras municipales, aunque el BHU y OP ocasionalmente dio crédito a ayuntamientos pequeños. Sin embargo, estos no permitían el uso del agua más allá de su espacio.

El gobierno cardenista buscó ser reconocido como “el sexenio del agua potable”, por lo que propuso un plan en el que los ayuntamientos tuvieran servicios públicos apoyados por los gobiernos

estatales. Entre las medidas estaban: a) que los ayuntamientos se sometieran a una disciplina severa y austera de robustecimiento de sus finanzas y b) que se acogieran a la ayuda del Banco (BHU OP) para realizar sus obras de abasto de agua y drenaje. Lo interesante era que la población debía cubrir parte de sus gastos para contar con el fideicomiso del banco. Además, toda vez que se introdujera el agua se debía cobrar una tarifa a los habitantes y para hacerlo era necesario formalizar las Juntas de Mejoras Materiales, integradas por un miembro del ayuntamiento, algunos vecinos y un representante del banco, quienes, desde luego, vigilaban los recursos recuperados y pagaban al banco. Aunque, como dice Diana Birrichaga, la presencia de las juntas representa la injerencia directa del gobierno federal en la administración del agua potable<sup>74</sup>. A pesar de ello, el proceso de devolución del agua a la nación se demoró un poco más.

Otra de las políticas de los gobiernos postrevolucionarios fue promover restricciones a la importación de bienes extranjeros para favorecer el fomento a la producción nacional de dichos bienes, pero para desarrollar la industria se requería de una fuerte inversión en la infraestructura necesaria para promover la agricultura de riego en grandes espacios, lo cual incidió en la reestructuración del sistema bancario para activar la economía, por lo que el gobierno creó en 1925 el Banco de México y el Banco Nacional de Crédito Agrícola en 1926<sup>75</sup>. Así, en ese mismo año, el gobierno expidió la Ley sobre Irrigación con Aguas Federales y creó la Comisión Nacional de Irrigación (CNI) para promover la construcción de obras de riego que impulsaran la agricultura nacional, sobre todo, en el árido norte del país donde ha habido una natural escasez de agua y la irrigación de la zona resulta fundamental.

## CONCLUSIONES

A partir de la exposición sobre la importancia de las concesiones, los contratos y otras modalidades intervinientes en el desarrollo de la obra pública hidráulica en México, desde el porfiriato hasta las primeras décadas postrevolucionarias, se pueden plantear las siguientes conclusiones:

Se considera que tanto el agua como la tierra son recursos básicos para el desarrollo humano y como tal desde la época de la colonia fueron objeto mercantil, ya que la ley reglamentaba que ambas eran propiedad privada, sujetas a compraventa y el rey de España era el propietario. Las gestiones correspondientes al agua las realizaban los virreyes y alcaldes municipales; sin embargo, persistió el agua como un recurso comunal entre los grupos indígenas porque fue respetada y reglamentada en las Leyes de Indias.

Los modelos para reglamentar el agua privada y comunal persistieron hasta las tres últimas décadas del siglo XVIII. En esa época se aprecia un tercer modelo como parte de las obras públicas, que fueron emergiendo cada vez más debido a la estabi-

70 Birrichaga, 1997.

71 Lanz Cárdenas, 1982, t. 2, 137-138.

72 Este banco fue creado por el gobierno federal para tratar de resarcirse de la crisis producto de la revolución y de los cambios de las políticas nacionales (Birrichaga, 1997, 109).

73 Birrichaga, 2007.

74 Idem.

75 Birrichaga, 1997.

lidad, crecimiento poblacional y auge comercial e industrial de las ciudades.

A partir de este periodo son los cabildos municipales quienes se debían encargar de la gestión de las obras, pero ante su incapacidad financiera y operativa para construirlas se apoyaron en las elites locales a través de acuerdos consensuados. Por ello durante el siglo XIX la construcción de obras públicas puso de manifiesto la necesidad de fortalecer la legitimidad de la institución local a través de concesiones escritas con las elites. Sin embargo, el ayuntamiento se mantuvo vigilante en cuanto a la reducción en las ventas de agua, pero no por eso aumentó su control sobre la misma.

En el porfiriato se requirió un abasto controlado y continuo para el desarrollo de los centros urbanos. Se hizo necesaria la instalación de redes abiertas sujetas a una relación contractual si se trataba de empresas extranjeras o de convenios o concesiones formales entre elites, empresas y gobierno si eran nacionales. Mientras estas organizaciones gestionaban el abasto se fue construyendo un aparato legal que trajo consigo la federalización del agua, lo que dejó el poder de los ayuntamientos limitado a las decisiones centrales.

En el periodo postrevolucionario se observa que la centralización del agua se afianzó a través de leyes y reglamentos que dejaron al recurso hídrico como un bien público federal y al mismo tiempo se demandaba acabar con el dominio de las elites empresariales en la toma de decisiones sobre el abasto a las ciudades. A pesar de ello, no fue posible realizar tal intención debido a las deudas y las relaciones construidas con otros actores. Esto evidencia que el ayuntamiento perdió su autonomía frente al control del gobierno federal.

La acción de los ayuntamientos estuvo limitada por diversos factores, situación que se observó de manera generalizada en América y Europa porque los niveles de gestión estaban menos desarrollados y era la empresa privada la encargada de proporcionar el servicio y hacer la gestión y planeación conveniente para el desarrollo de sus ramas productivas. En este sentido, es mayormente la industria la actividad económica que impulsó las políticas en materia de agua.

El presente estudio permite comprender la instrumentación de diversas respuestas en tiempos del desarrollo del liberalismo y cómo estas se convierten en un desafío a la modernidad, hoy cada vez más globalizada. En los periodos que abarca la investigación se pueden observar las oscilaciones entre los intereses públicos y privados respecto a la prestación de un servicio como el abastecimiento de agua potable, que resulta básico para la población.

En los primeros quince años del siglo XXI sigue vigente el problema de la escasez, mantenimiento y modernización de las obras hidráulicas. Por eso hay zonas en México donde se persigue un proceso de remunicipalización con un carácter local y una participación de la sociedad civil y de las organizaciones no gubernamentales. Esto forma parte de las políticas públicas latinoamericanas, donde hay una acción participativa de las comunidades, como el caso de San Agustín Amatlipac, Tlayacapan, Morelos, en México. Esta propuesta es semejante a la presentada por la ciudadanía uruguaya al parlamento de su país, aunque en este caso —por su extensión y población— goza de un carácter

más colectivo, organizado y reglamentado en cuencas o subcuencas hidrográficas<sup>76</sup>.

Por el contrario, en otras regiones el gobierno insiste en la privatización del recurso. En buena medida, porque sin la presencia de la empresa privada —sea de capital local, nacional o internacional— los ayuntamientos y los gobiernos en sus distintos niveles, son incapaces de asumir la construcción de una red de abastecimiento de agua y saneamiento, así como su mantenimiento, en las condiciones de seguridad e higiene que exige una sociedad desarrollada. A título de ejemplo se puede citar el caso de la empresa privada brasileña Odebrecht, que se encuentra en proceso de privatizar el agua en las ciudades de Puebla, Veracruz y Coahuila.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aboites Aguilar, L. 1998: *El agua de la nación. Una historia política de México (1888-1946)*. México, CIESAS.
- Aboites Aguilar, L. 1999: "Relación sociedad-naturaleza desde la historia de los usos del agua en México (1900-1940)", en García Martínez, B. y González Jácome, A.: *Estudios sobre historia y ambiente en América*. México, Instituto Panamericano de Geografía e Historia-El Colegio de México, 173-190.
- Aboites Aguilar, L. 2000: "Optimismo nacional: geografía, ingeniería hidráulica y política en México (1926-1976)", en Von Menzt, B. (coord.): *Identidades, Estado nacional y globalidad. México, siglos XIX y XX*. México, CIESAS, 95-152.
- Aboites Aguilar, L., Birrichaga Gardida, D. y Garay Trejo, J. A. 2010: "El manejo de las aguas mexicanas en el siglo XX", en Jiménez Cisneros, B., Torregrosa y Armentía, M. L. y Aboites Aguilar, L. (eds): *El agua en México: cauces y encauces*. México, Academia Mexicana de Ciencias-CONAGUA, 21-50.
- Alfaro Rodríguez, E. 2013: "El abastecimiento de agua: un problema urbano sin solución (Zacatecas, México, siglo XIX)", en *Agua y Territorio*, 1, 91-102. <http://dx.doi.org/10.17561/at.v1i1.1037>
- Álvarez Icaza, P. 1999: "Impactos sociales y ambientales", en Arreguín, F. I., Herrera, C., Marengo, H. y Paz Roldán, G. A.: *Memorias: Avances en Hidráulica*, 5. México, Asociación Mexicana de Hidráulica-IMTA.
- Añorve Baños, M. 1998: *Servicios públicos municipales*. México, Porrúa.
- Arreguín, F. I., Herrera, C., Marengo, H. y Paz Roldán, G. A. 1999: *Memorias Avances en Hidráulica*, Vol. 5. México, Asociación Mexicana de Hidráulica-IMTA.
- Birrichaga Gardida, D. 1997: "El abasto de agua en León y San Luis Potosí (1935-1947)", en Suárez Cortez, B. E. y Birrichaga G., D.: *Dos estudios sobre usos del agua en México (siglos XIX-XX)*. México, CIESAS-IMTA, 93-146.
- Birrichaga Gardida, D. 1998: "Las empresas de agua potable en México (1887-1930)", en Suárez Cortez, B. E. (coord.): *Historia de los usos del agua en México. Oligarquías, empresas y ayuntamientos (1840-1940)*. México. CONAGUA-CIESAS-IMTA.
- Carmona, F. 1970: "La situación económica", en Carmona, F., Montaña G., Carrión, J. y Aguilar M., A.: *El Milagro Mexicano*. México, editorial Nuestro Tiempo, S. A. 13-102.
- Carrillo Castro, A. 2011: *Génesis y evolución de la Administración pública federal centralizada*, t. 2. México, Instituto Nacional de Administración Pública.

