

MALLORCA, DEL 15 AL 19 DE MAYO DE 2006

2ª PONENCIA

LA REUTILIZACIÓN PLANIFICADA DEL AGUA PARA REGADÍO

Aspectos conceptuales, técnicos,
reglamentarios y de gestión

D. RAFAEL MUJERIEGO SAHUQUILLO



RAFAEL MUJERIEGO SAHUQUILLO
Catedrático de Ingeniería Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Cataluña

SUMARIO

INTRODUCCIÓN	4
LA REUTILIZACIÓN PLANIFICADA	4
BENEFICIOS DE LA REUTILIZACIÓN PLANIFICADA	5
EXIGENCIAS DE LA REUTILIZACIÓN PLANIFICADA	6
FIABILIDAD DEL PROCESO DE REGENERACIÓN	6
TIPOS DE REUTILIZACIÓN	7
TENDENCIAS ACTUALES	8
PROCESOS DE TRATAMIENTO	8
LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	9
REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA REGADÍO	10
REUTILIZACIÓN EN ZONAS COSTERAS	11
COSTE DE LA REUTILIZACIÓN PLANIFICADA EN ESPAÑA	11
GESTIÓN ECONÓMICA DEL AGUA REGENERADA	14
PROPUESTAS DE GESTIÓN	16
CONCLUSIONES	17
AGRADECIMIENTOS	18
REFERENCIAS	19

INTRODUCCIÓN

La reutilización de aguas residuales es un componente intrínseco del ciclo natural del agua. Mediante el vertido de estos efluentes a los cursos de agua y su dilución con el caudal circulante, las aguas residuales han venido siendo reutilizadas 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, 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 a la necesidad de ampliar los abastecimientos de agua y de mejorar las formas de gestión de los vertidos de aguas depuradas. El incremento registrado por las dotaciones de agua de abastecimiento, junto con el aumento de población experimentado por numerosas zonas urbanas, han hecho que las fuentes de abastecimiento tradicionales sean insuficientes para atender las demandas actuales. Las distancias crecientes 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 depuradas como fuente adicional de agua para aprovechamientos que no requieran una calidad de agua pota-

ble. 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 hecho que el agua regenerada se convierta en una fuente alternativa de abastecimiento, económica y segura desde el punto sanitario y ambiental.

El objetivo de esta ponencia es analizar el papel que la regeneración y la reutilización planificada de efluentes tienen en la gestión integrada de los recursos hídricos, especialmente en lo que concierne al riego agrícola en zonas costeras españolas, caracterizadas por déficits estacionales o permanentes de agua. Los objetivos específicos de esta ponencia son: 1) describir el marco conceptual de la reutilización planificada, 2) analizar los beneficios y las exigencias de la reutilización planificada, 3) describir los usos más frecuentes del agua regenerada, 4) presentar las tendencias actuales y los procesos de tratamiento utilizados para la regeneración de efluentes, 5) valorar el papel de la reutilización planificada en la gestión integrada de los recursos hídricos, 6) analizar las posibilidades del agua regenerada para satisfacer las demandas de agua de riego, 7) examinar las estrategias contractuales y económicas con que se plantea la introducción del agua regenerada en la agricultura, y 8) analizar el interés de la reutilización planificada del agua en zonas costeras españolas, indicando el valor aproximado de sus costes de construcción, explotación y mantenimiento.

LA REUTILIZACIÓN PLANIFICADA

El proceso de tratamiento necesario para que un agua depurada pueda ser reutilizada se denomina generalmente regeneración y el resultado de dicho proceso agua regenerada. De acuerdo con su significado etimológico, la regeneración de un agua consiste en devolverle, parcial o totalmente, el nivel de calidad que tenía antes de ser utilizada, de igual manera que la regeneración de suelos y la regeneración de playas tratan de restaurar el estado y la forma que éstos tenían en el pasado.

La implantación de un proyecto de regeneración de agua tiene dos requisitos esenciales y complementarios: 1) definir los niveles de calidad adecuados para cada uno de los posibles usos que se piense dar al agua, y 2) establecer los procesos de tratamiento y los límites de calidad del efluente recomendados para cada uno de los usos

previstos. La elaboración y la aprobación de estos dos aspectos técnicos de la regeneración de agua constituyen generalmente la faceta más discutida de todo programa de reutilización, debido a la dificultad de establecer una relación causal entre la calidad del agua y los posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente. Prueba de ello son la diversidad y la heterogeneidad de los criterios y las normas de calidad establecidas por diversos países y organizaciones internacionales sobre la reutilización del agua (USEPA, 2004; OMS, 1989).

