

Agua regenerada: un recurso fiable para promover la autosuficiencia

Rafael Mujeriego Sahuquillo

1. Introducción	1
2. Reutilización planificada	2
3. Beneficios de la reutilización planificada	3
4. Exigencias de la reutilización planificada	4
5. Fiabilidad del proceso de regeneración	6
6. Tipos de reutilización	6
7. Coste de la reutilización planificada en España	8
8. Gestión socioeconómica de la reutilización	11
9. Reutilización potable indirecta	13
10. Aplicaciones prácticas del agua regenerada	15
11. Conclusiones	18
12. Agradecimientos	19

La **Fundació Agbar** tiene como objetivo principal el fomento de los valores diferenciados de la compañía Agbar, como son el compromiso con el medio ambiente, la materialización de los máximos estándares de calidad, el avance tecnológico y la voluntad de servicio. A través de la educación, la concienciación y el diálogo, servimos de nexo con la Sociedad en la transmisión de una visión del agua orientada hacia el conocimiento y hacia el futuro. Para ello, la Fundación se aproxima a los usuarios y a los ciudadanos mediante la promoción del desarrollo sostenible, la investigación, la reflexión y la difusión del conocimiento sobre el Agua.

Agua regenerada: un recurso fiable para promover la autosuficiencia

Rafael Mujeriego Sahuquillo

Doctor en Ingeniería por la Universidad de California en Berkeley (1976). Desde 1986 es catedrático de Ingeniería Ambiental en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Hoy en día es presidente del Consejo para el Uso Sostenible del Agua del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Cataluña. Es asesor técnico del Consejero de Medio Ambiente y Vivienda, presidente de la Asociación Española de Reutilización Sostenible del Agua y colabora con la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

© Fundació Agbar, 2010

La Fundació Agbar ha elegido este texto reconociendo su interés general y su aportación al debate sobre el Agua. No obstante, la responsabilidad de las opiniones formuladas en esta publicación corresponde exclusivamente a su autor y la Fundació Agbar no se identifica necesariamente con su contenido.

Esta publicación ha sido realizada con papel Cyclus 100% reciclado, sin cloro ni blanqueadores. Con este tipo de iniciativas, la Fundació Agbar quiere promover el uso de papel reciclado en sus oficinas, de acuerdo con el compromiso de respeto al medio ambiente que la compañía Agbar recoge en su Código Medioambiental Corporativo.

Fotografía: Lluís Sala, Consorcio Costa Brava (CCB)

Edición: Ormobook

Maquetación: Ormograf

Impresión: Ormoprint



Fundació Agbar

Ctra. de Sant Joan Despí, 1
Tel 93 342 35 00

08940 Cornellà de Llobregat
Fax 93 342 35 31

Barcelona España
www.fundacioagbar.org

1. Introducción

La consideración normativa y práctica del medio ambiente como un usuario de pleno derecho de los recursos hídricos está impulsando un cambio sustancial tanto en la percepción como en la gestión tradicional y antropocéntrica de nuestras fuentes habituales de agua: los ríos y los acuíferos. A la necesidad de asegurar la calidad química y sanitaria de nuestros abastecimientos, iniciada a mediados del siglo XIX mediante los procesos de potabilización, en el siglo XX vino a sumarse la exigencia de depurar nuestros efluentes como forma de asegurar que la calidad de los caudales circulantes fuera compatible con las necesidades de los usuarios situados aguas abajo. El principio del siglo XXI ha significado la consolidación, no solo del mantenimiento de la calidad del agua de ríos y acuíferos, sino también de su caudal circulante en distintos puntos de su recorrido y en toda época del año. La gestión integrada en el ámbito de la cuenca hidrográfica constituye una exigencia normativa (Directiva 2000/60/CE) para cuya implantación se dispone de diversos instrumentos, entre los que cabe destacar el uso eficiente, el ahorro de agua, la regulación, el intercambio de usos, la regeneración, la reutilización, así como la desalación de aguas salobres y salinas.

La reutilización es un componente intrínseco del ciclo natural del agua. Mediante el vertido de efluentes depurados a los cursos de agua y su dilución con el caudal circulante, las aguas residuales depuradas se han reutilizado incidentalmente en puntos aguas abajo de los cauces para aprovechamientos urbanos, agrícolas e industriales. La reutilización directa o planificada del agua a gran escala tiene un origen más reciente (mediados del siglo XX) y supone el aprovechamiento directo de efluentes, con un mayor o menor grado de regeneración, mediante su transporte hasta el punto de utilización a través de un conducto específico, sin mediar para ello la existencia de un vertido o una dilución en un curso natural de agua.

El notable desarrollo alcanzado por la reutilización planificada del agua, especialmente en países con recursos hídricos suficientes, se ha debido fundamentalmente a dos causas: la necesidad de ampliar los abastecimientos de agua y la necesidad de mejorar las formas de gestión de los vertidos de aguas depuradas. El incremento registrado por las dotaciones de agua de abastecimiento y el aumento de población experimentado en numerosas zonas urbanas, aunados a la mayor sensibilidad ambiental respecto a los cursos naturales de agua, han hecho que las fuentes de abastecimiento tradicionales sean insuficientes para atender las demandas actuales de agua. Las distancias cada vez más grandes entre las nuevas fuentes de abastecimiento y los núcleos urbanos, las limitaciones

ambientales para construir nuevos embalses y las sequías plurianuales han llevado a numerosas poblaciones a plantearse la utilización de aguas regeneradas como fuente adicional de agua para aprovechamientos que no requieran una calidad de agua potable. Por otra parte, las crecientes exigencias sanitarias y ambientales sobre la calidad de las aguas continentales y marinas, junto con los requisitos de ubicación y los niveles de tratamiento cada vez más estrictos impuestos a los vertidos de aguas depuradas, han convertido el agua regenerada en una fuente alternativa de abastecimiento, económica y segura desde el punto de vista tanto sanitario como ambiental.

El objetivo de este artículo es analizar el papel que la regeneración y la reutilización planificada de efluentes desempeñan en la gestión integrada de los recursos hídricos, especialmente en relación con su capacidad para promover la autosuficiencia de recursos hídricos en zonas semiáridas y con déficits crónicos, como las cuencas internas de Cataluña y, en particular, el Área Metropolitana de Barcelona. Los objetivos específicos de este artículo son: describir el marco conceptual de la reutilización planificada, analizar los beneficios y las exigencias de la reutilización planificada, presentar los diferentes usos del agua regenerada, valorar el coste de la reutilización planificada en la gestión integrada de los recursos hídricos en España, analizar los condicionantes socioeconómicos de la reutilización planificada en España, describir las iniciativas pioneras e innovadoras de reutilización potable indirecta y formular diversas aplicaciones prácticas para potenciar el papel de la reutilización planificada en la gestión integrada del agua.