76 Domínguez, Achkar y Fernández, 2013. Guzmán, 2013.

- Castañeda González, R. 1998: "Esfuerzos públicos y privados para el abasto a Toluca (1862-1910)", en Suárez Cortez, B. E. (coord.): *Historia de los usos del agua en México. Oligarquías, empresas y ayuntamientos (1840-1940)*. México, CONAGUA-CIESAS-IMTA, 105-179.
- Connolly, P. 1993: "Lo público y lo privado de las obras públicas en México: Los primeros cien años", en *Sociológica*, 8, 22, México, UAM-Universidad Azcapotzalco, 103-124.
- Connolly, P. 1994: "De ida y vuelta al siglo pasado: Políticas de inversión, relaciones de producción y dependencia económica", en *Sociológica*, 9, 26, México, UAM-Universidad Azcapotzalco, 177-193.
- Connolly, P. 1997: *El contratista de don Porfirio. Obras públicas, deuda y desarrollo desigual*. México, El Colegio de Michoacán-Universidad Autónoma Metropolitana-Fondo de Cultura Económica.
- Contreras, H. 2007: "Compromiso, reglas claras y escrutinio público. Cómo se conforman las asociaciones públicas-privadas exitosas", en *Revista de Cabecera Municipal*, 15, México, 9-17.
- De León Pinelo, A. 1992: *Recopilación de las Leyes de Indias*, t. III. México, Esc. Libre de Derecho-Gobierno del Estado de Chiapas-Gobierno del Estado de Morelos-UNAM-Universidad Cristóbal Colón-Universidad de Navarra-Universidad Panamericana-Miguel Á. Porrúa.
- Derry, T. K. y Williams, T. I. 1971: *Historia de la tecnología (desde 1750 hasta 1900)*, v. 2. México, Siglo XXI editores.
- Domínguez, A., Achkar, M. y Fernández, G.: 2013: "Las estrategias de la ciudadanía frente a los procesos de privatización del agua: logros y desafíos en Uruguay", en *Agua y Territorio*, 2, 48-55.
- Durán, J. y Alethya, K. 2009: "Balance de la situación de las presas en México en el siglo XX", tesis de licenciatura en Economía, UNAM, México.
- Durán Juárez, J. M., Partida Rocha, R. E. y Torres Rodríguez, A. 1999: "Cuencas hidrológicas y ejes industriales: el caso de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago", en *Relaciones*, XX, 80, El Colegio de Michoacán, 101-120.
- Escalante Gonzalbo, P., García Martínez, B., Jáuregui, L. y Zoraida Vázquez, J. et al. 2008: *Nueva Historia Mínima de México ilustrada*. México, Gobierno de la Ciudad de México-Secretaría de Educación Pública-El Colegio de México.
- Escobar Omsthede, A. 2009: "Manejo del agua en México. Bosquejo de la evolución institucional federal, 1926-2008", en CONAGUA: *Semblanza histórica del agua en México*. México, Gobierno Federal-SEMARNAT-CONAGUA, 61-73.
- Evans, S. 2006: "La angustia de La Angostura: consecuencias socio-ambientales por la construcción de presas en Sonora", en *Signos Históricos*, 16, 46-78.
- Florescano Mayet, E., Sancho y Cervera, J. y Pérez Gavilán Arias, D. 1980: "Las sequías en México: historia, características y efectos", en *Comercio exterior*, 30, 7, México, 747-757.
- Garner, P. 2005: "Sir Weetman Pearson y el desarrollo nacional en México, 1889-1919", en *Estudios de Historia Moderna y Contemporánea de México*, 30, México, UNAM, 145-165 (Consultado en URL junio 2014: <http://www.redalyc.org/pdf/941/94120201004.pdf>).
- Gobierno del Estado de Veracruz, 1997: *Colección de Leyes y Decretos de Veracruz, 1824-1919* (Coords. Carmen Blázquez y Ricardo Corzo Ramírez), t. I y III. Xalapa, Universidad Veracruzana.
- Guzmán-Puente, M. A. 2013: "La gestión participativa del agua en México (2002-2012): El caso de San Agustín Amatlipac (Morelos)", en *Agua y Territorio*, 2, 93-106. DOI: <http://dx.doi.org/10.17561/at.v1i2.1348>.
- Hansen, R. D. 1971: *La política del desarrollo mexicano*. Zamora, México, FCE.
- Heredía-Flores, V. M. 2013: "Municipalización y modernización del servicio de abastecimiento de agua en España: el caso de Málaga (1860-1930)", en *Agua y Territorio*, 1, 103-118. DOI: <http://dx.doi.org/10.17561/at.v1i1.1038>.
- Hernández Camacho, B. 2004: "El excedente, la racionalidad económica y el uso del agua", en J. Peña Ramírez (Coord.): *El agua, espejo de los pueblos. Ensayos de ecología política sobre la crisis del agua en México en el umbral del milenio*. México, UNAM, FES Acatlán y Plaza y Valdés editores.
- Kuntz, F. S. 2010: "De las reformas liberales a la Gran depresión", en Kuntz, F. S. (coord.): *Historia Económica General de México: de la colonia a nuestros días*. México, El Colegio de México-Secretaría de Economía, 305-352.
- Lanz Cárdenas, J. T. 1982: *Legislación de aguas en México (Estudio histórico-legislativo de 1521 a 1981)*, tomo I y II. México, Gobierno del Estado de Tabasco. PMCID: PMC216327
- León Fuentes, N. J. 2009: *Los debates y las batallas por el agua en Xalapa, 1838-1882*. Xalapa, Universidad Veracruzana.
- León Fuentes, N. J. 2013: "Contexto histórico de Xalapa en relación al agua", en *El agua en Xalapa*, en prensa.
- León Fuentes, N. J. 2014: "Las primeras empresas de agua en Xalapa. Signos de cambios en la relación sociedad naturaleza", en *VII Simposio de la Sociedad Latinoamericana y Caribeña de Historia Ambiental*, Quilmes, Argentina. 14-18 de octubre (inédito).
- Margadant, G. F. 1987: "El régimen de aguas en el Derecho Indiano", en Icaza Dufour, F. de (coord.): *Recopilación de leyes de los Reynos de Las Indias, estudios histórico-jurídicos*. México, edición conmemorativa del V Centenario del Descubrimiento de América, Miguel Ángel Porrúa, 499-513.
- Margadant, G. F. 1989: "El agua a la luz del derecho novohispano: triunfo de realismo y flexibilidad", en *Anuario Mexicano de Historia del Derecho*, I, UNAM, México, 113-146.
- Martínez Miranda, E. y Ramos Lara, M. de la P. 2006: "Funciones de los ingenieros inspectores al comienzo de las obras del complejo hidroeléctrico de Necaxa", en *Historia Mexicana*, 56, 1, 231-286.
- Matés-Barco, J. M., 1997: "Las sociedades anónimas de abastecimiento de Aguas en Andalucía. Una primera aproximación", en *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses*, 167, 103-130.
- Matés-Barco, J. M. 2009: "El desarrollo de las redes de agua potable: modernización y cambio en el abastecimiento urbano", en *Agenda Social*, 3, 1, 23-51.
- Matés-Barco, J. M. 2013: "La conquista del agua en Europa: los modelos de gestión (siglos XIX y XX)", en *Agua y Territorio*, 1, 21-29. DOI: <http://dx.doi.org/10.17561/at.v1i1.1030>
- Matés-Barco, J. J. 2014: "Las empresas concesionarias de servicios de abastecimiento de aguas potables en España (1840-1940)", en *Transportes, Servicios y Telecomunicaciones*, 26, 58-89.
- Matés-Barco, J. M. 2015: "El sistema moderno de agua potable en la España interior (siglos XIX y XX)", en Contreras, J., Navarro, J. R. y Rosas, S. (coords.): *Agua, Estado y Sociedad en América Latina y España*. Xalapa, Consejo Superior de Investigaciones Científicas-Escuela de Estudios Hispanoamericanos-Universidad Veracruzana, 301-343.
- Matés-Barco, J. M. 2016: "La regulación del suministro de agua en España, siglos XIX y XX", en *Revista de Historia Industrial*, 61, 17-49.

- Méndez, P. 2013: "Tecnología extranjera en las obras de salubridad rio-platenses de los siglos XIX-XX", en *Agua y Territorio*, 1, 41-54. DOI: <http://dx.doi.org/10.17561/at.v1i1.1032>
- Palerm Viqueira, J. y Chairez Araiza, C. 2002: "Medidas antiguas de agua", en *Relaciones*, 92, El Colegio de Michoacán, 227-251 (<http://www.redalyc.org/pdf/137/13709210.pdf>).
- Rivas Sada, E. y Pérez, R. 2013: "Gran hidráulica y ocupación de la geografía árida de Norteamérica: una primera aproximación histórica, 1860-1960", en *Vegueta. Anuario de la Facultad de Geografía e Historia*, 13, 119-142.
- Rodríguez, A. 1999: "Gobierno local y empresas de servicios: la experiencia de la ciudad de México en el porfiriato", en Kuntz, F. S. y Connolly, P. (coords.): *Ferrocarriles y obras públicas*. México, Instituto Mora-El Colegio de Michoacán-El Colegio de México-UNAM.
- Romero Rodríguez, J. 2012: "Necaxa, patrimonio industrial de México y el mundo", en *Revista Labor & Engenho*, 6, 4, Campinas, Brasil, 11-20 (consultada en URL abril 2014, [http://www.conpadre.org/L&E/L&E\\_v6\\_n4\\_2012/02\\_p11-20.pdf](http://www.conpadre.org/L&E/L&E_v6_n4_2012/02_p11-20.pdf)).
- Salazar-Exaire, C. 2014: "San Andrés Chalchicomula: un estudio de caso de la distribución de agua a mediados del siglo XVII", en *Agua y Territorio*, 3, 56-64. DOI: <http://dx.doi.org/10.17561/at.v1i3.1423>.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1970: *Presas de México* (t. III). México, SARH-Biblioteca del Instituto Nacional de Ecología
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1988: *Agua y sociedad: una historia de las obras hidráulicas en México*. México, SARH y Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica.
- Serra Rojas, A. 1997: *Derecho Administrativo*, Segundo curso. México, Editorial Porrúa Hnos.
- Sistema de Información del Agua Potable y Saneamiento (SIAPS), 2010: *Evolución de la legislación de aguas en México*. México, SIAPS-El Colegio de México [En línea, fecha de consulta 12 de mayo de 2015]. Disponible en <http://siaps.colmex.mx/documentos/legislacion/Evolucion%20de%20la%20legislacion%20de%20aguas%20en%20Mexico.pdf>.
- Solis Manjarrez, L. 1993: *La realidad económica mexicana: retrovisión y perspectivas*. México, S. XXI editores.
- Tena Ramírez, F. 1982: *Leyes fundamentales de México. 1808-1982*. México, Editorial Porrúa.
- UNDESA (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas), 2003: *Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua para todos, Agua para la vida*. París, UNESCO. 1er. Informe de las Naciones Unidas. [En línea, fecha de consulta 25 marzo de 2014]. Disponible en <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>
- Velasco Toro, J. y Ramos Pérez, G. 2011: "Agua: Símbolo de vida y muerte en el bajo Papaloapan", en Montero García, L.A., Velasco Toro, J. y Sandré Osorio, I. (coords): *Mariposas en el agua. Historia y simbolismo en el Papaloapan*. Xalapa, Instituto de Investigaciones Histórico Sociales, UV, 21-38.
- Veraza, J. 2007: *Economía y política del agua. El agua que te vendo primero te la robé*. México, ediciones Itaca y grupo Banamex.
- Worster, D. 2008: *Transformaciones de la Tierra*. Uruguay, Ediciones Coscoroba y Biblioteca Latinoamericana de Ecología Política.

# Eventos



## IX Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua

*“Agua, ciudad y salud de los ecosistemas:  
Integrando perspectivas, proponiendo soluciones”*

Valencia, 7-9 septiembre 2016

Como manifestó el profesor Francesc La Roca en la presentación del Congreso que ha presidido, la gestión del ciclo integral del agua urbana presenta actualmente una serie de disfunciones y retos que es necesario abordar. Los sistemas técnicos e institucionales desarrollados desde finales del siglo XIX y a lo largo del XX se enfrentan hoy a un contexto -tanto biofísico como socioeconómico y político- muy diferente del momento en que se planearon. Desde diferentes posiciones se viene reclamando la necesidad de definir un nuevo marco regulador del abastecimiento y el saneamiento, que —por un lado— alinee la gestión del ciclo integral del agua urbana con las nuevas exigencias y dé respuesta, por otro, a la demanda de mejora de dichos servicios. Más precisamente, se requiere un marco de criterios e instrumentos que orienten y asistan a los prestadores de los servicios en el cumplimiento de su misión.

El nuevo modelo de gestión del ciclo urbano del agua que se requiere reformula la relación de la ciudad con el agua y con otros recursos (territorio, suelo, energía). No incluye solamente el suministro de agua potable, su distribución domiciliar y su correcta evacuación —lo que ya es mucho— sino que contempla e integra el conjunto del fenómeno agua en el espacio urbano, incluyendo las aguas de lluvia, la red hidrográfica sobre la que se asienta y rodea a la ciudad, los paisajes fluviales, el drenaje, las aguas regeneradas y los procesos de recirculación. Los nuevos planteamientos surgen desde la vocación de incorporar la gestión del ciclo del agua como elemento del proyecto urbano de conjunto y reconoce a los agentes sociales como actores capacitados en la gestión sostenible de su hábitat.

A estas demandas ha querido responder el *IX Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua*.

### ÁREA TEMÁTICA I. AGUA, MODELO DE GESTIÓN Y DEMOCRACIA

El movimiento por una gestión pública participativa de los servicios urbanos de agua exige garantizar el control ciudadano efectivo sobre el agua, como patrimonio común; recuperar víncu-



los sociales y culturales con los ecosistemas acuáticos, y establecer políticas de democracia local efectiva.

El reconocimiento del acceso al agua potable y al saneamiento como un derecho humano pone en cuestión la lógica neoliberal de gestión de los servicios del agua. No obstante, desde esa visión basada en la mercantilización de la vida, se ha reaccionado promoviendo un enfoque reduccionista del derecho humano, con un reconocimiento meramente formal del mismo que resulta ineficaz.

A partir del año 2000 se ha revertido la tendencia de privatización de los servicios de abastecimiento y saneamiento, impulsada en gran medida por organismos financieros internacionales desde los años 80 del siglo pasado. Este proceso de remunicipalización del ciclo urbano del agua se ha venido intensificando a partir de 2009.

Sin embargo, y en contra de las tendencias mundiales, en el contexto europeo de políticas de austeridad impuestas a raíz de la crisis financiera internacional, las instituciones europeas están promoviendo la privatización de los servicios de abastecimiento y saneamiento en los países más afectados por la crisis, pese a la fuerte oposición social. En algunos de estos países el proceso de privatización está relacionado también con la búsqueda de



financiación alternativa por parte de los ayuntamientos en crisis, a través del mecanismo perverso del canon concesional.