El aprovechamiento de un agua regenerada requiere normalmente: 1) su transporte desde la planta de regeneración hasta el lugar de utilización, 2) su almacenamiento o regulación temporal para adecuar el caudal suministrado por la planta a los caudales consumidos, y 3) la defini-

ción de unas normas de utilización del agua 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.

BENEFICIOS DE LA REUTILIZACIÓN PLANIFICADA

El balance hidráulico de una zona geográfica se obtiene como diferencia entre el aporte anual de agua, constituido por las precipitaciones y las aportaciones de los ríos, acuíferos y trasvases de otras cuencas, y las pérdidas anuales de agua, o pérdidas irre recuperables, cuyo destino es la atmósfera o el mar. Cualquier actuación destinada a conservar agua y que consiga reducir esas pérdidas irre recuperables mejorará la disponibilidad de agua para su aprovechamiento a lo largo del año. Por este motivo, la regeneración y la reutilización del agua únicamente resultarán en un incremento real de los recursos hídricos aprovechables en una zona si esas aguas se pierden actualmente de forma irre recuperable, mediante su vertido al mar desde una población costera o a través de la evapotranspiración en zonas del interior. No obstante, la regeneración y la reutilización planificada del agua en zonas del interior permiten en cualquier caso una gestión más adecuada de los recursos hídricos disponibles.

La reutilización planificada del agua en general y para regadío en particular puede tener múltiples beneficios, entre los que cabe destacar los siguientes:

1. 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 destinarlos a usos más exigentes, como el abastecimiento público.

2. Una disminución de los costes de tratamiento y de vertido del agua depurada. La reutilización de un agua depurada ofrece una clara ventaja económica cuando los requisitos de calidad del tipo de reutilización considerada sean menos exigentes que los establecidos para el medio receptor en el que se ha de realizar el vertido del agua depurada.

3. Una 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. La reutilización del agua mediante el riego permite que las sustancias orgánicas difíciles de mineralizar puedan

ser degradadas biológicamente en el suelo, durante su infiltración a través del terreno de cultivo, ofreciendo la posibilidad de que sus componentes minerales serán posteriormente asimilados por las plantas.

4. El aplazamiento, la reducción o incluso la supresión de instalaciones adicionales de tratamiento de agua de abastecimiento, con la consiguiente reducción que ello representa tanto de los efectos desfavorables sobre los cursos naturales de agua como de los costes de abastecimiento de agua.

5. Un ahorro energético, al evitar la necesidad de aportes adicionales de agua desde zonas más alejadas a la de la planta de regeneración de agua.

6. Una reducción de las aportaciones de dióxido de carbono a la atmósfera, en razón de los menores consumos energéticos.

7. Un aprovechamiento de los elementos nutritivos contenidos en el agua, especialmente cuando el agua regenerada se utiliza para riego agrícola y de jardinería.

8. Una mayor garantía de suministro. Los flujos de agua depurada tienen una garantía mucho mayor que la mayoría de las fuentes naturales de agua, especialmente en zonas semi-áridas como las mediterráneas españolas. La estacionalidad de la población en las zonas costeras españolas hace que los mayores caudales de agua disponibles se registren precisamente durante la temporada estival, cuando se producen las mayores demandas de agua para riego.

En definitiva, la reutilización planificada del agua para riego agrícola ofrece una garantía de suministro muy superior a la de las fuentes convencionales, asegurando la disponibilidad de caudales especialmente durante la temporada estival, permite un aprovechamiento de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) contenidos en el agua regenerada y potencia una gestión más eficiente de los recursos hídricos, permitiendo que las aguas de calidad pre-potable puedan utilizarse para abastecimiento público.

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 unas normas de calidad del agua para cada uno de los posibles tipos de aprovechamientos que se contemplen. Entre la gran variedad de sustancias que se incorporan a un agua durante su utilización urbana, industrial o agrícola, cabe mencionar las sales disueltas, los elementos nutritivos, los microorganismos patógenos, las sustancias inorgánicas tóxicas y bioacumulables, y los microcontaminantes orgánicos.

Con objeto de obtener un agua regenerada de la mejor calidad posible, un criterio generalmente adoptado es recurrir a efluentes de carácter urbano, como primera alternativa, dejando los efluentes de tipo industrial sólo para casos excepcionales. Siguiendo este mismo criterio, la reutilización suele plantearse preferentemente con los caudales de aguas brutas que tienen una mayor componente de agua doméstica.