2. Reutilización planificada

El proceso de tratamiento necesario para que el agua depurada pueda reutilizarse generalmente se llama *regeneración* y el resultado de dicho proceso, *agua regenerada*. De acuerdo con su significado etimológico, la regeneración del agua consiste en devolverle, parcial o totalmente, el nivel de calidad que tenía antes de utilizarse, de igual manera que la regeneración tanto de suelos como de playas trata de restaurar el estado y la forma que tenían en el pasado (Asano et ál., 2006; Mujeriego, 1990, 2007).

La implantación de un proyecto de regeneración de agua tiene dos requisitos esenciales y complementarios: definir los niveles de calidad aplicables a cada uno de los posibles usos que se piense dar al agua regenerada e identificar los procesos de tratamiento recomendados para alcanzar los niveles de calidad aplicables al agua regenerada destinada a cada uno de los usos previstos.

La reutilización del agua regenerada consiste en ponerla a disposición del usuario para que pueda satisfacer el aprovechamiento considerado. Normalmente, para aprovechar el agua regenerada se requiere transportarla desde la planta de regeneración hasta el lugar de utilización, almacenarla o adecuar el caudal suministrado por la planta de regeneración a los caudales consumidos por el usuario y, por último, definir normas de utilización del agua (buenas prácticas de uso) que permitan minimizar los posibles riesgos directos o indirectos para el medio ambiente, las personas que la utilizan, la población circundante al lugar de uso y los consumidores de cualquier producto cultivado con el agua regenerada. Estos tres elementos técnicos constituyen el núcleo central de un programa de reutilización planificada del agua.

3. Beneficios de la reutilización planificada

El balance hídrico de una zona geográfica es la diferencia entre el aporte anual de agua –constituido por las precipitaciones y las aportaciones de los ríos, acuíferos y transvases de otras cuencas–, y las pérdidas anuales de agua –o pérdidas irrecuperables, cuyo destino es la atmósfera o el mar. Cualquier actuación destinada a conservar agua y que consiga reducir esas pérdidas mejorará la disponibilidad de agua para su aprovechamiento a lo largo del año. Por este motivo, la regeneración y la reutilización únicamente resultarán en un incremento real de los recursos hídricos aprovechables en una zona si las aguas se pierden actualmente de forma irrecuperable, mediante su vertido al mar desde una población costera o a través de la evapotranspiración en zonas del interior (Pettygrove y Asano, 1984; Mujeriego, 1990).

La reutilización planificada del agua puede tener múltiples beneficios, entre los que cabe destacar:

1. Obtención de una nueva fuente de suministro de agua, capaz de aportar recursos hídricos adicionales, bien sea en forma de recursos netos, o bien de recursos alternativos, que permiten liberar recursos de agua de mejor calidad y, de este modo, pueden destinarse a usos más exigentes, como el abastecimiento público.
2. Disminución de los costes de tratamiento y de vertido del agua depurada.
3. Reducción del aporte de contaminantes a los cursos naturales de agua, en particular cuando la reutilización se efectúa mediante riego agrícola, de jardinería o forestal.

4. Aplazamiento, reducción o incluso supresión de instalaciones adicionales que puedan ser necesarias para la potabilización de agua de abastecimiento.
5. Ahorro energético, al evitar la necesidad de aportes adicionales de agua desde zonas más alejadas a la de la planta de regeneración.
6. Reducción de las emisiones de dióxido de carbono, en razón de los menores consumos energéticos.
7. Aprovechamiento de los elementos nutritivos contenidos en el agua, especialmente cuando el agua regenerada se utiliza para riego agrícola y de jardinería.
8. Mayor garantía de suministro. Los caudales de agua depurada tienen una garantía muy superior a la mayoría de las fuentes naturales de agua, particularmente en zonas semiáridas como las mediterráneas españolas.

En definitiva, la reutilización planificada ofrece una garantía de suministro muy superior a la de las fuentes convencionales, asegurando la disponibilidad de caudales, en particular durante la temporada estival, permitiendo un aprovechamiento de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) contenidos en el agua regenerada y potenciando una gestión más eficiente de los recursos hídricos, al facilitar la utilización de aguas de calidad prepotable para abastecimiento público. El hecho de que estos caudales de agua regenerada estén situados en las proximidades de los núcleos urbanos (a las puertas de las ciudades) ofrece una posibilidad de abastecimiento local y fiable para aumentar el grado de autosuficiencia hídrica de estas poblaciones.

La reutilización planificada, junto con la regulación en embalses en derivación y acuíferos, así como el uso eficiente del agua, constituyen elementos básicos de la gestión integrada de los recursos en zonas semiáridas como las del sur de California (Mujeriego, 2004).

4. Exigencias de la reutilización planificada

Uno de los factores determinantes de la implantación y el desarrollo de la reutilización planificada del agua es el establecimiento de normas de calidad del agua regenerada para cada uno de los posibles tipos de aprovechamiento que se contemplen. La aprobación del Real Decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización del agua y las normas de calidad relativas aplicables al agua regenerada, constituye un elemento esencial para el desarrollo coordinado de esta actividad en España. Mientras que el régimen jurídico

aplicable a la gestión del agua regenerada se enmarca en un contexto de organismos de cuenca como el requerido por la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE) –nuestras confederaciones hidrográficas actuales–, los límites de calidad aplicables al agua regenerada para los posibles aprovechamientos se inspiran básicamente en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos, que ya se habían adoptado y aplicado en diversas comunidades autónomas como Cataluña, País Vasco, Islas Baleares y Andalucía, durante la implantación de proyectos de reutilización a lo largo de las dos últimas décadas.

El transporte del agua regenerada desde la planta de tratamiento hasta el punto de reutilización es, sin duda, la principal exigencia de cualquier proyecto de reutilización. Por otra parte, las normas de utilización del agua regenerada son un componente esencial de cualquier estrategia de protección de la calidad ambiental y la salud pública. En general, cuanto mayor es el nivel de calidad del agua regenerada, menores son las restricciones impuestas a su uso, en razón de su posible contacto con personas, animales o productos comestibles.