Frente a la contraposición tradicional de dos modelos alternativos de provisión de servicios y garantía de derechos (el modelo público versus el modelo privado) algunos sectores sociales proponen una tercera vía: la de los comunes, caracterizada por modelos relacionales y colaborativos de gestión, donde la sociedad civil ocupa los vacíos de gobernabilidad dejados por el sector público y presenta una alternativa a las propuestas que se ofrecen desde el mercado.

Lo "público" no es de forma automática más transparente, democrático, accesible y equitativo; estas cualidades dependen de cómo se institucionalice su gestión y acceso. La defensa de un modelo de gestión pública para garantizar el derecho humano al agua tiene que venir acompañada por una definición e implementación ambiciosa de dicho derecho. Frente a interpretaciones reduccionistas que se basan en el porcentaje de cobertura del servicio, los defensores del derecho humano al agua proponen definiciones ambiciosas que incluyen criterios y valores de 'asequibilidad', democracia, transparencia, equidad en el acceso y sostenibilidad económica y ambiental. De los aspectos ambientales del ciclo urbano del agua se trató ampliamente en otras áreas temáticas del Congreso.

Sin embargo, no existe una definición única de "asequibilidad" o de "pobreza hídrica", y dicha definición es compleja. La erradicación de la pobreza hídrica requiere un marco de gobernanza adecuado que especifique claramente las instituciones responsables de garantizar el derecho humano al agua y permita identificar con claridad a aquellos colectivos que en cada caso necesitan el apoyo solidario.

La transparencia y la rendición de cuentas en la gestión del ciclo urbano del agua es una condición básica y previa para que esta pueda contribuir al ejercicio efectivo del derecho humano al agua. Transparencia implica el suministro activo de toda la información vinculada a las características (técnicas, económicas, ambientales y socio-sanitarias) cuantitativas y cualitativas de los servicios del agua. La transparencia respecto al diseño de los esquemas tarifarios es fundamental para la implementación efectiva de la repercusión de los costes, de manera que responda a principios de suficiencia económica, equidad, asequibilidad y eficiencia. Es necesario que los usuarios conozcan cómo su com-

portamiento impacta sobre todos los costes que el sistema soporta en abastecimiento, saneamiento y drenaje.

Para que la aplicación del principio de repercusión de los costes potencie eficazmente un enfoque de gestión de la demanda se debe aplicar conjuntamente con otras medidas y presupuestos: garantía de regulación por la administración pública y transparencia en los circuitos de asignación de los ingresos tarifarios, en primer lugar, así como sensibilización, información activa y adaptación a hábitos sostenibles de consumo por parte de los ciudadanos. La recuperación de costes no puede ser regida exclusivamente por criterios de eficiencia económica, sino que tiene que considerar siempre las condiciones sociales, culturales, climatológicas, hidrológicas y urbanísticas locales. En determinados contextos, como en el caso particular de las favelas de Rio de Janeiro, que fue analizado por el Congreso, se pone especialmente en cuestión la aplicación mecánica de métodos de gestión estándar.

El Pacto Social por el Agua Pública, suscrito por más de cuarenta ayuntamientos, diputaciones y parlamentos autonómicos en toda España, asume un enfoque integral que busca hacer efectivo el ejercicio universal de este derecho, promoviendo modelos de gestión pública participativa y garantizando la transparencia basada en sistemas adecuados de indicadores.

El Congreso valora positivamente modelos de gestión como el de Águas de Ribatejo en Portugal, en el que destaca la solidaridad intermunicipal; o el promovido en Berlín, surgido a partir de una decisión democrática, materializada en referéndum, que garantiza la recuperación de costes pero sin ánimo de lucro, con participación ciudadana directa en los consejos de dirección de la empresa, la institucionalización efectiva de la rendición de cuentas, observatorios ciudadanos e indicadores de gestión significativos y comprensibles para la ciudadanía.

## ÁREA TEMÁTICA 2. CIUDAD Y TERRITORIO RURAL. INTERDEPENDENCIAS

Es importante aprender de las técnicas ancestrales de agricultura, sostenibles y adaptadas a los condicionamientos topográficos, edafológicos y climáticos, de las civilizaciones preindustriales. En América del Sur estas técnicas se perdieron en gran parte con la colonización europea. Los regadíos tradicionales



de los diferentes territorios de los países ibéricos también son, como es bien sabido, una fuente valiosísima de conocimientos y potencialidades, con importante proyección de futuro. La Nueva Cultura del Agua debe entroncar, inspirarse y enriquecerse con las enseñanzas de la antigua cultura del agua.

El Congreso ha prestado atención a las huertas del entorno mediterráneo en el que se celebró, destacando por un lado sus múltiples servicios ambientales, sociales y culturales y, por otro, el problema de la presión urbanística, residencial e infraestructural, alentada por las expectativas de los planes urbanísticos sobre los espacios periurbanos, la reducción de superficie, la fragmentación y, especialmente, la reducción de población activa agraria, hasta convertirse en un espacio de "regadío sin regantes".

El abandono de parcelas y del rico patrimonio natural y cultural de estos espacios agrarios disminuye su potencial para contribuir a la seguridad alimentaria, en cantidad y, especialmente, en calidad. Se desaprovecha así su capacidad para mejorar la sostenibilidad de los espacios urbanos a través del desarrollo de circuitos de consumo de proximidad, con mayor eficiencia energética y la contribución al cierre de flujos del metabolismo urbano propio de una economía circular.

Es fundamental mantener vivos estos paisajes culturales porque estimulan la calidad de vida y el sentido de pertenencia, favorecen el desarrollo sostenible de la matriz rural y son claves para la resiliencia de las ciudades en un contexto de cambio climático y crisis energética.

El Congreso ha discutido la necesidad de aplicar medidas de protección y fomento de la funcionalidad de estos espacios, incluidas figuras de ordenación territorial, patrimonial y paisajística, así como medidas tendentes a apoyar los retornos económicos de la actividad productiva.

Igualmente se pone de manifiesto la gran influencia de los espacios urbanos sobre el conjunto del territorio y sus ecosistemas y la necesidad de adoptar flujos metabólicos urbanos más sostenibles, en relación con el circuito de producción y consumo de alimentos y con otros ámbitos, como la huella hídrica de las actividades de la construcción. Un mayor control local sobre los procesos productivos urbanos y periurbanos facilita la transición hacia sistemas con menor huella hídrica, energética y ambiental. En este sentido, en el Congreso se ha destacado la riqueza de iniciativas locales que ponen en valor los espacios agrarios periurbanos, potenciando su multifuncionalidad e incorporando objetivos de regeneración social.

### ÁREA TEMÁTICA 3. EL AGUA Y LOS RÍOS EN EL ENTORNO URBANO

Los entornos urbanos son uno de los muchos acontecimientos que engloba el espacio fluvial. Solo bajo esa óptica, dando protagonismo al río como eje vertebrador de las poblaciones, lograremos establecer unas relaciones río-ciudad equilibradas y sostenibles. De otra parte, es necesario seguir insistiendo en que los retos de la gestión del agua requieren su inserción en procesos de ordenación territorial que estén basados en visiones integradoras y que propongan soluciones ajustadas a las diferentes

realidades, sin someterse a megaproyectos descontextualizados e insostenibles.

La severidad, la frecuencia y los daños asociados a las inundaciones han aumentado en los últimos años y es previsible que sigan incrementándose en un futuro. Paralelamente, se ha comprobado que la gestión tradicional de la inundación, centrada en medidas estructurales, es con frecuencia ineficiente.

Sobre la base de estas constataciones, el Congreso defiende la necesidad de desarrollar las siguientes alternativas: Auténticas medidas de restauración fluvial, con incorporación de participación pública y construcción de capacidades sociales, que no impliquen nuevos impactos, como por ejemplo las actuaciones erróneamente denominadas 'limpieza de cauces'. En el caso de tramos que no puedan conducirse a una verdadera restauración se propone la naturalización de los mismos, recuperando el mayor espacio posible para el río.



Por otra parte, subsisten graves problemas en el tratamiento de los cauces fluviales en los entornos urbanos, siendo necesaria la mejora de la convivencia entre el sistema de drenaje natural y artificial en las ciudades. Para ello resulta clave considerar el uso de suelo urbano como una presión significativa, adaptando los asentamientos a los cursos fluviales, evitando la ocupación de los cauces y limitando los usos en las zonas inundables, como establece la ley tantas veces transgredida. Es necesario optar por una ordenación del espacio urbano adaptada a los ríos y por la restauración de estos en el interior de los espacios urbanos.

Es imprescindible incorporar los Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS) como tecnologías complementarias de las infraestructuras convencionales desde las fases más tempranas del planeamiento urbano. Para impulsar este proceso es fundamental el desarrollo de un marco técnico y normativo, la puesta en marcha de mecanismos de financiación y la mejora de la gobernanza de las aguas pluviales, tomando el protagonismo las administraciones locales. Las barreras que hoy en día todavía obstaculizan el proceso de transición del drenaje urbano son claramente más socio-institucionales que técnicas. Se debe por tanto poner el foco en las instituciones. La incorporación de las inundaciones pluviales en la trasposición de la Directiva de Inundaciones al ordenamiento jurídico de los distintos Estados Miembro permitiría

avanzar más fácilmente hacia la integración de los SuDS en las políticas de ordenación del territorio.

Es necesario reivindicar los ríos como vías de conectividad ecológica del territorio y como fuente de servicios recreativos, paisajísticos y culturales. Especial tratamiento merecerán en este sentido los cursos fluviales temporales, que no siempre son bien entendidos, valorados y asimilados socialmente en su dinámica y aspectos ecológicos y estéticos.

Finalmente, gran parte de las malas prácticas en relación a los ríos tienen su explicación en el superficial y escaso conocimiento de sus valores por parte de la población y en la inercia cultural y operativa de técnicos y gestores. Una nueva y mayor cultura fluvial, en ambos sectores de la sociedad, que contribuyera a devolver a los ríos las funciones y espacios perdidos, mejoraría la vida de las ciudades y la salud de la sociedad misma. En este sentido, el Congreso ha propuesto las siguientes líneas de trabajo generales:

- Desarrollar programas educativos en todos los ámbitos de la política y la gestión de las aguas.
- Revisar de forma crítica y rigurosa los recursos didácticos que se utilizan actualmente en la enseñanza.
- Potenciar el uso educativo y cultural de las intervenciones de restauración, rehabilitación o mejora de los ríos, especialmente en los entornos urbanos, considerando todas las fases del proceso como recursos potenciales para el aprendizaje.
- Recuperar el patrimonio hidráulico en desuso e incorporarlo al conjunto de recursos para la educación, divulgación y realización de actividades culturales de las ciudades.

#### ÁREA TEMÁTICA 4. ECOSISTEMAS Y CICLO URBANO DEL AGUA

El grado de conocimiento del impacto del cambio climático es progresivamente mayor, los resultados y la investigación científica (por ejemplo las metodologías de evaluación de vulnerabilidad y riesgos, así como de cálculo de la huella hídrica, presentadas en el Congreso) aportan resultados cada vez más concluyentes e inequívocos. El cambio climático es, pues, una evidencia como reflejan los valores de forzamiento radiativo del sistema climático terrestre. Temperaturas y precipitaciones ya están manifestando cambios notables. La disminución de caudales anunciada en los modelos climáticos y el aumento de la irregularidad de las lluvias obligan a desarrollar, desde ya, políticas y medidas de adaptación a la nueva realidad climática. La ciudad va a ser un entorno especialmente vulnerable a los efectos del cambio climático. La adecuación de los sistemas de abastecimiento y las medidas de reducción de extremos hídricos deben ser ejes principales de las políticas de reducción del impacto del calentamiento global en la escala local. Lamentablemente esto no se traslada, con la urgencia que la gravedad del problema requiere, a las decisiones que deben tomarse en el nivel de las actuaciones políticas.

El abastecimiento urbano es uno de los principales retos a los que se enfrenta la gestión del agua actualmente. La búsqueda de alternativas sociales, institucionales, económicas y tecnológicas es fundamental para hacer frente a los múltiples retos, como la creciente presencia de contaminantes emergentes en los efluentes urbanos, que exigen aplicar nuevos enfoques a los sistemas de saneamiento y depuración. En el Congreso se han presentado diversas experiencias para mejorar la calidad del abastecimiento, a la vez que se mantiene o recupera el buen estado de los ríos, acuíferos y ecosistemas del agua, incluyendo las aguas estuarinas y litorales.