Para asegurar que a la planta de regeneración no llegan contaminantes imprevistos que puedan perjudicar o impedir el proyecto de reutilización, es esencial establecer un riguroso programa de control de vertidos, que incluya desde una ordenanza de vertido hasta un programa de educación ciudadana, todo ello con el fin de evitar la incorporación a la red de saneamiento de compuestos indeseables, tanto para la integridad de la propia red de alcantarillado como para el proceso de tratamiento o el proyecto de reutilización.

El transporte de agua regenerada desde la planta de tratamiento hasta el punto de reutilización es una exigencia de cualquier proyecto de reutilización. Esto requiere con frecuencia la construcción de un emisario terrestre y de una nueva o doble red de distribución, especialmente cuando se trata de reutilización en zonas que no disponían de una red de riego específica. Por motivos económicos, la implantación de esta red de distribución del agua regenerada suele realizarse de forma progresiva, empezando por los grupos de usuarios con mayor consumo total de agua

y extendiéndola después a nuevas zonas urbanas o con menores consumos de agua.

Las normas de utilización del agua regenerada son un componente esencial de cualquier estrategia de protección de la calidad ambiental y de la salud pública. En general, cuanto menores sean las restricciones impuestas al uso del agua, referidas al posible contacto con personas, animales o productos comestibles, mayor será el nivel de calidad exigido al agua regenerada. De este modo, mientras que la utilización de agua regenerada para riego de jardinería por aspersión en zonas de uso público suele exigir una filtración y una desinfección del efluente secundario, el riego agrícola mediante emisores enterrados puede realizarse con agua residual sometida únicamente a un tratamiento mecánico, destinado a evitar la obturación frecuente de los orificios de salida del agua.

Las autoridades sanitarias dedican especial atención a la definición de las normas de utilización del agua regenerada, tales como: 1) la señalización mediante carteles bien visibles que indiquen el tipo de agua utilizada, 2) la adopción normalizada del color morado para las conducciones y los dispositivos de control, 3) la instalación de dispositivos anti-retorno, 4) las inspecciones de las conexiones a la red de agua regenerada, 5) la exigencia de determinados horarios de riego y de tipos de aspersores, 6) la prohibición de instalar grifos exteriores, y 7) la utilización de tamaños de conducción y de bocas de conexión de mangueras diferentes a los utilizados para las aguas de abastecimiento público. A este respecto, la aparición progresiva de contadores en el punto de conexión del agua regenerada constituye una indicación clara del objetivo esencial de estos sistemas de distribución: la optimización del aprovechamiento del agua, en lugar de su evacuación y vertido mediante riego.

La señalización utilizada actualmente en estados como California y Florida transmite una percepción muy positiva y cotidiana de la reutilización, mediante anuncios tales como "Este sistema de riego (o de fluxores en los lavabos) utiliza agua regenerada, con objeto de ahorrar agua",

FIABILIDAD DEL PROCESO DE REGENERACIÓN

Una exigencia característica de los proyectos de regeneración de agua es la necesidad de asegurar una fiabilidad notable del proceso de tratamiento y una gestión adecuada del sistema de reutilización del agua. La circunstancia de que la reutilización del agua suele plantearse en muchos casos como la única fuente alternativa de agua para

el aprovechamiento considerado, sin la protección que la dilución con agua de mejor calidad pueda ofrecer, pero, sobre todo, el hecho de que la reutilización de un agua suele conllevar en muchos casos 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 de agua deba ser elevada y constituya un elemento esencial tanto de su concepción como de su explotación y mantenimiento.

La fiabilidad de los procesos de tratamiento pasa así a constituir un elemento esencial de la concepción y la explotación del sistema de reutilización, con prioridad sobre el rendimiento y la eficacia de los propios procesos, que han de satisfacer los límites de calidad establecidos para el efluente. Entre las exigencias relativas a la fiabilidad del proceso de regeneración cabe destacar la adopción de controles continuos de determinados parámetros, la instalación de alarmas y automatismos, la disponibilidad de piezas de recambio, la duplicidad de equipos y procesos, la existencia de equipos de entrada en funcionamiento automático en caso de avería, la existencia de volúmenes de reserva de reactivos, especialmente de desinfectante, y la instalación de equipos autogeneradores o la duplicidad de suministros de energía eléctrica.