Las autoridades sanitarias dedican especial atención a la definición de las normas de utilización del agua regenerada, tales como: señalización mediante carteles visibles que indiquen el tipo de agua utilizada, adopción normalizada del color morado para las conducciones y los dispositivos de control, instalación de dispositivos antirretorno, inspecciones de las conexiones a la red de agua regenerada, exigencia de determinados horarios de riego y de tipos de aspersores, prohibición de instalar grifos exteriores, así como utilización de tamaños de conducción y de bocas de conexión de mangueras diferentes a los utilizados para las aguas de abastecimiento público.

El cúmulo creciente de controles de calidad que se han aplicado tanto a la producción como a la distribución del agua regenerada está propiciado por un cambio de estrategia normativa hacia un control total de la calidad del agua: la implantación de procesos sucesivos y complementarios (barreras múltiples) y extremadamente fiables que permitan obtener un producto (agua regenerada) de gran calidad, capaz de garantizar la protección sanitaria y ambiental de todos los usos posibles, permitiendo así reducir los esfuerzos económicos y de personal que conllevan los análisis y el seguimiento.

La adopción de una estrategia de calidad total del agua regenerada resalta todavía más la necesidad de considerar la regeneración y la reutilización como un elemento de gestión claramente diferente, aunque complementario, de la depuración y el vertido de efluentes, en particular en lo relativo a la asignación de

costes tanto de implantación como de explotación y mantenimiento de los proyectos: la regeneración y la reutilización deben asignarse al capítulo de desarrollo de recursos hídricos nuevos, adicionales o no convencionales, mientras que la depuración y el vertido deben asignarse al capítulo de protección ambiental de los medios receptores, regido por normativas técnicas y fiscales específicas.

5. Fiabilidad del proceso de regeneración

Una exigencia característica de los proyectos de regeneración de agua es la necesidad de garantizar una notable fiabilidad del proceso de tratamiento y una adecuada gestión del sistema de reutilización. La circunstancia de que la reutilización suele plantearse como la única fuente alternativa para el aprovechamiento considerado, sin la protección que pueda ofrecer la dilución con agua de mejor calidad, y, sobre todo, el hecho de que la reutilización a menudo conlleva la posibilidad de un contacto directo con personas, animales o plantas –que pueden verse afectados en su salud o desarrollo–, hacen que la fiabilidad de las plantas de regeneración deba ser elevada y constituya un elemento esencial tanto de su diseño como de su explotación y mantenimiento.

En definitiva, la regeneración se concibe actualmente como un proceso destinado a obtener un producto de calidad, de modo muy similar al que se adopta en las instalaciones de potabilización de agua de abastecimiento público. Esta nueva forma de plantear la regeneración ha hecho que la reutilización planificada se haya convertido en un elemento esencial de la gestión integrada de los recursos hídricos.

La creciente sensibilidad ambiental y, sobre todo, la sensibilidad sanitaria de las poblaciones en posible contacto con el agua regenerada están propiciando que la calidad sanitaria de esta última se aproxime cada vez más, en particular en zonas desarrolladas, a la “calidad analítica” del agua potable, aunque ello no implique el consumo humano del agua regenerada. Esta adaptación es especialmente evidente en los proyectos pioneros de reutilización potable indirecta, en los que el agua regenerada se devuelve al medio natural (manteniendo los niveles de calidad) para que pueda utilizarse posteriormente como materia prima en la producción de agua potable.

6. Tipos de reutilización

El agua regenerada tiene múltiples usos, entre los que cabe destacar: usos urbanos (jardinería, lucha contra incendios, limpieza de calles y automóviles);

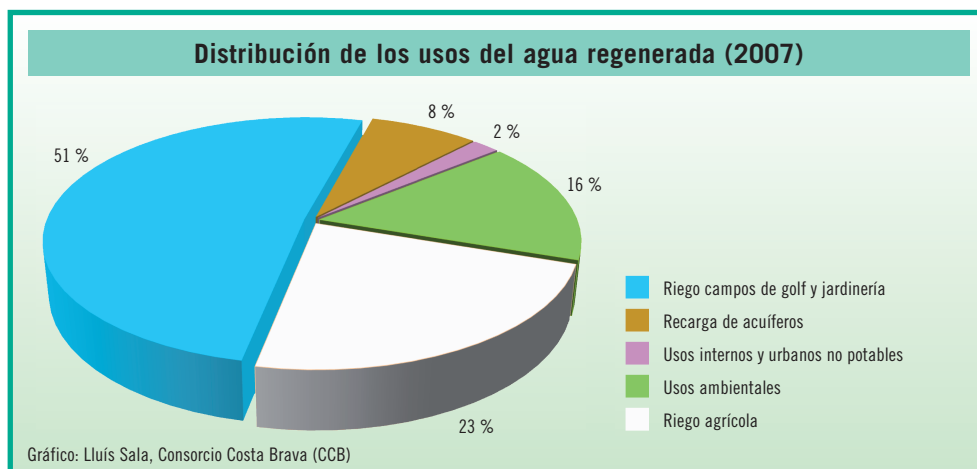


Figura 1

usos industriales (refrigeración, limpieza de vagones de ferrocarril); riego agrícola, de jardinería y forestal; usos ornamentales y recreativos; mejora y preservación del medio natural, y recarga de acuíferos. La reutilización agrícola y de jardinería constituye el aprovechamiento más extendido, tanto para cultivo hortícola (consumo directo) como para cultivos con procesamiento posterior, cereales, cítricos y viñedos; ya sea mediante riego por aspersión, microaspersión y goteo o mediante riego por inundación (véase figura 1).

Atendiendo al posible contacto o ingestión del agua regenerada por parte de las personas, la reutilización se clasifica en: reutilización para uso potable y reutilización para uso no potable. La primera categoría incluye las utilizaciones en que el agua regenerada puede ser ingerida por las personas en algún momento y la segunda engloba todas las demás. Es importante señalar que, hasta el momento, los proyectos de regeneración para usos no potables son los que han adquirido el mayor desarrollo en numerosas partes del mundo, donde han alcanzado excelentes cotas de fiabilidad y aceptación por parte de los usuarios y del público en general. Esto es especialmente aplicable en zonas semiáridas desarrolladas, donde los recursos hídricos son cada vez más limitados e irregulares y donde la protección ambiental es una prioridad cada vez más urgente.