A pesar de los avances realizados en la gestión del ciclo urbano del agua en las últimas décadas, es posible seguir realizando mejoras en el sector con medidas perfectamente aplicables, ya sean medidas no estructurales (relativas a la concienciación, difusión y educación de usuarios, a la formación de técnicos o al fomento de la investigación) o medidas estructurales como:

- Completar la incorporación de dispositivos y electrodomésticos hidroeficientes para seguir reduciendo la demanda de agua por parte de estos.
- Utilizar recursos alternativos a las fuentes hídricas tradicionales, optimizando el consumo de agua potable mediante la "adecuación de calidades" a los usos ("fit for purpose"), potenciando la reutilización y/o reciclaje de las aguas aprovechando flujos antes desperdiciados (aguas pluviales, aguas grises, etc.).
- Aumentar el control y el mantenimiento de las redes para la reducción de la demanda debida a pérdidas.
- Mejorar la eficiencia de los usos exteriores, a través de sistemas de jardinería hidroeficientes.
- Potenciar la minimización de consumos de energía en las diferentes fases del ciclo urbano del agua (aducción, potabilización, distribución, saneamiento, depuración) y especialmente en lo que se refiere a la provisión de agua caliente sanitaria.
- Replantear a fondo los modelos de relación con las aguas pluviales y el drenaje de la ciudad, potenciando el desarrollo de SuDS, en la línea de lo recogido en las conclusiones del área temática 3 del Congreso.

Los indicadores de sostenibilidad son una herramienta con un gran potencial para explicar una determinada realidad, pero dada la abundancia de indicadores que actualmente se están utilizando en la investigación científica, es necesario definirlos teniendo en cuenta la especificidad del problema que se pretende explicar, delimitando claramente el objetivo concreto que se quiere analizar y adaptándolos a la realidad local. Asimismo, es importante garantizar la implicación social en la definición de las baterías de indicadores, además de considerar la limitación que puede suponer su carácter estático.

El Congreso abordó de manera específica los indicadores de estado ecológico y ambiental requeridos en el ámbito de la Directiva Marco del Agua y de la Directiva Marco Estrategia Marina, señalándose algunos problemas de incertidumbre científica asociada a la interpretación de sus resultados. Se puso de manifiesto también la necesidad de una buena integración de estos instrumentos legales en las áreas geográficas a las que se aplican, especialmente las aguas costeras, así como la importancia de la coordinación de su implementación en los países que comparten demarcaciones hidrográficas y regiones marinas, como es el caso de los países ibéricos.

Los grandes proyectos (megaproyectos) que comportan grandes costes sociales, económicos y ambientales, siguen constituyendo una realidad frecuente: obras hidráulicas innecesarias,

inútiles o mal planificadas, con el agravante de no ser inocuas sino perjudiciales. Estas obras, que en el ámbito europeo se asocian con frecuencia a la corrupción política y económica, se convierten en tragedia en los países de Iberoamérica con abusos, pillaje, destrucción y una violencia que no respeta ni la vida de las personas, como hemos podido comprobar tristemente este año con el asesinato de la líder ecologista hondureña Berta Cáceres.

En el Congreso se presentó el caso de una infraestructura hidráulica obsoleta en el estuario del Guadalquivir, la presa de Alcalá del Río, que a pesar de estar ya plenamente amortizada y sin apenas funcionalidad, continúa representando una importante barrera a la continuidad fluvial. La recuperación de la continuidad funcional de los ríos debe ser planteada desde una perspectiva ibérica, dado que la restauración de los ríos internacionales exige actuaciones conjuntas para la eliminación de obstáculos con impactos muy significativos sobre la integridad fluvial de los ríos compartidos entre España y Portugal. El Congreso acogió con satisfacción la reciente decisión del Ministerio do Ambiente de Portugal en relación a la selección de un conjunto de infraestructuras hidráulicas que serán demolidas en un plazo breve.

*Fundación Nueva Cultura del Agua*

# Reseñas Bibliográficas





water and landscape

# AGUA y TERRITORIO

BUSTOS, Beatriz, PRIETO, Manuel, y BARTON, Jonathan, 2015, *Ecología Política en Chile. Naturaleza, propiedad, conocimiento y poder*, Santiago de Chile, Editorial Universitaria, 275 págs. ISBN 9561124653.

¿Qué es la ecología política? Esta la primera pregunta que viene a la mente. Mientras que en América Latina es todavía un tema joven, y aún en el calor de la discusión académica, en Europa y los Estados Unidos cuenta ya con varias décadas de estudio, por lo menos desde comienzos de los setenta. Lo verdaderamente interesante en todo caso, es el hecho de que la relación con la naturaleza es inherente de la vida humana, y más allá de corrientes de pensamiento o de tendencias políticas o económicas, solo hay -hasta el momento- un planeta en el que la humanidad toda ha podido desarrollarse, circunstancia que trae consigo una serie de interrogantes como, por ejemplo, ¿puede lograrse la sustentabilidad entre las necesidades de una población mundial en crecimiento con los recursos naturales limitados existentes en el siglo XXI?

Así, los editores del libro, Beatriz Bustos, Manuel Prieto y Jonathan Barton, se plantean la relación entre naturaleza, propiedad, conocimiento y poder, los cuales cuentan cada uno con un apartado compuesto por dos artículos, respectivamente. De este modo, la primera parte dedicada a Naturaleza, recoge el trabajo de Laura Ogden (Dartmouth College, USA) y George Holmes (University of Leeds), titulado "Involucramientos globales del bosque, incluso en el fin del mundo", en el que exponen el rol de la administración del Parque Nacional Karukinka, en la Tierra del Fuego chilena, en la conservación de los lagos glaciares y colonias de pingüinos.

Por su parte, Ricardo Rozzi (University of North Texas-Universidad de Magallanes), con su trabajo "Ética biocultural: una ampliación del ámbito socioecológico para transitar desde la homogeneización biocultural hacia la conservación biocultural", se pregunta sobre la dimensión ética en la investigación ecológica. Para ello realiza una revisión y propuesta metodológica aplicable a las indagaciones en dicha área.

En el segundo apartado del libro, referente a la Propiedad, Daniel Tecklin (Universidad Austral de Chile), entrega su ensayo "La apropiación del litoral de Chile: La ecología política de los derechos privados en torno al mayor recurso público del país", en el que aborda los distintos usos del litoral chileno, desde los más tradicionales como la pesca y las representaciones simbólicas construidas en torno a ellos, como las disposiciones de uso por parte de sectores privados. En todos ellos se entretienen conflictos y retos a la gobernanza, sobre la prioridad de la utilización de esos espacios o evitar que se viertan desechos.

Seguidamente, Manuel Prieto (Universidad Católica del Norte) —en el artículo "La Ecología (a) Política del modelo de aguas chileno"— describe la situación presente en Chile en torno a la

gestión del agua por empresas privadas, particularmente el caso del río Loa, y la ambigüedad o contradicción entre el modelo económico ("neoliberal") y su ideología "neutral" o con ausencia de ella, al tiempo que acusa la apolítica ecológica chilena.

Más adelante, en la Parte III dedicada a Conocimiento, Claudia Sepúlveda Luque (Universidades de la Frontera y Austral de Chile) y Juanita Sundberg (Universidad de British Columbia) colaboraron con "Apertura ontológica, multiplicidad y performance: explorando una agenda post humanista en Ecología Política a partir del desastre del río Cruces en Valdivia". En este trabajo, las autoras se cuestionan la percepción ontológica de la vida de los cisnes de cuello negro, del río Cruces valdiviano. A raíz del desastre ecológico causado en 2004 en esta región del sur de Chile, confrontan la pregunta ¿Tienen un valor monetario estos cisnes?

Del mismo modo, Beatriz Bustos (Universidad de Chile) con su trabajo "Producción de conocimiento en Chile y el caso de la crisis salmonera", realiza una revisión de la relación Estado-conocimiento-naturaleza en cuanto a la generación de conocimiento en el país, en el que distingue los lugares de investigación y producción y también la interacción con los circuitos del capital. Así, Bustos presenta el caso del virus ISA y su impacto en la industria salmonera nacional.

El último apartado recoge los trabajos sobre Poder. Primero, Marcela Palomino-Schalscha (Victoria University of Wellington), con su artículo "Ejercitando el poder en tiempos neoliberales: resistencia, comodificación y emprendimiento en Alto Biobío", refiere la relación directa entre el modelo económico del neoliberalismo y los impactos en la naturaleza. Específicamente, presenta la situación del Alto Biobío, en el centro-sur de la cordillera andina chilena, espacio en el que han colisionado poder e intereses de condicionamiento turístico del paisaje natural y la organización de indígenas para protestarlo y revertirlo.

A continuación, Álvaro Román (Universidad Alberto Hurtado) y Jonathan R. Barton (Universidad Católica de Chile), en su trabajo "Una ecología política de las transformaciones territoriales en Chile: poder y gobernanza en los sectores forestal y salmonero", cambian el enfoque del problema, abordando desde los efectos paisajísticos y los conflictos territoriales a la gestión territorial, en el cual la pobreza y la toma de decisiones son incorporadas al proceso de gobernanza del espacio, a través de la aplicación de la ecología política. Sin embargo, todo esto resulta en un intenso debate actual. Precisamente, los autores señalan que las críticas existentes refieren a la necesidad de estudiar la interacción entre sectores y estructuras de poder involucrados en las transformaciones espaciales, tanto en el "mercado" forestal como en el salmonero del país.

Para concluir, dos cosas merecen observarse con detenimiento. Por una parte, la relevancia de pensar y afrontar los temas de impacto hacia la naturaleza, y consiguientemente, de las repercusiones casi imprevisibles para el planeta y la humanidad entera. Y, por otra parte, la importancia de atender estos problemas desde otras miradas y perspectivas, mucho más amplias, eclécticas y diversas, pues la primera parte del libro retrata con cierto romanticismo las labores de “descolonización” y de “movimientos” de marcada tendencia política, como obra de impulso a la ecología política, pero deja de lado las responsabilidades de

gobiernos de distintas tendencias (izquierda y derecha), cuyas políticas -o despolíticas- han ocasionado graves daños. Se trata, pues, de poder establecer una visión general que permita avanzar y “crear” diálogos transversales en —por ejemplo— una verdadera resolución y cumplimiento del protocolo de Kioto.

***Froilán Ramos Rodríguez***

Universidad Simón Bolívar, Venezuela

Universidad de los Andes, Chile

fjramosrodriguez@gmail.com



water and landscape  
**AGUA y TERRITORIO**

DEL VAL VALDIVIESO, María Isabel, 2015, *La percepción del agua en la Edad Media*, Alicante, Publicacions Universitat D'Alacant, 318 págs. ISBN 978-849-717-345-2.

La fructífera historiadora medievalista Dra. M<sup>a</sup> Isabel del Val Valdivieso organizó una reunión de 15 visiones historiográficas que logran alumbrar un tópico tan concreto como sustancial en la historia de la humanidad: el agua. Bajo el título *La percepción del agua en la Edad Media*, 15 investigadores invitan al lector a sustentar con información histórica su inquietud actual por defender el uso sostenible del agua, dejando en manifiesto la importancia de la relación: hombre-agua. Ya que la pérdida de esta relación significaría el deceso de la humanidad, es el hombre quien necesita la racionalización y justa repartición del agua para todos los habitantes de cualquier sociedad en el mundo. Bien lo comenta la Dra. del Val Valdivieso en su introducción: "En el mundo globalizado en el que vivimos, los problemas derivados de la escasez de agua potable son cada vez más evidentes. Todas las sociedades contemporáneas son conscientes que garanticen la continuidad de la vida"<sup>1</sup>.

Metodológicamente el libro está planteado en tres partes para abordar desde perspectivas distintas el tema central de la obra, pero se complementan para reafirmar y comprender la importancia que tuvo el agua en la historia medieval ibérica: Primera parte: "De lo real a lo imaginado" (Capítulos 1-5); Segunda parte: "De la palabra escrita: De la tratadística a la diplomacia" (Capítulos 6-9); Tercera parte: "Usos del agua en las culturas cristiana, musulmana y hebrea" (Capítulos 10-15).

Es pertinente mencionar con orden y equidad las investigaciones que integran cada una de las páginas del libro.

El primer trabajo del libro fue realizado por el profesor José Rodríguez Fernández (Universidad del País Vasco) y se titula "Agua, poder, sociabilidad y desigualdades de género en las fuentes públicas de las villas alavesas (1450-1550)". El autor demuestra la importancia de la localización de las fuentes públicas en las villas alavesas en tiempos de la transición árabe a los confines cronológicos posteriores de los Reyes Católicos. El doctor Rodríguez apunta la cercana relación que tuvieron las fuentes de agua con las parroquias en las sociedades medievales, concluyendo que la cercanía de la institución católica con el agua se trata de un símbolo de poder social con el que contó la iglesia, aportando un puntual croquis que facilita la comprensión de su estudio.