Para evitar que la utilización de un agua inadecuadamente regenerada pueda provocar un riesgo ambiental o sanitario inaceptable, las normas de regeneración suelen exigir la instalación de lagunas de almacenamiento, donde desviar el efluente inadecuadamente tratado para su tratamien-

to posterior, o la provisión de un sistema alternativo de vertido por el que se puedan evacuar los efluentes que no satisfacen los límites de calidad del agua regenerada.

En definitiva, la regeneración del agua 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. La producción y la distribución de este producto deben plantearse en un marco más amplio que el tradicional de lucha contra la contaminación, y con una nueva mentalidad en la concepción y la explotación de los procesos de regeneración, diferente a la adoptada generalmente en la depuración del agua residual, cuyo resultado final suele considerarse un residuo líquido o sólido. Esta nueva forma de plantear la regeneración del agua ha hecho que la reutilización planificada del agua haya pasado a ser un elemento esencial de la gestión integrada de los recursos hídricos.

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

TIPOS DE REUTILIZACIÓN

El agua regenerada se viene empleando para múltiples usos, entre los que cabe destacar: 1) los usos urbanos (jardinería, incendios, lavado de calles y automóviles), 2) los usos industriales (refrigeración, lavado de vagones de ferrocarril), 3) el riego agrícola, forestal y de jardinería, 4) los usos ornamentales y recreativos, 5) la mejora y la preservación del medio natural, y 6) la recarga de acuíferos. La reutilización agrícola y de jardinería constituye el aprovechamiento más extendido del agua regenerada, tanto para cultivo hortícola (consumo directo) como para cultivos con procesamiento posterior, cereales, cítricos y viñedos, y tanto mediante riego por aspersión, micro-aspersión y goteo como por riego por inundación.

Atendiendo al posible contacto o ingestión del agua regenerada por parte de las personas, la reutilización se clasifica en: 1) reutilización para uso potable y 2) reutilización para uso no potable. La primera categoría incluye las utilidades en que el agua regenerada puede ser ingerida por las personas, 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 unas excelentes cotas de fiabilidad y de aceptación por parte de los usuarios y del público en

general. Esto es especialmente aplicable en países desarrollados, donde los recursos hídricos son limitados y la protección ambiental es una prioridad destacada.

Las Tablas 1, 2 y 3 resumen los caudales de agua regenerada en zonas tan dispares como el Consorci de la Costa Brava, en Girona, y los estados de California y Florida, en los EEUU. Como se puede observar en estas tablas, los caudales de agua regenerada anualmente son importantes. Aunque los porcentajes de reutilización en el ámbito de todo el estado de California se sitúan en torno al 10%, los porcentajes en el ámbito regional llegan a superar el 30%, especialmente en las zonas áridas del sur de California.

Tabla 1. Reutilización planificada de agua en el Consorci de la Costa Brava, con un caudal total de 5,4 hm³ en 2004 (20% de un total de 28 hm³).

Tipo de uso	%
Recarga de acuíferos	55
Usos ambientales	25
Riego campos de golf y jardinería	13
Riego agrícola	5
Riegos internos y urbanos no potables	2

Tabla 2. Reutilización planificada de agua en California, con un caudal total de 495 hm³/año en 2000 (330 hm³/año en 1987).

Tipo de uso	%
Riego agrícola	48
Riego de jardinería y ornamentales	20
Recarga de acuíferos	12
Restauración de hábitats	6
Reutilización industrial	5
Lagos recreativos	4
Barreras contra la intrusión	3
Otros usos	2

Tabla 3. Reutilización planificada de agua en Florida, con un caudal total de 810 hm³/año en 2001.

Tipo de uso	%
Riego agrícola	19
Riego a zonas de acceso público	44
Recarga de acuíferos	16
Reutilización industrial	15
Humedales y otros	6

TENDENCIAS ACTUALES

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 de restringir el alcance de la reutilización a los usos no potables que han venido desarrollando desde hace décadas. Este debate técnico, y necesariamente político en muchos casos prácticos, está haciendo olvidar con frecuencia una realidad incontestable: el gran éxito alcanzado por la reutilización para usos no potables en numerosos países del mundo y 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) o las Islas Canarias, en las que la reutilización planificada ha progresado de forma muy destacada desde los años 1980.

PROCESOS DE TRATAMIENTO

El proceso necesario para obtener un agua regenerada que satisfaga unos criterios de calidad similares a los propuestos por la USEPA (2004) para el riego de jardinería de zonas públicas, sin ningún tipo de restricción en cuanto a exposición y contacto del público con el agua regenerada, consta fundamentalmente de cuatro elementos principales:

1. La implantación de un control de vertidos a la red de saneamiento que asegure la ausencia de contaminantes que puedan hipotecar o impedir la reutilización del agua regenerada.