Como ejemplo de la capacidad de regeneración y de los caudales (absolutos y relativos) regenerados actualmente en diversas zonas del mundo, puede mencionarse que la reutilización planificada en el Consorcio de la Costa Brava durante 2007 fue de 5,5 hm³/año, lo que representó un 18% de los 30 hm³ de agua depurada en sus instalaciones. La figura 2 muestra la evolución histórica de la reutilización del agua en el Consorcio de la Costa Brava desde 1989,

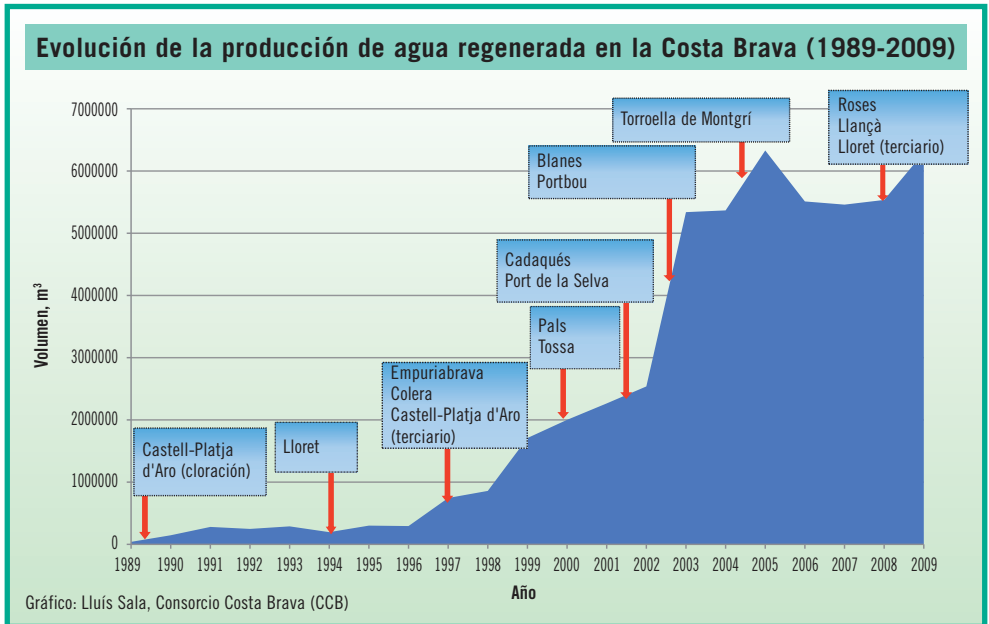


Figura 2

cuando se tomó por primera vez como elemento de gestión de los recursos hídricos. Asimismo, la reutilización planificada en California en junio de 2003 alcanzó un caudal de 670 hm³/año (495 hm³/año en el 2000 y 330 hm³/año en 1987). Florida dispone de una capacidad de regeneración de agua de 1.900 hm³/año y en 2006 alcanzó un nivel de reutilización de 915 hm³/año (810 hm³/año en 2001).

Como se puede observar, los caudales de agua regenerada reutilizados anualmente en estas zonas geográficas son importantes. Aunque los porcentajes de reutilización en toda California se sitúan en torno al 10%, los porcentajes en ámbitos regionales más restringidos del propio estado llegan a superar el 30%, especialmente en las zonas semiáridas del sur. En este contexto, el porcentaje del 18% alcanzado por el Consorcio de la Costa Brava entre 2007 y 2009 destaca por su posición en la parte alta de este intervalo.

7. Coste de la reutilización planificada en España

La entrada en funcionamiento de diversos proyectos de reutilización para riego agrícola y de jardinería en la Costa Brava, promovidos por el Consorcio de la Costa Brava desde 1985, y de la planta de regeneración de agua de Vitoria-Gasteiz en 1995, promovida por la Comunidad de Regantes Arrato y financiada por la Diputación Foral de Álava, marcaron una primera década del proceso de

implantación de la reutilización planificada en España. El principal logro de esa etapa fue documentar la capacidad personal y tecnológica de nuestras instalaciones para obtener agua regenerada de calidad comparable a la producida por otros países pioneros, y utilizarla de forma eficiente para el riego de jardinería y de cultivos, tanto de consumo directo como industriales.

En 2004, la conclusión del primer embalse regulador de aguas regeneradas, como parte del mismo proyecto de gestión integrada de Vitoria-Gasteiz, y la expansión de diversos proyectos de reutilización en la Costa Brava y otras zonas españolas, marcaron una segunda década del proceso de desarrollo de la reutilización planificada. El logro más destacado de esta segunda fase fue documentar el coste real de la regeneración y la reutilización a un nivel de calidad y de gestión integrada comparable al de los países líderes en este campo. Los datos más recientes facilitados por los responsables de la explotación de la planta de regeneración de agua de Vitoria-Gasteiz (Julio López, comunicación personal, 2006) confirman el valor de referencia inicial de 0,06 euros/m³ para el coste del agua regenerada en España. Por otra parte, el embalse regulador de Vitoria-Gasteiz, con capacidad para 7 hm³, representó una inversión de la Diputación Foral de Álava de 11,8 millones de euros, equivalentes a 1,7 euros/m³ (Mujeriego y López, 2008).

Los valores anteriores muestran que las mayores exigencias económicas están asociadas a la reutilización (distribución al usuario), mientras que el coste de la planta de regeneración y, sobre todo, los costes de explotación y mantenimiento son comparativamente muy inferiores.

El factor limitante de la expansión de los proyectos de regeneración en España ha sido precisamente la ausencia de un marco de gestión integrada, que permita considerar conjuntamente los costes del proceso y los beneficios directos e indirectos (externalidades) que comporta. No hay duda de que muchos de estos proyectos han alcanzado una aceptación muy positiva entre los usuarios y una percepción pública muy favorable, especialmente para el riego de jardinería, de campos de golf y de protección ambiental. Es evidente que el objetivo a conseguir en la tercera década, que se inició en 2005, debe ser que la reutilización planificada se convierta realmente en un elemento más de la gestión integrada de los recursos hídricos, mediante acuerdos entre usuarios urbanos, agrícolas y de ocio.