<sup>1</sup> Del Val Valdivieso, 2015, 9.

"Aguas peligrosas-aguas aprovechables: concepción ideológica y realidad productiva de los marjales. El sur del Reino de Valencia (XIV-XV)" es fruto de una reciente tesis doctoral presentada en la Universidad de Alicante, cuya autora Miriam Parra Villaescusa, explica hábilmente la importancia de los marjales en Orihuela y sus condiciones excepcionales para la productividad agraria, así como la calidad de sus pastos y cultivos, que a su vez refuerzan la calidad alimenticia de todos los animales que se cazaban y los frutos que se recolectaban en ellos. Las tierras alicantinas cercanas al mar brindaron excelentes condiciones naturales para la dieta de sus pobladores medievales.

La investigación titulada "Água e emoções entre a paisagem real e a imaginada: fontes decorativas no Jardim dos Amores e nos Jardins do Paraíso", de la historiadora portuguesa Isabel Vaz de Freitas, Universidade Portucalense Infante Don Henrique, rescata 22 ilustraciones medievales para evidenciar, a través del arte de la pintura, la importancia que tuvo el agua para el hombre en la época medieval. Gracias a este original trabajo se comprueba que en el imaginario religioso del hombre medieval, el agua debía estar presente en el paraíso terrenal.

¿Cómo se imagina el Atlántico la gente que tiene un cierto conocimiento del mar a finales de la Edad Media? Usando como fuente primaria los diarios de viaje de Gutierre Díez de Games, y rememorando lo escrito por Cristóbal Colón en sus viajes, los investigadores Michael Bochaca (Université de la Rochelle) y Beatriz Arízaga Bolúmburu, lograron amalgamar sus visiones para intentar contestar a esta pregunta. Respuesta que se extiende y construye en el artículo titulado "Conocimientos náuticos y representaciones del mar en la Baja Edad Media: el ejemplo del Atlántico próximo".

¿Cómo solucionó el almirante Cristóbal Colón la necesidad del hombre por mantener su cercanía con el agua? Esta respuesta nos la propone hábilmente el historiador István Szászdi León-Borja (Universidad de Valladolid) al consultar fuentes documentales como el *Diario* de Colón citado por fray Bartolomé de las Casas, donde manifestó su ocupación y satisfacción al momento de fundar la ciudad de La Isabela: "La ciudad de la Isabela, que surge bellísima, está junto a un puerto excelente, que abunda en peces suculentos, que probados por los médicos, se dan a los enfermos para que recobren la salud". Colón sabía que para el progreso definitivo de su empresa en América debía mantenerse cercano al agua dulce.

<sup>2</sup> *Ibidem*, 101.

Las crónicas incompletas, escritas por el historiador Pedro López de Ayala (1333-1407) acerca de la Corona de Castilla motivaron el interés de la profesora Covadonga Valdaliso Casanova (Universidade de Coimbra). Por ello tituló su estudio "Agua y espacio en el discurso historiográfico medieval castellano: las crónicas de Pedro López de Ayala". En él destaca el dominio del agua que ejerció Enrique III (1390-1406), permitiéndole sostener su dominio militar en la época de su reinado ya que los ríos y mares fueron un importante eje comunicador. "Quien quiera ganar una guerra, que domine el agua".

La doctoranda Diana Pelaz Flores, de la Universidad de Valladolid, presenta uno de sus primeros frutos académicos: "De fuentes, ríos y mares. Presencia y significado del agua en la literatura cortesana del siglo XV castellano". En este trabajo hizo uso de la literatura cortesana para reiterarle al lector el protagonismo natural que tuvo el agua en la vida de los hombres y mujeres de la Edad Media.

El agua, a través de la sabiduría de un médico medieval, es una visión enriquecedora. Ellos daban al agua virtudes milagrosas bajo la particular creencia de su poder purificador y regenerador. El texto "El agua en los textos médicos medievales. Un ejemplo del siglo XIV", de la historiadora Cristina de la Rosa Cubo (Universidad de Valladolid), aborda el uso del agua desde aspectos teóricos relacionados con la higiene, el medicamento y alimento de los pacientes que sufrieron la sombra de la enfermedad en tiempos medievales.

La investigadora Pérez Rodríguez propone una sugestiva investigación titulada "La visión del agua en los diplomas medievales a través del léxico", que nos permite ver el protagonismo del agua en la vida social de las sociedades medievales a través del exhaustivo estudio del léxico de los diplomas de instituciones como el Monasterio de San Vicente de Oviedo o el Monasterio de Belmonte.

La importancia del agua como elemento purificador dentro de la religión judía perduró en aquellas oleadas de "cristianos nuevos" que habitaron en tiempos medievales. La profesora de la

Université de Picardie, Rica Amran, consultó el Archivo Histórico Nacional para la elaboración de su texto "Agua, conversos e Inquisición", donde el lector aprende que el judío converso cambió de religión pero no su percepción y uso del agua.

La arqueóloga islámica Belén Vázquez Navajas, de la Universidad de Córdoba, publica el texto "El ritual de las abluciones en Al-Ándalus: una aproximación a través de la Arqueología". Bajo una lente e interpretación arqueológica, habla del importante elemento del agua en la construcción y uso religioso de las mezquitas y baños árabes.

"El agua en la ciudad andalusí: prácticas y ritos" es un texto histórico de la investigadora Ieva Reklaityte, donde confirma la importancia de las costumbres cotidianas religiosas a través del rito de la purificación de los musulmanes del Al-Ándalus.

Con su amplia experiencia en Historia Medieval, la catedrática de la Universidad Complutense de Madrid, la Dra. Cristina Segura Graiño escribió "Agua mágica y/o "aqua sancta". El agua en el imaginario popular religioso madrileño". En sus páginas nos desarrolla la idea de que el agua como elemento mágico es vital para lograr entender el pensamiento medieval de Madrid. La inevitable unión de religión y magia...

Eduardo Jiménez Rayado (Universidad Complutense de Madrid) rescató el tema del agua en su representación sustancial de la lluvia. En "El agua imaginada: Rogativas y peticiones de lluvia en el Madrid medieval" analiza el imaginario mezclado con el cristianismo que tenían de la lluvia los agricultores madrileños medievales.

La Dra. M<sup>a</sup> Isabel Val Valdivieso reitera en "La percepción del Agua en la Edad Media. Conclusiones" su invitación al lector a la reflexión y búsqueda de soluciones a los problemas del agua del mundo contemporáneo.

Esta obra es de obligado análisis no solo para todos aquellos estudiosos de la historia del agua, sino también para los defensores del uso adecuado de este recurso natural.

**Mtr. Abraham Mercado Ravell**

Universidad de Sevilla  
abrmer2@alum.us.es



water and landscape

# AGUA y TERRITORIO

PADILLA CALDERÓN, Esther, 2012, *Agua, poder y escasez. La construcción social de un territorio en un ejido sonorense, 1938-1955*, Hermosillo, El Colegio de Sonora, 288 págs. ISBN 978-607-7775-324.

¿Qué es la escasez? ¿cómo se resuelve? ¿cómo se construye? Estas sugerentes preguntas guían la investigación de Esther Padilla Calderón, quien en *Agua, poder y escasez...* nos ofrece un trabajo valioso para los científicos sociales interesados en los usos sociales del agua en México y América Latina. A partir del ejido de San Miguel de Horcasitas y su anexo Los Ángeles, en el estado de Sonora, la investigadora analiza cómo se construyó y resolvió la escasez del agua en una región árida del norte mexicano tras la más importante reforma agraria latinoamericana.

A través de un excelente estudio de caso, la autora argumenta que la escasez de agua es una construcción social, resultado de la incorporación de nuevos actores a la explotación de la tierra y el agua, y de la forma en que sus acciones públicas generan desigualdad social. Un primer elemento a destacar es la importancia de definir los conceptos que empleamos para nuestras investigaciones. Esto es, de hecho, lo que permite a la autora demostrar que la falta de agua vivida por los ejidatarios de San Miguel fue ante todo un problema de distribución, es decir, un problema de desigualdad social. El libro ilustra la necesidad de diferenciar la sequía —relacionada con condiciones naturales del medio— y la escasez, un proceso de carácter social en el cual la insuficiencia o inexistencia del agua no tiene un origen natural, a pesar de que esta sea sentida como tal por un grupo social.

Los dos primeros capítulos sirven para plantear la problemática, sea a través de la definición del marco conceptual o de los antecedentes históricos. Si algo queda claro en la construcción histórica del territorio de Horcasitas es que en Sonora los siglos XVIII y XIX son el periodo de auge de la hacienda agropecuaria, la cual se consolida en un largo periodo que va de 1740 a 1860. Esta conclusión es ya una aportación a la historiografía sobre los aprovechamientos de los recursos naturales, pues muestra una hacienda dinámica y sustentable que permitió el uso racional de la tierra y el agua, sin negar por ello sus enormes costos sociales. La autora concluye que en los años de la gran propiedad no hubo escasez de agua en el valle. Esta amplia mirada histórica permite a Padilla Calderón concluir que el territorio es un espacio construido socialmente en el cual se producen condiciones materiales y sociales de existencia que lo harán un ámbito de poder y disputa en la cual se reparten los recursos a través de la confrontación social. Creo que la formulación de esta conclusión es también un aporte para los estudios del agua: a través del diálogo con

los trabajos de Rocío Castañeda sobre Atlixco y Antonio Escobar sobre San Luis Potosí —por citar algunos ampliamente conocidos—, el libro deja ver un aspecto que no debemos olvidar al emprender una investigación: que el estudio del conflicto social es clave para reconstruir la historia de los usos del agua en las sociedades locales y/o regionales.

En el tercer y cuarto capítulo Esther Padilla analiza la problemática central: la distribución del agua en el ejido de San Miguel de Horcasitas. Se parte de la consideración de que el ejido es un espacio socialmente construido, en el cual se dan conflictos por los recursos naturales y humanos. La selección del periodo y la problemática es pertinente, pues con ello la autora contribuye al estudio de la reforma agraria mexicana a partir de los recursos naturales, un camino ensayado previamente por Rocío Castañeda y más recientemente por Inés Ortiz Yam, pero que aún tiene mucho por aportar a través de nuevos casos. El ejido de San Miguel de Horcasitas se constituyó oficialmente en 1938. Previamente, los campesinos arrendatarios de las haciendas de la región hicieron peticiones de reparto —con base en la ley del 6 de enero de 1915— desde 1917, y al año siguiente los habitantes de San Miguel recibieron una dotación provisional, que se consolidó en 1924. Si algo queda claro es que el reparto agrario dio paso a una confrontación en San Miguel, enfrentando a los ejidatarios con pequeños propietarios y hacendados. El caso refuerza algo bien conocido por la historiografía: que en las décadas de 1920 y 1930 la incorporación de los beneficiados por el reparto agrario dio paso a conflictos inéditos, pues los ejidatarios eran por primera vez sujetos con derechos propios en la explotación de la tierra y el agua a lo largo y ancho de México.

En el anexo de San Miguel, Los Ángeles, subyacen otras problemáticas. La población se caracterizaba por haberse formado a partir de una fábrica textil desde principios de siglo. En 1921 los obreros solicitaron dotación ejidal, y aunque desistieron en 1933 recibieron dotación dos años más tarde, como parte de la formación de la clientela del callismo sonorense. Este caso revela dos elementos que, creo, deben ser analizados con más profundidad por los historiadores: en primer lugar, que el reparto agrario en zonas de tradición obrera generó nuevas identidades a través de la posesión de la tierra, y en segundo lugar que el ejido fue utilizado políticamente para fortalecer al régimen (pos) revolucionario. En la década de 1920 los habitantes de Los Ángeles habían sido miembros de la Confederación Regional de Obreros de México (CROM), pero a partir de 1938 se integraron a la Confederación Nacional Campesina (CNC), con lo que coadyuvaron, ahora desde la trinchera campesina, a la consolidación del corporativismo mexicano.

Concentrándonos en el problema hídrico, *Agua, poder y escasez...* muestra que la reforma agraria canceló los repartos de agua coloniales y dio paso a la búsqueda de nuevos acuerdos para acceder y compartir el agua a través de múltiples conflictos. Esto ocurrió debido a la incorporación de nuevos actores sociales: los ejidatarios. Si antes el reparto del agua se hacía a través de represas, canales y acequias que se surtían por gravedad, a partir de 1930 se explotaron pozos que bombeaban el agua. El trabajo muestra, pues, que el reparto dio pie a una nueva infraestructura hidráulica que, en última instancia, mostró que los ejidatarios consideraron el agua como parte inherente de su dotación de tierras y, por tanto, la usaron sin tener derecho para ello. Aún más: la dotación de aguas para el ejido solo ocurrió hasta 1989, pero la posesión previa por los ejidatarios revela que el reparto concedió a los campesinos amplio poder en torno a los recursos naturales. Ello creó nuevas territorialidades y modelos de reparto del agua en el valle.