2. Un tratamiento biológico secundario capaz de producir un efluente con un contenido de materia en suspensión inferior a 10-20 mg MES/L y valores comparables de DB05.

3. Un tratamiento terciario destinado a eliminar la materia en suspensión del afluente secundario y desinfectar completamente el efluente. Este proceso de tratamiento constituye propiamente la fase de regeneración del agua. El proceso de regeneración puede adoptar alternativas que varían entre procesos naturales hasta procesos convencionales y muy tecnificados, y que pueden implantarse en instalaciones centralizadas o en otras descentralizadas y muy próximas al punto de uso.

4. Un depósito regulador de los caudales de agua regenerada, a fin de adecuar la producción de la planta a la demanda de uso, asegurando así una cierta reserva de agua regenerada.

En general, las plantas de regeneración de agua que utilizan efluentes municipales y cuyo producto está destinado a usos municipales (riego agrícola y de jardinería) e incluso industrial (refrigeración) suelen ser explotadas por los propios municipios, bien directamente o bien a través de una empresa de servicios. Estas plantas de regeneración guardan un gran parecido con las plantas potabilizadoras de agua, en cuanto que todo el personal está mentalizado sobre la necesidad de producir un agua de calidad satisfactoria y de aplicar medidas correctoras urgentes, ante cualquier alteración del proceso, para evitar que un agua de insuficiente calidad pueda salir de la planta de regeneración.

Generalmente, los municipios son los encargados de la distribución y la gestión del agua regenerada, que pasa así a constituir un nuevo servicio público de calidad. La coordinación y comunicación con los usuarios, tanto individuales como colectivos (comunidades de regantes, urbanizaciones, campos de golf), es muy directa y cordial,

a fin de detectar cualquier posible incidente y de disipar cualquier duda que pueda surgir. Por otra parte, la gestión diferenciada entre la entidad responsable de la depuración del agua y la entidad responsable de la regeneración del

agua ha proporcionado una solución bien aceptada y muy favorable en el proyecto de reutilización de Vitoria-Gasteiz (Del Río y col., 1996; comunicación personal, 2005).

LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Entre los avances más destacados conseguidos durante las últimas décadas sobre el conocimiento de los recursos hídricos de la biosfera cabe destacar dos: 1) el reconocimiento de la existencia de una relación cuantitativa y cualitativa entre las diferentes formas físicas en que se presentan los recursos hídricos y entre éstas y otros componentes de la biosfera, como el flujo de energía y los seres vivos y 2) la consideración del medio ambiente "per se" como un usuario legítimo de esos mismos recursos hídricos (DOCU, 2000; Mujeriego, 2005).

Los recursos hídricos están considerados actualmente como un conjunto de elementos relacionados entre sí y con todos los demás elementos de la biosfera; de este modo, una modificación puntual de uno de ellos genera una alteración de los restantes elementos, cuya actividad conjunta viene determinada por flujos de energía. Este planteamiento ha llevado a designarlos en su conjunto con el nombre de ecosistema acuático y también con la expresión de "ciclo del agua". Por otra parte, la consideración del agua como un elemento esencial del ecosistema que forma la biosfera, más allá de las utilidades que los seres humanos puedan hacer de esos recursos hídricos, ha llevado a nuevas concepciones de lo que debe ser una gestión más equilibrada de los recursos, como la que establece la Directiva Marco del agua (DOCU, 2000).

En este contexto, la gestión integrada de los recursos hídricos trata de definir una asignación armónica y equilibrada de los mismos entre los diferentes usos o aprovechamientos, teniendo en cuenta las relaciones existentes entre los diferentes componentes de esos recursos y en particular el papel determinante que el agua tiene para la preservación y la mejora del medio ambiente.

Para atender los aprovechamientos urbanos, agrícolas e industriales, y en cierto modo también para asegurar la preservación del medio ambiente, se dispone de diversas opciones con las que asegurar la garantía requerida. Las opciones disponibles en orden creciente de complejidad y de especificidad son: 1) la protección y mejora de las fuentes convencionales de agua, 2) el ahorro de agua, mediante su uso eficiente, 3) la regulación o el almacenamiento de volúmenes adicionales de agua, 4) el intercambio de recursos entre diferentes usuarios, 5) la regeneración y la reutilización planificada y 6) la desalación de aguas salobres y marinas.