La tabla 1 resume los costes de inversión y de consumo energético que conllevan actualmente la regeneración, la regulación en embalses en derivación y la desalación de agua salobre y marina. Los valores indicados para la

Costes de inversión y de energía de diversas alternativas de gestión, Consorcio Costa Brava, Vitoria, ATLL, Palma de Mallorca, C. Taibilla, Málaga, Bélgica, California

Alternativa	Inversión, euros/m ³ – anual	Amortización, años	Energía, kWh/m ³
Regeneración (riego sin restricción)	0,26 (Vitoria, 1995)	15-25	0,001-0,73 (Sala y Serra, 2004)
Regulación (en derivación)	1,7 (Vitoria, 2004)	> 100	—
(en acuífero)	2,0 \$ (California, 2000) 0,86 \$ (California, 2005)	> 100 25	—
Trasvase Ródano (ATLL, 1999)	2,8 (900 M€ 325 hm ³)	50	1,7-2,0
(Estimación 2009)	3,9 (1.270 M€ 325 hm ³)		
Desalación agua salobre	0,9 (Málaga, 2005-2006)	5 (membranas)	0,8
Regeneración potable	2,4 € (Bélgica)	15-20 (obras y equipos)	—
Regeneración potable	3,4 \$ (2,6 €) (OCWD, 2008)		—
Desalación agua de mar (Blanes, Barcelona, Mallorca, Taibilla)	3,0-4,0	5 (membranas)	3,5-4,0

Tabla 1

regeneración de agua corresponden a niveles de calidad adecuados para su utilización en riego agrícola y de jardinería, con calidad suficiente para garantizar niveles de protección ambiental y de salud pública comparables a los asociados al uso de agua potable. Ello posibilita, por lo tanto, su utilización sin restricción respecto al posible contacto del agua con el público y los cultivos. Los valores indicados para la desmineralización de aguas salobres se corresponden con los costes asociados a la regeneración avanzada del agua para su reutilización potable indirecta.

La tabla 1 muestra el incremento de los costes de inversión a medida que se pasa de la regeneración a la regulación y a la desmineralización. Si a ello se añade el período de amortización, resulta claro que los costes unitarios de la regulación son los menores de todos ellos, seguidos por los de la regeneración y los de la desalación. Obviamente, la valoración completa de la reutilización requiere tener en cuenta los costes de inversión de la red de distribución que pueda ser necesaria. Por este motivo, los proyectos de reutilización suelen plantearse de forma progresiva, en forma de “mancha de aceite”, atendiendo inicialmente a los grupos de usuarios con mayor capacidad de uso o los más próximos a la planta de regeneración.

El consumo energético marca igualmente una clara distinción entre estas tres alternativas. Mientras que la regeneración básica presenta consumos unitarios inferiores a 1 kWh/m³, la desmineralización de agua salobre y de agua marina alcanza normalmente valores próximos a 1 y 4 kWh/m³, respectivamente. Al margen del coste económico, también conviene tener en cuenta el impacto ambiental que conllevan dichos niveles de consumo eléctrico. Considerando que en España las emisiones medias de dióxido de carbono se sitúan en torno a 460 g/kWh y que el derecho de emisión se sitúa en unos 20 euros por tonelada, cada kilowatt hora consumido añade un coste ambiental adicional de hasta 0,01 euros/m³ al agua regenerada (básica y avanzada) y de 0,04 euros/m³ al agua marina desalada.

8. Gestión socioeconómica de la reutilización

Los episodios de sequía con frecuencia provocan fuertes tensiones entre los diversos usuarios de los recursos hídricos, a la vez que potencian el interés de todos ellos por fuentes de agua no convencionales que puedan aportar soluciones mucho más fiables a la falta de recursos convencionales. La prioridad que la reglamentación española asigna al consumo humano sobre los otros usos provocó que la gestión de las medidas para mitigar los efectos de las sequías registradas durante 2005 y 2008 en España –particularmente en determinadas comunidades autónomas como Cataluña, Valencia, Murcia, Andalucía y Madrid– suscitase intensos debates entre los usuarios urbanos y agrícolas, propiciando un renovado interés por la reutilización planificada como forma de resolver los déficits coyunturales o permanentes de agua.

Establecer el precio y el coste del agua regenerada es un proceso determinante de la operatividad y el éxito de cualquier programa de reutilización planificada. Este proceso es complejo, debido fundamentalmente a que suele ser más costoso suministrar agua regenerada que mantener un abastecimiento de agua potable, a pesar de que el agua regenerada básica tiene una calidad inferior a la del agua potable (Cuthbert y Hajnosz, 1999). Mientras que los costes de abastecimiento de agua potable suelen basarse en inversiones pasadas, los proyectos de suministro de agua regenerada conllevan inversiones y un régimen de explotación y mantenimiento que, de acuerdo con los métodos tradicionales de asignación de costes, hacen que el coste del agua regenerada sea igual o incluso superior a la de abastecimiento público obtenida de las fuentes existentes.

El dilema en estos casos es evidente: si el agua regenerada se factura a su precio real de coste, los usuarios no tendrán generalmente un incentivo suficiente

para utilizarla; por otra parte, si el agua regenerada se factura a un precio inferior a su coste de producción, será necesario obtener una compensación con otras fuentes de ingresos. La cuestión que surge en este caso es determinar quién debe hacerse cargo de esos gastos y cuál ha de ser su cuantía. No obstante, debido a los beneficios obtenidos a largo plazo con la utilización de agua regenerada, numerosos servicios públicos de abastecimiento de agua potable y de suministro de agua de riego están promoviendo su utilización.

La reutilización planificada del agua adquiere una nueva dimensión cuando se contempla desde un punto de vista más amplio que el tradicional (entidades distintas que gestionan una parte del ciclo del agua), revelando de este modo su potencial para evitar los mayores costes que comportan las nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable, incluso cuando estas son realmente posibles, y evitar los superiores costes que pueden representar las mejoras en la depuración y el vertido requeridas por nuevas limitaciones sanitarias y ambientales.

La gestión del ciclo del agua en el contexto de una cuenca hidrográfica, tal como se ha aplicado tradicionalmente en España y como la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE) lo requiere en Europa, ofrece un marco excelente y mucho más favorable para llevar a cabo una gestión integrada o sistémica de los recursos hídricos, en la que los requisitos económicos y financieros de la reutilización planificada pasan a ser un elemento más del balance general de costes y beneficios de la cuenca.

La creación de los organismos de cuenca, responsables de la gestión integrada de los recursos, permite que los proyectos de reutilización planificada puedan beneficiarse de los ahorros e incluso de los beneficios derivados de no tener que recurrir necesariamente a nuevas y costosas fuentes de abastecimiento de agua potable, como la desalación, los trasvases desde zonas alejadas o las aportaciones excepcionales mediante buques. El desarrollo reglamentario del dominio público hidráulico y la implantación de instrumentos de gestión para el intercambio de derechos de uso del agua ofrecen grandes posibilidades para una mejor gestión de los recursos y posibilitan la incorporación del agua regenerada como un nuevo elemento dinamizador del sistema.