En el capítulo cinco se analiza la escasez del agua en el ejido, un problema clave que va de 1944 a 1955. Uno de los mayores impactos del reparto agrario fue generar mayor presión sobre el agua, lo que desembocó en un abierto conflicto entre ejidatarios y propietarios privados. Cuando en 1943 el gobernador ordenó que una de las tomas fuera para las haciendas y no para los ejidatarios empezó la escasez. Al mejorarse la infraestructura hidráulica de los hacendados el problema de los ejidatarios se agravó, llegando a su clímax en 1947. Dos años después se signaron acuerdos de

acceso hídrico, pero los conflictos continuaron en la década de 1950. A partir de estas pugnas la autora sostiene que la escasez no se produjo por una sequía, que ciertamente existió, sino que fue producto de las modificaciones a la infraestructura hidráulica. Asimismo, concluye que la formación del ejido incrementó la presión sobre el agua al aumentar la superficie irrigada, dando paso a una creciente conflictividad social. El dominio de los hacendados —que llevó a que varios campesinos abandonaran sus tierras en los sesenta— muestra, como subraya Padilla, que la escasez está directamente relacionada con el poder ejercido por ciertos grupos

sociales para dominar el agua, en detrimento de los sectores menos favorecidos. En última instancia, el trabajo revela que los estudios sobre el agua son una arista valiosa para que nos acerquemos al estudio histórico de un lastre de las sociedades latinoamericanas: la enorme desigualdad social y la incapacidad de los Estados y los actores sociales para garantizar un acceso justo a los recursos naturales.

En suma, *Agua, poder y escasez...* reconstruye una historia local de desigualdad social que encuentra su expresión en el conflicto por el agua. El libro es un aporte a la historia de los recursos naturales y contribuye a nuestro conocimiento sobre el reparto agrario, un tema que merece ser revisitado. Estoy seguro de que la obra de Esther Padilla es valiosa no solo por sus resultados, sino por lo sugerente de sus preguntas y por la posibilidad que ofrece para abrir un diálogo sobre el agua, la desigualdad y la escasez en México y Latinoamérica.

**Sergio Rosas Salas**

Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades "Alfonso Vélaz Pliego"  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
sergiofrosas@yahoo.com.mx



water and landscape

# AGUA y TERRITORIO

KAUFFER MICHEL, Edith F. (coord.), 2014, *Cuencas en Chiapas: la construcción de utopías en cascada*, Ciudad de México, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, 332 págs. ISBN 978-607-486-285-0.

*Cuencas en Chiapas: la construcción de utopías en cascada* es una obra que presenta varias investigaciones realizadas en distintas cuencas del estado de Chiapas, una de las 32 entidades federativas de México, ubicada en el extremo sureste del país en la frontera con Guatemala. Dichas investigaciones se orientan a mostrar las soluciones que se adoptaron ante las problemáticas existentes en torno a los recursos hídricos, a partir de la revisión de algunas propuestas e intervenciones históricas y contemporáneas en diferentes partes del estado. Para ello, los autores parten de una perspectiva constructivista que se distancia del enfoque naturalista tradicional que lideró durante casi dos siglos esta clase de estudios. Así, el abordaje analítico de los diversos casos presentados se fundamenta en la crítica a una definición netamente técnica y física, en la cual la cuenca es entendida como una unidad natural donde los suelos, la vegetación, la fauna, el clima, la geología y la topografía están en conexión con las aguas y en la que no se incluye la intervención humana.

En este sentido, se propone un nuevo acercamiento teórico-metodológico desde el cual la cuenca es advertida, más allá de las interacciones entre los elementos del ambiente, como un espacio que se encuentra mediado por diversas formas de apropiación y dinámicas poblacionales. Las cuencas no son vistas únicamente como unidades naturales, sino que se encuentran atravesadas por delimitaciones establecidas por los seres humanos, convirtiéndolas en espacios con una dimensión profundamente política, social y cultural, articulada con las actividades de los grupos establecidos en su demarcación, que no necesariamente se corresponden con sus límites físicos e, incluso, a veces los colocan en entredicho.

Esta nueva perspectiva parte de un cuestionamiento de la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH), principio rector de las políticas hídricas en el mundo, desde el cual se promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y otros recursos relacionados, con el objetivo de maximizar el bienestar social y económico de una manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Este cuestionamiento es compartido por todos los investigadores que contribuyeron con el texto, afirmando que la GIRH, tanto en sus planteamientos como en sus concreciones no refleja, para el caso de Chiapas, lo que propone en sus aspectos conceptuales.

Las acciones concretas llevadas a cabo en las cuencas condujeron a los autores a referirse a ellas como territorios de intervención y formas de perpetuar utopías. Los diez capítulos que integran la obra están orientados a examinar tales experiencias y, a partir de ello, generar aportes para su mejoramiento. Capítulos que se encuentran organizados en dos grandes apartados: la primera parte, *Deconstruyendo la GIRH como utopía en marcha: tropiezos, limitantes y contradicciones*, se centra en develar el carácter parcial de las intervenciones realizadas en algunas de las cuencas de Chiapas, destacando la dimensión social y política de estos contextos. La visión crítica de los autores coloca sobre la palestra los impactos de las acciones ingenieriles, los efectos negativos con los cuales han tenido que convivir los habitantes de estos territorios y las contradicciones de la práctica política. La segunda parte, *Viejas y nuevas utopías en las cuencas de Chiapas: perfeccionando la GIRH*, se orienta a la revisión de algunas intervenciones recientes en las cuencas y al planteamiento de varias propuestas para su perfeccionamiento, entre las cuales resaltan: procesos de organización, participación local, educación y visión económica.

La primera parte engloba la mitad de los capítulos del texto. En el capítulo 1, "Uniando destinos: el proceso de reubicación de Vega del Paso y Ribera de Chalchi por la construcción de la presa La Angostura", se estudia el caso de la construcción de la presa de Chicoasén y sus consecuencias sobre los habitantes de dos localidades reubicadas en un solo asentamiento. Víctor Gallardo devela el fracaso del proyecto y los conflictos que produjo al interior de las localidades afectadas. El capítulo 2, "La toma de decisiones e implementación de políticas ambientales en la gestión de cuencas: el caso del río Sabinal", se centra en el análisis de la experiencia del referido río desde el marco legal federal y estatal. Su autora, María Luisa Ballinas, pone en evidencia que tales legislaciones no se cumplen de manera estricta y deja expuestos los intereses políticos vinculados a la GIRH.

En el capítulo 3, "Fronteras estatales, ¿barreras de la GIRH? La cuenca transfronteriza del río Almandros -Oxolotán (Chiapas-Tabasco)", los hallazgos de Edith Kauffer y Clara Luz Villanueva muestran que la frontera, entre dos estados federados que comparten la misma cuenca, marca una diferencia social y económica, particularmente en lo relacionado al acceso a los servicios de agua y saneamiento, reflejo de condiciones de vida muy diferentes. Ernesto Cruz Kanter en el capítulo 4, "Reconstrucción histórica de la práctica mexicana de aprovechamiento de las aguas de los ríos compartidos con Guatemala: de la utopía a la realpolitik (1950-2000)", pone de relieve el contraste entre los discursos de

cooperación entre México y Guatemala y las particularidades de las relaciones políticas internacionales entre estos dos países en torno al agua, que giran en torno a conflictos y ausencia de cooperación. Finalmente, el último capítulo de esta primera parte, "Acciones de mitigación en Chiapas, ¿solución o paliativo ante los desastres? El caso del huracán Stan", describe las principales medidas implementadas tras la ocurrencia de diversos fenómenos hidrometeorológicos ocurridos en Chiapas en los últimos años, con particular énfasis en el huracán Stan. Juan Carlos Velasco y Guadalupe Álvarez develan la desarticulación entre la gestión de riesgos de desastres, la política hídrica y las intervenciones asociadas a la GIRH.

Con el capítulo 6, "La organización y participación social y ciudadana en el cuidado ambiental de la cuenca del Valle de Jovel: logros, dificultades y retos", inicia la segunda parte de la obra. Angélica Schenerok estudia la experiencia de las organizaciones de la sociedad civil en torno a las principales problemáticas de esta cuenca, básicamente contaminación y deterioro ambiental causado por la intervención de los recursos hídricos y el suelo. Da cuenta de diversas estrategias desarrolladas en el marco del comité de cuenca, a partir del trabajo colectivo de diversos grupos de la sociedad. En el capítulo 7, "Procesos de formación para el desarrollo comunitario en la cuenca Lagunas de Montebello. Una propuesta de intervención desde la metodología crítica", Luz Helena Horita, Antonio Santiago, Susana Muñoz y Arturo Tello parten de una metodología desde la cual se pretende contribuir al fortalecimiento de las potencialidades locales para mejorar la GIRH y fomentar los procesos participativos.

En el capítulo 8, "Consideraciones locales para la propuesta de un esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH): hacia una utopía más. Estudio de caso en la cuenca del río Cahoacán", Rafaela Laino y Karim Musálem-Castillejos describen las problemáticas de una cuenca ubicada dentro de Chiapas pero atravesada por los límites de varios municipios. Presentan una propuesta de pago por servicios ambientales en la ciudad de

Tapachula, a favor de los municipios ubicados más arriba de la cuenca y, además, mencionan las afectaciones causadas por inundaciones derivadas de fenómenos hidrometeorológicos. David Olvera, Karim Musálem-Castillejos, Elba Flaviel y Alejandra Méndez en el capítulo 9, "Perspectivas de la gobernanza de las cuencas compartidas de los ríos Coatán y Cahoacán entre México y Guatemala", luego de haber descrito las principales problemáticas de las cuencas, analizan una encuesta aplicada en un encuentro bi-nacional de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Dicho análisis resalta la necesidad de establecer una cooperación entre ambos países como un reto de gobernanza hídrica. En el capítulo 10, "Abordaje educativo para la gestión del riesgo de desastres en Motozintla, Chiapas: un acercamiento a la GIRH", Guadalupe Álvarez plantea una propuesta educativa destinada a gestionar el riesgo de una de las cuencas más afectadas por las inundaciones en Chiapas y apuesta al desarrollo de nuevas herramientas de gestión local.

En general, se trata de un trabajo que reflexiona en torno a las complejas y diversas consecuencias que surgen de las intervenciones en las cuencas chiapanecas y aporta diversas propuestas de aplicación empírica que podrían contribuir a perfeccionar los planes y acciones emanadas de la GIRH a partir del estudio y análisis de las realidades locales. Las investigaciones presentadas a lo largo del texto, respaldadas por datos construidos a partir del trabajo de campo y de elaboración de diagnósticos, permiten advertir diferentes problemáticas, distintos ángulos para abordar el tema central de la obra y una variedad de planteamientos que apuntan a cuestionar las distintas experiencias e intentos de concretar la gestión integrada de los recursos hídricos en la entidad. Además, invitan a abrir el debate sobre las dimensiones políticas de la noción de cuenca y de la formulación y conceptualización misma de la GIRH en el afán de "[...] contribuir a la construcción de nuevas utopías de cascada, pero de manera consciente, responsable, abierta y creativa"<sup>1</sup>.

**María N. Rodríguez Alarcón**

Candidata a la Maestría en Antropología Social-CIESAS, México D.F.  
maria.rodriguez139@gmail.com

<sup>1</sup> Kauffer Michel, 2014, 321.

# Estadística y evaluación



## Agua y Territorio.

### Informe estadístico del proceso editorial 2016

En 2016 se han recibido 30 artículos para su publicación de los que se han rechazado 8 (26,6%). De los 22 artículos publicados, 18 corresponden a la sección de Dossier y 4 a la de Miscelánea. Los coordinadores de los Dossiers han sido 5 investigadores pertenecientes a instituciones académicas de Chile, México y España.

Los autores de los artículos publicados en la sección de Dossier y Miscelánea son 37, adscritos a instituciones de las siguientes nacionalidades: España 11 (29,7%), México 8 (21,6%), Colombia 5 (15,5%), Austria 4 (10,8%) y Países Bajos 3 (8,1%). Con menor representación, también han participado autores de Argentina, Canadá, Francia y Perú (1 de cada país).

Respecto al género, 22 son mujeres (59,4%) y 15 hombres (40,6%). Y solo ha habido un autor vinculado a la revista (2,7%). La adscripción institucional de los autores es muy diversa y están vinculados a 6 universidades o centros de investigación de México, 5 de España, 2 de Colombia, 2 de los Países Bajos, 1 de Austria, 1 de Argentina, 1 de Canadá, 1 de Francia y 1 de Perú.