Entre los beneficios más destacables de la reutilización cabe resaltar la mayor disponibilidad de agua prepotable, cuando se sustituye por agua regenerada, y la mayor garantía de los suministros de agua regenerada, que permite mitigar o suprimir las restricciones que deben aplicarse durante periodos secos, evitando las enormes pérdidas que los periodos de sequía meteorológica comportan

usualmente. Si a esto se añaden las posibilidades de coordinación entre recursos superficiales y recursos subterráneos –especialmente por las posibilidades de regulación que estos últimos ofrecen–, así como los ahorros y el uso eficiente del agua en usos agrícolas, puede concluirse que la gestión integrada permite mejorar sustancialmente la disponibilidad de recursos para los distintos usuarios, así como una mayor garantía de suministro de esos mismos recursos.

9. Reutilización potable indirecta

El debate técnico sobre el alcance y el futuro de la reutilización planificada –y, consecuentemente, de los medios técnicos para la regeneración de agua en países con destacadas realizaciones en este campo– se centra en estos momentos entre la conveniencia de impulsar la reutilización indirecta para usos potables o la precaución de restringir el alcance de la reutilización a los usos no potables que se han desarrollado desde hace varias décadas. Este debate técnico –y necesariamente político en muchos casos prácticos– suele eclipsar una realidad incontestable: el gran éxito alcanzado por la reutilización para usos no potables en numerosos países del mundo, especialmente en estados con un gran número y diversidad de proyectos, como California y Florida, y en zonas como la Costa Brava (Girona), la ciudad de Vitoria (Álava), las Baleares y las Canarias, la Costa del Sol y otros puntos de la costa mediterránea española, en los que la reutilización planificada ha progresado de forma muy destacada desde la década de 1980.

El aumento de la necesidad de agua para abastecimiento urbano, junto con la disponibilidad física y administrativa de crecientes caudales de efluentes depurados en zonas urbanas muy próximas a los puntos de uso, así como la disponibilidad de procesos de tratamiento de agua con capacidad contrastada para eliminar prácticamente la totalidad de contaminantes conocidos y detectables en las aguas de suministro, han propiciado la consideración de los efluentes depurados como materia prima para producir agua regenerada de calidad prácticamente equivalente a la mejor agua superficial o subterránea disponible, con un coste comparable al de las fuentes de agua convencionales. La aplicación de estos procesos de regeneración avanzada, mediante la filtración con membranas de desmineralización de agua y la desinfección con biocidas de efecto complementario –como la luz ultravioleta, el cloro, el agua oxigenada y el ozono–, está permitiendo obtener un agua final de gran calidad química y sanitaria, superior en muchos casos a las mejores aguas superficiales disponibles en esas zonas.

Las dos estrategias fundamentales adoptadas para impulsar la reutilización potable indirecta están siendo la información y la participación del público, mediante procesos bien organizados, sistemáticos y prolongados, así como la utilización del medio natural como un elemento imprescindible del proceso de reutilización del agua regenerada. Se trata, en definitiva, de conferir al agua “un toque de naturalidad” que contribuya a mejorar su calidad, regular sus caudales y reforzar una percepción pública favorable del agua regenerada, en comparación con las fuentes tradicionales de agua para abastecimiento público.

El concepto innovador de la reutilización potable indirecta se viene aplicando desde hace algunos años en unos cuantos lugares pioneros, entre los que cabe destacar: el proyecto Groundwater Replenishment System del condado de Orange, en el sur de California (www.gwrssystem.com), iniciado en enero de 2008, tras más de 30 años de estudios y demostraciones previas; el proyecto de recarga de dunas costeras de Wulpen, en Bélgica (www.iwva.be/docs/torreele_en.pdf); el proyecto NeWater de Singapur (www.pub.gov.sg/newater/Pages/default.aspx), y el proyecto Western Corridor del sureste de Queensland, en Australia (www.westerncorridor.com.au).

El Área Metropolitana de Barcelona dispone de un proyecto de demostración para la regeneración avanzada con el fin de alimentar una barrera contra la intrusión salina en el delta del río Llobregat (Mujeriego et ál., 2008). Este proyecto es un complemento de un sistema mucho más amplio (con capacidad de 100 hm³/año) de regeneración básica de agua para abastecer zonas húmedas, riego agrícola y caudales ambientales del río Llobregat. El proyecto de demostración de la reutilización potable indirecta tiene una capacidad de 5.000 m³/día y está siendo ampliado para producir hasta 15.000 m³/día, con el fin de alimentar los nuevos pozos con que estará dotada la barrera contra la intrusión salina. Los procesos adoptados para la regeneración avanzada son los mismos que los utilizados en los proyectos antes mencionados: ultrafiltración, ósmosis inversa y desinfección con luz ultravioleta.

Las infraestructuras de regeneración avanzada del Área Metropolitana de Barcelona ofrecen un punto de referencia inigualable para implantar un ambicioso programa de seguimiento e investigación de la capacidad técnica para responder a las inquietudes sanitarias, ambientales y sociales que puedan plantear tanto las autoridades sanitarias como el público en general. Los resultados de un programa como el planteado han de permitir, además de la realización de campañas de información, divulgación y participación del público y de todos los agentes sociales, la consolidación de un referente sólido para desarrollar a gran escala la reutilización potable indirecta en el Área Metropolitana de Barcelona,

generando una competencia científica y técnica internacional en un campo de tanta relevancia como la gestión de los recursos hídricos.

Los efluentes secundarios de las estaciones depuradoras de El Prat de Llobregat (100 hm³/año) y de Besòs (160 hm³/año) ofrecen una materia prima con la que se pueden obtener unos 210 hm³/anuales de agua de gran calidad (mediante filtración con membranas de ósmosis inversa y desinfección con luz ultravioleta e hipoclorito), que podría incorporarse a las masas de agua superficiales y subterráneas del Área Metropolitana, pasando así a formar parte de sus futuras fuentes de suministro y liberando caudales de las fuentes desde donde se obtiene agua actualmente. Un proyecto como este contribuiría considerablemente a mejorar la garantía de suministro en el área servida por la empresa pública Aguas Ter-Llobregat, y colocaría a Barcelona y a Cataluña a la vanguardia de las nuevas formas de gestión de los recursos hídricos, más acordes con las sequías climatológicas que se anticipan y mucho más respetuosas con el medio ambiente y los usuarios de la cuenca fluvial del río Ter, desde donde se capta actualmente una porción significativa de los recursos utilizados en el Área Metropolitana de Barcelona. El Groundwater Replenishment System del condado de Orange es sin duda la referencia más emblemática, tanto técnica como sociológicamente, que se podría utilizar para impulsar una iniciativa vanguardista de gestión integrada de los recursos hídricos en Cataluña.

10. Aplicaciones prácticas del agua regenerada

Los proyectos de reutilización implantados en la geografía española han permitido realizar una valoración económica cada vez más precisa de la regeneración y de la reutilización. Esa valoración se ha venido planteando fundamentalmente desde dos puntos de vista: el coste de producir el agua regenerada y el coste de ponerla a disposición del usuario –ambos como elementos básicos para la asignación de costes a los futuros beneficiarios del recurso. No obstante, este enfoque puramente económico se corresponde en gran medida con la perspectiva de sociedades donde el recurso es generalmente de propiedad privada o es gestionado por dos entidades distintas: una de abastecimiento y otra de saneamiento. Sin embargo, en un contexto europeo, donde el agua es un recurso público tutelado y gestionado por la administración y donde la gestión del agua se plantea en el marco de una cuenca hidrográfica, la correcta asignación del coste del agua debe plantearse en un marco de gestión integrada o sistémica, de modo similar a como se procede cuando se plantean nuevas aportaciones mediante extracciones desde acuíferos, trasvases de cuencas o desalación de agua de mar. La experiencia obtenida en diversos proyectos de regeneración y

de reutilización en España muestra claramente la emergencia de beneficios ambientales y económicos poco evidentes y que conviene considerar por su enorme relevancia.

El artículo 7 del Real Decreto 1620/2007 establece un procedimiento para la reutilización de aguas a través de iniciativas o planes de las administraciones públicas, y ofrece la posibilidad de que las administraciones públicas (sean estatales, autonómicas o locales), en el ámbito de sus respectivas competencias, puedan llevar a cabo planes y programas de reutilización, con la finalidad de fomentar la reutilización del agua y el uso más eficiente de los recursos hídricos. El Programa de Reutilización de Agua en Cataluña, actualmente en aprobación por la Agencia Catalana del Agua (2009), incluye una previsión similar al considerar la posibilidad de promoción “pública” de este recurso nuevo o adicional, mediante aportaciones económicas públicas, como las que suelen establecerse cuando se plantea un trasvase o una planta de desalación de agua.

Entre las aplicaciones prácticas en que la reutilización puede contribuir a mejorar la gestión integrada de los recursos, ofreciendo una mayor garantía de suministro a los usuarios, un menor coste global y una mayor protección ambiental, pueden mencionarse (Mujeriego, 2009):

1. Sustitución de aguas prepotables utilizadas para riego por aguas regeneradas.
2. Aportación de agua regenerada para regadíos infradotados o nuevos regadíos agrícolas o de jardinería.
3. Sustitución de caudales ambientales mediante agua regenerada de gran calidad justo aguas abajo de donde se produce la captación para abastecimiento, especialmente si ese punto de extracción es un embalse regulador.
4. Suministro de agua regenerada para mantenimiento ambiental, cuando la fuente de abastecimiento debe atender simultáneamente a usuarios urbanos y a un ecosistema acuático natural.
5. Producción de aguas regeneradas, en lugar de las aguas depuradas que se vierten a ciertos cauces, para disminuir los caudales desembalsados con el objetivo principal de diluir dichos vertidos.
6. Suministro de agua regenerada como alternativa a extracciones de aguas subterráneas en situación de sobreexplotación.
7. Recarga artificial de acuíferos con aguas regeneradas.

La consecución de un gran acuerdo marco entre usuarios urbanos y agrícolas, industriales y de ocio, en un contexto de gestión integrada del agua como el que ofrecen los organismos de cuenca, mediante instrumentos de gestión para el intercambio de derechos de uso del agua, u otros similares que puedan establecerse, constituye una vía muy favorable para satisfacer las necesidades de agua prepotable para los abastecimientos públicos y de agua de riego para la agricultura y la jardinería.

La implantación de acuerdos contractuales para la utilización de aguas regeneradas que respondan tanto a las inquietudes de calidad y de garantía de suministro del agua de riego y del agua industrial como a los intereses económicos de los concesionarios, ofrece a la agricultura, la jardinería y la industria una alternativa práctica de enorme interés para resolver los retos que se plantean ante el déficit de recursos, especialmente en las zonas costeras, a la vez que garantiza un respaldo reglamentario frente a las exigencias de calidad de los productos cultivados con ellas.

Todas estas consideraciones han de impulsar el salto cualitativo que convendrá plantearse a la hora de analizar la economía del agua regenerada: no solo cuantificar su coste, sino sobre todo estimar su valor. Los costes reales de opciones alternativas, como los trasvases y la desalación, y particularmente las medidas de urgencia para paliar las sequías hidrológicas como las adoptadas en Cataluña en 2008, ponen claramente de manifiesto la gran ventaja económica de la reutilización y la regeneración. Las recientes iniciativas de recuperación de caudales ambientales y, sobre todo, de mitigación de las irregularidades meteorológicas, tanto para abastecimiento como para preservación del medio natural, hacen que el agua regenerada y la reutilización del agua aparezcan como elementos determinantes para acrecentar el valor del agua, en sus múltiples facetas y usos.

La situación económica y financiera de esta primera década del siglo XXI y la creciente sensibilidad ambiental de las últimas décadas propiciarán probablemente nuevas formas de plantear los proyectos de regeneración y de reutilización, promoviendo una valoración más detallada y crítica de los costes económicos de otras fuentes –que, aunque elevados, parecieron justificados en el pasado– y resaltando la ventaja económica y el mayor valor del agua que pueden aportar la regeneración y la reutilización del agua.

Los conocimientos y la experiencia acumulados durante los últimos 25 años, en zonas como la Costa Brava y otros puntos de Cataluña y de España, ponen claramente de manifiesto que sabemos regenerar y reutilizar el agua, que sabemos

cuantificar sus costes económicos, tanto de inversión como de explotación y mantenimiento. El reto más inmediato es convertir la regeneración y la reutilización en un elemento más de la gestión integrada de los recursos, considerando especialmente el valor del agua, y no solo su coste económico de producción y utilización. Un valor que suele ser, sin duda, ampliamente superior al coste de regenerarla y reutilizarla.