Los 39 evaluadores han realizado un total de 60 informes. Destaca el carácter internacional (27) que supone el 69,2% de los evaluadores, que se manifiesta en la diversidad de su procedencia: Argentina (3), Brasil (1), Canadá (1) Colombia (3), Francia (1) y México (18). Por su parte, los evaluadores españoles (12) han representado el 30,7%. Del número total, 16 son mujeres (41%) y 23 hombres (59%).

En 2016 el tiempo medio transcurrido entre la recepción de un artículo y el envío de respuesta definitiva al autor, tras el proceso de evaluación, ha sido de 13 meses.

#### EL CONSEJO DE REDACCIÓN DE AGUA Y TERRITORIO

AGRADECE LA GENEROSA APORTACIÓN

DE LOS EVALUADORES QUE HAN COLABORADO

CON LA REVISTA DURANTE 2016:

Ismael Aguilar Benitez (El Colegio de la Frontera Norte. México)

Estanislao Arana García (Universidad de Granada. España)

Alfredo Azcoitia (Universidad Nacional de Río. Argentina)

Carlos Barciela López (Universidad de Alicante. España)

Alex R. Caldera Ortega (Universidad de Guanajuato. México)

Anahí Copitzky (El Colegio de Jalisco. México)

José María Coronado Tordesillas (Universidad de Castilla La Mancha. España)

Hira De Gortari Rabiela (UNAM. México)

Beatriz Ensabella (Universidad de Córdoba. Argentina)

Antonio Escobar Ohmstede (CIESAS-D.F. México)

Kathryn Furlong (Universidad de Montreal. Canadá)

Betsabé Laura Gómez Marcial (El Colegio Mexiquense. México)

Claudia González (Universidad de Caldas. Colombia)

Manuel González de Molina (Universidad Pablo de Olavide. España)

Antonio González Reynoso (Instituto de Investigaciones Dr. José María

Luis Mora. México)

Alejandro Luis Grindlay Moreno (Universidad de Granada. España)

Paula K. Guerrero García (Fundación Humedales. Colombia)

Nohora Guzmán (Universidad Autónoma del Estado de México)

Antonio Herrera (Universidad Pablo de Olavide. España)

Juan Infante (Universidad Pablo de Olavide. España)

Verónica Ibarra (UNAM. México)

María Pilar Iracheta Cenecorta (El Colegio Mexiquense. México)

Karina Beatriz Kloster (UNAM. México)

Antonio de Lucas Martínez (Universidad de Castilla La Mancha. España)

Elvira Lindoso Tato (Universidad de La Coruña. España)

Ganiveth Manjarrez Paba (Fundación Universitaria Tecnológico

COMFENALCO. Colombia)

Antonio Martín Martín (Universidad de Córdoba. España)

Eric Mollard (Institut de Recherche pour le Développement. Francia)

Paula Gabriela Núñez (Universidad Nacional de Río Negro. Argentina)

Raúl Pacheco-Vega (Centro de Investigación y Docencia Económicas, Aguascalientes. México)

Alejandra Peña (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México)

Francisco Javier Peña de Paz (El Colegio de San Luis. México)

Jaime Peña Ramírez (Universidad Nacional Autónoma de México)

Nicolás Pineda Pablos (El Colegio de Sonora. México)

Pablo Andrés Ramos (Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia)

Teresa Rojas-Rabiela (Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. México)

Jimena Sasso (UNAM. México)

David Soto Fernández (Universidad Pablo de Olavide. España)

Enric Tello Aragay (Universidad de Barcelona. España)

# Normas de publicación



### Acceso abierto

Esta revista provee acceso libre e inmediato a su contenido. La exposición gratuita de la investigación favorece los intercambios y una mejora del conocimiento global.

### Estructura interna

La revista consta de tres secciones fijas bien definidas.

Una primera –DOSSIER– está integrada por la publicación de artículos relacionados con una temática común (de cuatro a siete) a los que se añade una presentación realizada por el/los coordinador/es de dicho dossier con un máximo de 15.000 caracteres.

La segunda sección –MISCELÁNEA– contiene un número variable de artículos.

La tercera sección fija –RESEÑAS– constará de un número indeterminado de reseñas bibliográficas.

Además de estas tres secciones fijas la revista podrá contar con un artículo por número de una sección que se denominará DOCUMENTOS Y ARCHIVOS.

Asimismo, podrá contar con una sección titulada ENTREVISTA/RELATOS DE EXPERIENCIA que podrá referirse al tema del dossier, a un tema de actualidad o a personajes relevantes en el ámbito temático de la revista.

Podrá contar también con una sección referida a EVENTOS/PROYECTOS que consistirá en una reseña crítica sobre algún evento especialmente importante que se haya celebrado en los últimos meses o el abordaje de los contenidos de un proyecto de investigación internacional que esté desarrollándose y entre en las temáticas de la revista.

Asimismo, la revista podrá tener una sección de OPINIÓN para estimular debates.

El contenido de cada número de la revista AGUA Y TERRITORIO es aprobado por el Consejo Editorial.

### Evaluación externa

Cada texto es revisado previamente por un miembro del Consejo de Redacción para realizar una primera evaluación general y saber el cumplimiento o no de las normas, calidad de redacción, su temática, etc.

El proceso de evaluación, que debe acabar en el plazo máximo de 3 meses, se lleva a cabo mediante evaluadores externos

al Consejo de Redacción y a la entidad editora, especialistas en las áreas temáticas de la revista, y es doblemente anónimo, no desvelándose ni la identidad del autor, ni las de los evaluadores, que serán tres en caso de diversidad de opiniones.

El informante podrá recibir el informe emitido por otro evaluador.

Los autores podrán sugerir tres posibles evaluadores.

El evaluador reconoce el carácter reservado de los artículos sometidos a evaluación.

Los evaluadores están obligados a señalar cualquier conflicto de intereses antes de emitir su informe, así como otra cualquier razón que pueda justificar su abstención en el proceso de evaluación. Deben ser imparciales, honestos y realizar su trabajo de modo confidencial, diligente y respetuoso en el plazo de un mes desde la llegada del artículo.

Los evaluadores realizarán su trabajo valorando globalmente el artículo, sus aportaciones y emitiendo al final un informe conclusivo.

La revista publicará un listado de los informantes que han intervenido en el proceso de evaluación.

Los evaluadores han de rellenar un formulario que consta de tres partes.

#### 1. Valoración global del artículo

Se anotará si el artículo es publicable en su versión actual, no publicable o publicable con modificaciones.

En caso de que precise modificaciones se señalará si son de carácter formal, de fondo y los aspectos concretos a modificar.

#### 2. Aportaciones del artículo

Idoneidad del título/Resumen/Palabras clave.

Actualidad y pertinencia del artículo para la revista.

Originalidad y aportación al estado de la cuestión y a la interdisciplinariedad.

Contribución para el fomento de futuras investigaciones.

Originalidad y aportación al debate.

Utilidad general y para la docencia así como para los lectores.

Calidad e innovación metodológica.

Utilización de nuevas fuentes de información y/o material documental ya conocido.

### 3. Informe conclusivo

Informe detallado de las principales aportaciones.

Problemas de fondo que se hayan detectado en el artículo.

Problemas de forma que se hayan detectado en el artículo (estilo y manejo de idioma; claridad en el desarrollo expositivo; organización interna; claridad y coherencia del discurso).

## Autores

La revista AGUA Y TERRITORIO considera únicamente trabajos originales que no hayan sido publicados anteriormente, ni estén a punto de publicarse o evaluarse. Los originales pueden mandarse en español, portugués, italiano, inglés y francés, a través de la plataforma <http://revistaselectronicas.ujaen.es/>

El Consejo de Redacción estudiará a lo largo del año las diversas propuestas que presenten los coordinadores de Dossiers. Las propuestas se harán por escrito al correo electrónico de la revista ([aguayterritorio@gmail.com](mailto:aguayterritorio@gmail.com)). En la propuesta deberá el coordinador indicar la temática en un máximo de 2.000 caracteres. Podrá incluir el nombre de posibles participantes y el título de sus trabajos. La propuesta se hará en los idiomas oficiales de la revista, al menos en español e inglés, pudiendo AGUA Y TERRITORIO lanzar por su parte la propuesta en otros idiomas una vez se apruebe el dossier por el Consejo de Redacción.

La revista recuerda a los autores que no está permitida la invención de resultados, la omisión de datos o su falsificación, así como el plagio que suponga presentar como propias ideas, datos o resultados creados por otros.

La revista adoptará los pasos oportunos para hacer público a las partes interesadas cualquier caso de plagio que pudiera presentarse en los trabajos recibidos.

Las opiniones y hechos consignados en cada artículo son de exclusiva responsabilidad de sus autores. La Universidad de Jaén y el Seminario Permanente Agua, Territorio y Medio Ambiente no se hacen responsables en ningún caso de la credibilidad y autenticidad de los trabajos.

El autor recibirá un informe razonado de la decisión del Consejo de Redacción, que incluirá los motivos de la aceptación, de la solicitud de modificación o del rechazo de su manuscrito. En caso de aceptación vinculada a la introducción de cambios se le remitirán los informes originales de los evaluadores, junto con las recomendaciones del Consejo de Redacción.

El autor deberá realizar las modificaciones requeridas en un plazo de quince días. Caso de no cumplir el autor este plazo, su artículo puede ver retrasada su aparición en la revista ante la necesidad de cerrar la edición. La revisión de las pruebas conlleva el consentimiento tácito a ser publicado el artículo tal como lo envíe de nuevo el autor. El original será tratado confidencialmente por la redacción de la revista hasta que sea publicado.

Los artículos firmados por varios autores deben incluir una declaración firmada por todos ellos certificando que han contri-

buido directamente en la elaboración del contenido intelectual del trabajo, que se hacen responsables de él, lo aprueban y están de acuerdo en que su nombre figure como autor. Servirá copia del escrito escaneado en PDF enviada al correo electrónico [aguayterritorio@gmail.com](mailto:aguayterritorio@gmail.com)

Los autores deberán facilitar, si es necesario, el acceso a los datos en los que se fundamente su trabajo para poder aclarar si es válido o no una vez publicado.

En la revista existe la figura del Defensor del Autor, desempeñada por un miembro del Consejo Editorial. Cualquier queja se enviará a través del correo electrónico [aguayterritorio@gmail.com](mailto:aguayterritorio@gmail.com), dirigiéndose al Defensor del Autor.

En caso de ser candidato a doctor, deberá incluir un certificado de su director/directores, detallando el título de la tesis y la fecha en que haya sido aceptado ese proyecto. Se enviará al correo electrónico [aguayterritorio@gmail.com](mailto:aguayterritorio@gmail.com).

La revista no devuelve trabajos rechazados ni se hace responsable en caso de pérdida.

## Normas para la entrega de originales de las secciones Dossier, Miscelánea, Documentos y Archivos

Sólo se admitirán originales que se atengan estrictamente a las normas.

Los trabajos se enviarán a través de la plataforma de envío de manuscritos de la revista disponible en <http://revistaselectronicas.ujaen.es> en tratamiento de texto Word.

El manuscrito irá precedido de una página en la que debe figurar: título del trabajo en castellano y en inglés, separados por una barra, nombre completo del autor o autores en minúscula, apellidos en minúscula unidos por un guión, dirección, teléfono, correo electrónico y población, así como su situación académica y el nombre de la institución científica a la que pertenece. Si son varios los autores, se señalará el autor con el que se mantendrá toda la correspondencia. El título del trabajo deberá ser corto y claro. Si tiene subtítulo deberá separarse del anterior por dos puntos (:). Si la primera lengua empleada es otra distinta del castellano, éste se empleará en segundo lugar. En esta página se incluirá también un resumen del trabajo en castellano e inglés, así como en el idioma en el que esté escrito el artículo (si se trata del portugués, italiano o francés). El resumen estará en torno a los 800 caracteres. Se incluirán cinco palabras clave en castellano e inglés y, si se da el caso, en la otra lengua empleada. El resumen incluirá los objetivos, la metodología, los resultados y aportaciones originales, así como las conclusiones, esquema que se aconseja seguir en el desarrollo de los artículos.

También se podrá incluir el nombre, apellidos y correo electrónico de tres posibles evaluadores con los que no se tenga una especial relación de amistad o académica.