11. Conclusiones

El análisis realizado en los apartados precedentes permite formular las siguientes conclusiones:

1. La reutilización planificada del agua constituye un componente esencial de la gestión integrada de los recursos hídricos, especialmente en zonas costeras, donde puede contribuir de forma significativa al aumento neto de dichos recursos.
2. El progreso de la regeneración y la reutilización planificada del agua no depende únicamente de los avances tecnológicos. La existencia de un marco legal y reglamentario sólido, así como de una voluntad política decidida son factores determinantes del desarrollo de la reutilización.
3. La regeneración y la reutilización del agua son un elemento de gestión diferente a la depuración y el vertido de efluentes, especialmente en la asignación de costes tanto de implantación como de explotación y mantenimiento de los proyectos: mientras que los primeros se asignan al capítulo del desarrollo de nuevos recursos hídricos, los segundos se asignan al capítulo de la protección ambiental, regido por normativas específicas.
4. La reutilización planificada del agua ofrece una garantía de suministro muy superior a la de las fuentes convencionales, garantizando la disponibilidad de caudales, especialmente durante la temporada estival, al posibilitar que las aguas de calidad prepotable puedan utilizarse para abastecimiento público y mantenimiento ambiental.
5. La gestión del ciclo del agua en el contexto de una cuenca hidrográfica ofrece un marco excelente y muy favorable para implantar una gestión integrada de los recursos hídricos, en la que los requisitos económicos y financieros de la reutilización son un elemento del balance de costes y beneficios de la cuenca.

6. La reutilización potable indirecta se aplica desde hace unos años como concepto innovador en unos cuantos lugares del mundo, entre los que cabe destacar el sur de California, Bélgica, Singapur y el sureste de Queensland, en Australia. Todos estos proyectos tienen el objetivo común de generar una nueva fuente de agua de abastecimiento público, más fiable frente a la irregularidad meteorológica, utilizando procesos de regeneración avanzada casi idénticos y empleando una de las dos opciones de “naturalidad” posibles: un acuífero costero o un embalse de regulación.
7. Las infraestructuras de regeneración avanzada disponibles en el Área Metropolitana de Barcelona ofrecen un punto de referencia inigualable para implantar un ambicioso programa de seguimiento e investigación de la capacidad técnica para responder a las inquietudes sanitarias, ambientales y sociales que puedan plantear las autoridades sanitarias y el público en general. Este programa podría ofrecer un referente sólido para impulsar la autosuficiencia del Área Metropolitana de Barcelona, generando una competencia científica y técnica internacional en un campo de tanta relevancia como la gestión de los recursos hídricos.
8. La consecución de un gran acuerdo marco entre los usuarios urbanos, agrícolas, industriales y de ocio, en un contexto de gestión integrada del agua como el que ofrecen los organismos de cuenca, constituye una vía muy favorable para satisfacer las necesidades de agua prepotable para los abastecimientos públicos y de agua para el mantenimiento ambiental, el regadío y la industria.
9. Conviene plantearse un salto cualitativo en la gestión de la economía del agua regenerada: estimar su valor, en lugar de limitarse a cuantificar su coste. Los costes reales de opciones alternativas, como los trasvases y la desalación, y particularmente las medidas de urgencia para paliar las sequías hidrológicas como las adoptadas en Cataluña en 2008, han puesto claramente de manifiesto la ventaja económica tan considerable que tienen la regeneración y la reutilización del agua en comparación con las opciones tradicionales de gestión de los recursos.

12. Agradecimientos

Los estudios y las experiencias documentados en este artículo han sido posibles gracias a la colaboración y al apoyo económico que diversas instituciones públicas nos han brindado desde 1985, entre las que merecen ser destacadas el Consorcio de la Costa Brava, la antigua Junta de Saneamiento de la Generalitat

de Cataluña, la Agencia Catalana del Agua, la Diputación Foral de Álava, la Comunidad de Regantes Arrato, la antigua Fundación del Instituto Euromediterráneo de Hidrotecnia, la Entidad Metropolitana de Barcelona, la Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España, el Orange County Water District, la Universidad de California en Davis, el antiguo Departamento de Universidades, Investigación y Sociedad de la Información de la Generalitat de Cataluña y el Ministerio de Educación y Ciencia.

REFERENCIAS

AGENCIA CATALANA DEL AGUA (2009). Programa de Reutilització d'Aigua a Catalunya. Junio de 2009. Departamento de Medio Ambiente y Vivienda, Generalitat de Cataluña.

ASANO, T., BURTON, F. L., LEVERENZ, H. L., TSUCHIHASHI, R. y TCHOBANOGLIOUS, G. (2006). *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. Metcalf and Eddy / AECOM. McGraw-Hill.

CUTHBERT, R. W. y HAJNOSZ, A. M. (1999). "Setting reclaimed water rates". *Journal of the American Water Works Association*, vol. 91, n.º 8, pp. 50-57.

DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (2000). *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política del agua*. L 327/1-71.

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA (2007). "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 de Estado* n.º 294, sábado 8 de diciembre de 2007, pp. 50639-50661.

MUJERIEGO, R. (2009). "La reutilización planificada de l'aigua: de l'eficiència a l'autosuficiència". *Nota d'economia* 93-94 (1.º y 2.º cuatrimestres de 2009). Monográfico. Aigua i activitat econòmica. Departamento de Economía y Finanzas, Generalitat de Cataluña.

MUJERIEGO, R. (2007). "La reutilización, la regulación y la desalación en la gestión integrada del agua." *La sequía en España: Directrices para Minimizar su Impacto*. Dirección General del Agua, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp. 155-202.

MUJERIEGO, R. (2004). "La gestión del agua en el sur de California". *Ambienta*, n.º 38, noviembre de 2004, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp. 31-38.

MUJERIEGO, R. (ed.) (1990). *Manual práctico de riego con agua residual municipal regenerada*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

MUJERIEGO, R., COMPTE, J., CAZURRA, T. y GULLÓN, M. (2008). "The water reclamation and reuse project of El Prat de Llobregat, Barcelona, Spain". *Water Science & Technology*, vol. 57, n.º 4, pp. 567-574.

MUJERIEGO, R., y LÓPEZ, J. (2008). "Water reuse and integrated water resources management in Vitoria-Gasteiz, Spain". *Water Practice and Technology*, vol. 3, n.º 2. International Water Association Publishing.

PETTYGROVE, G. S. y ASANO, T. (eds.) (1984). *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater, A Guidance Manual*. California State Water Resources Control Board, informe n.º 84-1 wr. Publicado nuevamente por Lewis Publisher, Inc. en 1985.

SALA, L. y SERRA, M. (2004). "Towards sustainability in water recycling", *Water Science and Technology*, vol. 50, n.º 2, pp. 1-8.