Tendrán una extensión máxima de 30 páginas (DIN A4) numeradas correlativamente, escritas por una sola cara, incluyendo notas, cuadros, gráficos, mapas, apéndices y bibliografía a 1,5 espacios, escritos en Arial, tamaño 12 en texto y 10 en párrafos

textuales y en notas. El número máximo de caracteres en el artículo será de 80.000 incluyendo espacios en blanco.

Los epígrafes o apartados del texto NO irán numerados. Su enunciado irá en minúscula con interlineado a doble espacio. No se harán subapartados.

Si el artículo ha sido financiado, esta circunstancia se colocará en una nota ubicada tras el título del artículo, en la que aparecerán las entidades patrocinadoras y el proyecto de investigación en el que se inserta dicho trabajo, las becas y ayudas obtenidas, etc. En esta primera nota aparecerán también otros agradecimientos que el autor desee hacer constar.

Al trabajo propiamente dicho podrán añadirse apéndices o anexos, debiendo ir con título y numerados.

Las notas serán breves e irán a pie de página, en Arial, tamaño 10, a espacio sencillo, numerándose correlativamente, con la referencia en superíndice. El número de la nota deberá ir antes de la puntuación ortográfica (Ejemplo ".....de la modalidad mencionada anteriormente"<sup>1</sup>).

Incluirán Apellido/s del autor, fecha de edición (en caso de varias publicaciones de éste en un mismo año, se unirán a esa fecha las letras a, b, c..., para evitar confusiones) y a continuación los números de volumen o tomo, número y página o páginas usadas, sin incluir sus iniciales (v. t., n.º o núm., p./pp.). En ningún caso se pondrán referencias bibliográficas intercaladas en el texto del manuscrito.

Ejemplo: García Toledo, 2004a, 55-63. Si se citan simultáneamente obras del mismo autor no se indicará el apellido del autor de nuevo: García Toledo, 2004a, 55-63; 2012, 53.

Las referencias de diferentes autores y obras se separan con un punto.

Ejemplo: Barco, 2012, 50. Weyler, 1999, 21. Kenmain, 2000, 35.

Las citas documentales deben comenzar por el archivo o institución correspondiente, sección y legajo, tipo de documento, lugar y fecha, pero eliminando las palabras innecesarias (sección, legajo, etcétera), poniendo comas de separación. Ejemplo: AHN, Ultramar, 185, salvo en la primera cita de cada Archivo o Biblioteca, en la que se desarrollará el nombre completo, poniéndose a continuación las iniciales entre paréntesis, sin puntos intermedios. Ejemplo: Archivo Histórico Nacional (en adelante AHN).

La bibliografía final que debe llevar cada artículo se limitará a las obras citadas, que irán ordenadas alfabéticamente, siguiendo cada una el siguiente orden: apellidos en minúscula e iniciales de cada autor, año de publicación, título en cursiva, lugar (si se refiere a libros), editorial y DOI; o apellidos, iniciales del nombre, año, título entrecorillado, nombre de la revista en cursiva, número de la revista, páginas y DOI (para revistas). En caso de que se citen varios trabajos del mismo autor y año se deberán marcar con letras (a,b...). Deben evitarse los guiones o cualquier tipo de marca antes de las referencias, incluyendo el DOI en todas aquellas obras que lo posean.

Ejemplos:

Libro: García, M. J. 2007: *Agua y Salud en la primera mitad del siglo XX*. Madrid, Tecnos.

Libro colectivo: González, P. 2006: "El abastecimiento urbano de agua en Andalucía", en Pérez, J. y González, M. (coords.): *Agua, territorio y patrimonio*. Cáceres, Junta de Extremadura, 19-44.

Artículo de revista: Matés-Barco, J. M. 2013: "La conquista del agua en Europa: los modelos de gestión (siglos XIX y XX)", en *Agua y Territorio*, 1, 21-29, <http://dx.doi.org/10.17561/at.v1i1.1030>

Tesis: López Aguilar, A. 2001: "La problemática del agua en Chile", tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.

Página web: <http://www.seminarioatma.org>. Consulta realizada el 25 de febrero de 2009.

Se evitarán las citas textuales. Si excepcionalmente se incluyen, deberán ser breves y a espacio sencillo, con los intercalados del autor entre corchetes. Se ruega a los autores que en caso de que sean extensas se trasladen a las notas.

### Normas aplicables a fotografías, tablas, gráficos...

Se recomienda que las fotografías sean de la mejor calidad posible para evitar pérdida de detalles en la reproducción. Llevarán un breve pie o leyenda para su identificación, indicándose asimismo, el lugar aproximado de colocación y las fuentes utilizadas. Los formatos electrónicos aceptados serán TIFF, EPS o PDF con fuentes incrustadas. La resolución mínima será de 300 ppp y 8 bits de profundidad de color para las imágenes de grises, y 1.200 ppp para las de un solo bit, en el tamaño que se pretenda que aparezcan publicadas. Se enviarán en fichero aparte, nunca insertas en el archivo de Word.

Las **tablas** se numerarán correlativamente y deben hacerse con la función de tablas de Word. La numeración de la tabla irá en la parte superior de ella, seguida de su título en Arial 10. Debajo de la tabla en Arial 10 irá la fuente documental o bibliográfica con la que se ha elaborado.

Los **gráficos** se realizarán preferiblemente con Excel y deberán insertarse en el texto en formato Normal. La numeración del gráfico irá en la parte superior, seguida de su título en Arial 10. Debajo del gráfico en Arial 10 irá la fuente documental o bibliográfica con la que se ha elaborado.

Los **mapas** deberán insertarse en formato Imagen. La numeración del mapa irá en la parte superior del mismo, seguida de su título en Arial 10. Debajo del mapa en Arial 10 irá la fuente documental o bibliográfica del que se ha extraído.

Los gráficos y mapas se numeran correlativamente.

Las fotografías de documentos o de motivos reales se numerarán correlativamente con la denominación de **Imágenes**.

Cualquier otro tipo de elemento se numerará correlativamente bajo la denominación de **Figuras**.

Los derechos de reproducción de fotografías y documentos deben ser enviados por los autores al correo electrónico aguayteritorio@gmail.com.

### Normas para la entrega de Reseñas

Las reseñas deberán ir precedidas de todos los datos del libro o trabajo reseñado, siguiendo estos criterios: apellidos del autor en mayúscula, nombre en minúscula, año de edición, título en cursiva, lugar de edición, editorial, número de páginas, ISBN. Ejemplo: FERREIRA, Francisco, 2005, *Estado del agua en Costa Rica*, México D.F., Editorial Siglo XXI, 300 págs. ISBN 968-496-500-4. Tendrán una extensión máxima de 1.500 palabras y seguirán las normas generales de la revista. El nombre del autor de la reseña figurará al final, seguido de su filiación académica y correo electrónico.

Se entiende por reseña crítica aquella que contextualiza la obra reseñada, señalando su relevancia y las razones que explican la elaboración de la reseña. Debe señalarse la importancia del tema que aborda y la discusión historiográfica en la que se inscribe, señalando también el contexto en el que aparece la obra en cuestión, enmarcándola en la trayectoria del autor, en el marco de otras obras existentes sobre el tema y relacionándola con la problemática conceptual y metodológica que aborda, así como en función de las fuentes empleadas.

Las reseñas se enviarán a través de <http://revistaselectronicas.ujaen.es>.

El editor de reseñas evaluará la conveniencia de su publicación. Si se desea proponer la reseña de un determinado libro, deberá enviarse por correo a la siguiente dirección postal: Dr. Juan Manuel Matés Barco. Departamento de Economía. Campus Las Lagunillas, s/n. Edificio de Ciencias Sociales y Jurídicas. Universidad de Jaén. 23071 Jaén. España.

### Normas para la entrega de originales de la sección Entrevistas/Relatos de Experiencia; Eventos/Proyectos; y Opinión

Los artículos tendrán un máximo de 25.000 caracteres, incluyendo espacios.

Se atenderán a las normas del resto de las secciones.

### Advertencias particulares

En el texto, desarrollar todas las abreviaturas empleadas, excepto las ampliamente utilizadas: etc. km, ha, m<sup>3</sup>, m<sup>2</sup> ...

No utilizar negritas en el texto. Las cursivas se utilizarán sólo en palabras de especial interés en el contenido de cada artículo o de otro idioma.

NO usen abreviaturas del tipo *Op. Cit.*, *Vid. o Cif.* En caso de las mismas citas en notas seguidas o continuas, se utilizará *Ibidem* cuando incluya alguna variante, e *Idem* si es exactamente igual a la anterior.

Es conveniente la utilización de minúsculas en las iniciales de cargos (alcalde, capitán...), títulos (conde...), tratamientos (licenciado...), dejando el uso de las mayúsculas para los casos de instituciones relevantes.

Los incisos entre guiones deben siempre --como en este ejemplo-- marcarse con doble guión.

Las fechas deben desarrollarse al completo, tanto en el texto como en las notas. Ejemplo: Sevilla, 5 de abril de 1980.

### Nota de copyright

© Universidad de Jaén.

Los originales publicados en las ediciones impresa y electrónica de esta Revista son propiedad de la Universidad de Jaén, así como de las Universidades que realicen la edición de monográficos específicos en América Latina o Europa, siendo necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total.

Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución "Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 3.0 España" (CC-by-nc). Puede consultar desde aquí la versión informativa y el texto legal de la licencia. Esta circunstancia ha de hacerse constar expresamente de esta forma cuando sea necesario.

### Declaración de privacidad

Los nombres y direcciones de correo electrónico introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

# Sumario AGUA y TERRITORIO 8

<b>Dossier:</b>	<b>Agua y sostenibilidad. Depuración y reutilización de aguas regeneradas</b>	
	<i>Water and sustainability. Wastewater treatment and the reuse of regenerated water</i> .....	7
	<i>Joaquín Melgarejo-Moreno, coord.</i>	
	<i>Presentación:</i> Joaquín MELGAREJO-MORENO .....	8
	PRATS-RICO, Daniel: <i>La reutilización de aguas depuradas regeneradas a escala mundial: análisis y prospectivas. Reuse of Purified Regenerated Water Worldwide: Analyzes and Projections</i> .....	10
	MELGAREJO-MORENO, Joaquín; LÓPEZ-ORTIZ, M. <sup>a</sup> Inmaculada: <i>Depuración y reutilización de aguas en España. Wastewater Treatment and Water Reuse in Spain</i> .....	22
	MOLINA-GIMÉNEZ, Andrés: <i>Aproximación al régimen jurídico de la reutilización de aguas regeneradas en España. Delineating the Legal Framework for the Reuse of Reclaimed Water in Spain</i> .....	36
	TRAPOTE-JAUME, Arturo: <i>Tecnologías de depuración y reutilización: nuevos enfoques. Technologies of Wastewater Treatment and Reuse: New Approaches</i> .....	48
	ALFRANCA-BURRIEL, Óscar: <i>Métodos de valoración ambiental aplicados a la regeneración y reutilización de aguas residuales en agricultura. Environmental Assessment Methods Applied to the Regeneration and Reuse of Wastewater in Agriculture</i> .....	61
	VILLAR-GARCÍA, Alberto del: <i>Reutilización de aguas regeneradas: aproximación a los costes de producción y valoración de su uso. Reuse of Reclaimed Water: Estimating the Costs of Production and Utilization</i> .....	70
	MELIÁN-NAVARRO, Amparo; FERNÁNDEZ-ZAMUDIO, M. <sup>a</sup> Ángeles: <i>Reutilización de agua para la agricultura y el medioambiente. Water Reuse in Agriculture and the Environment</i> .....	80
	ORTUÑO-PADILLA, Armando; FERNÁNDEZ-ARACIL, Patricia: <i>Reutilización de aguas y ocio: Campos de golf. Reuse of Wastewater in Golf Courses</i> .....	93
<b>Miscelánea</b>		
	RIVASPLATA-VARILLAS, Paula Ermila: <i>La ampliación del suministro de agua en la Lima colonial a fines del siglo XVI: los primeros problemas y sus soluciones. Expanding the Supply of Water in Colonial Lima at the end of the 16th Century: Initial Challenges and their Solutions</i> .....	104
	LEÓN-FUENTES, Nelly Josefa: <i>El agua y la obra pública hidráulica en México: concesiones, contratos y otras modalidades, 1880-1940. Water and Public Works In Mexico: Concessions, Contracts, and other Management Modalities, 1880-1940</i> ....	123
	<b>Eventos</b> .....	136
	<b>Reseñas Bibliográficas</b> .....	142
	<b>Estadística y evaluación</b> .....	151
	<b>Normas de Publicación</b> .....	153



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Entidades Colaboradoras: EL COLEGIO DE MICHOACÁN, UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA IZTAPALAPA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHILE, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

<http://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/atma>