La utilización de cualquiera de estos elementos de gestión requiere una valoración objetiva de sus beneficios, limitaciones y requisitos, de modo que sea posible alcanzar conclusiones bien justificadas y coherentes. En este proceso, los criterios de valoración ambiental, social y económica constituyen elementos básicos a tener en cuenta. Conviene resaltar que los resultados de esta valoración objetiva, de carácter eminentemente técnico, ofrecen un fundamento sólido a tener en cuenta en los posteriores planes, programas y políticas de recursos hídricos que establezcan las administraciones y los gobiernos.

La gestión integrada de los recursos hídricos se rige fundamentalmente por tres criterios operativos:

1. Diversificar las alternativas utilizadas, como forma de asegurar la garantía de la solución conjunta. El hecho de que las sociedades desarrolladas hayan alcanzado la explotación casi completa de los recursos hídricos más inmediatos o fáciles de desarrollar, hace con frecuencia que sea prácticamente inviable la obtención de soluciones "únicas" o "absolutas" a los retos actuales y que, por tanto, deba recurrirse a la aplicación de una serie coordinada de soluciones parciales que resuelvan conjuntamente el problema.
 2. Utilizar una combinación equilibrada tanto de infraestructuras como de formas de gestión que, con agilidad y flexibilidad, potencien la capacidad y las posibilidades de unas y otras para atender las ofertas y las demandas en el espacio y en el tiempo.
 3. Planificar sistemáticamente esas actuaciones, especialmente las infraestructuras, pero también las formas de gestión, de modo que sea posible asegurar tanto la consecución de sus objetivos técnicos y económicos como su debate, revisión y aceptación por parte de todos los usuarios, incluidos los encargados de la preservación y la mejora del medio ambiente.
- Normativas legales recientes como la Directiva Marco (DOCU, 2000) y las propuestas de organismos internacionales y de asociaciones profesionales (ACWA, 2005) enfatizan la importancia de estos tres criterios operativos.

El reciente plan de acción No Time to Waste, publicado por la Association of California Water Agencies (ACWA, 2005), ilustra el interés y el orden de prioridad de es-

tas alternativas de gestión. El Plan de Acción describe “una serie de actuaciones y de inversiones destinadas a resolver las necesidades de agua en California durante las próximas décadas, con objeto de que las autoridades estatales y federales puedan contribuir al desarrollo del sistema de abastecimiento de agua que California necesita para sustentar su población, sus puestos de trabajo y sus ecosistemas en el futuro” (ACWA, 2005).

Entre las recomendaciones clave de este Plan de Acción pueden destacarse: 1) la mejora de los sistemas de captación y abastecimiento de agua en el delta de los ríos Sacramento y San Joaquín, 2) la evaluación de los peligros a largo plazo que afectan a los diques de contención de los cauces de agua dulce en el delta, 3) la continuación de las tareas de protección de los sistemas estatales de abastecimiento de agua y del medio ambiente, 4) el desarrollo de capacidades adicionales de regulación de aguas subterráneas y superfi-

ciales, 5) el estímulo y la financiación de los esfuerzos realizados en el ámbito local para ampliar tanto la reutilización planificada del agua como el uso eficiente del agua y la desalación de aguas marinas y aguas de acuíferos salobres.

Como ejemplo de la similitud de las inquietudes que afectan a los redactores de este plan con las que encontraron los autores de la propuesta 2000 del Plan Hidrológico Nacional (MMA, 2000), puede indicarse que una de las limitaciones más significativas de los cauces españoles a finales de los 1990 era la falta de calidad del agua en tramos de río y en embalses, lo que dificultaba los posibles trasvases de aguas entre cuencas. A este respecto, las mejoras alcanzadas con la aplicación progresiva de los planes de saneamiento de las Comunidades Autónomas y el cumplimiento de los límites de vertido requeridos por la Directiva 91/271 (DOCU, 1991) han potenciado la implantación de una mejor gestión de los recursos hídricos.

REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA REGADÍO

Cada utilización o aprovechamiento de agua tiene unas exigencias de calidad físico-química, derivadas del destino directo o indirecto del agua utilizada. Así, el riego de parques y jardines conlleva unas exigencias de calidad físico-química del agua que permiten asegurar el normal desarrollo y mantenimiento de las especies vegetales que se desea regar. Entre los parámetros de calidad más evidentes aparecen la salinidad (medida generalmente en términos de su conductividad eléctrica), su contenido de cloruros o su contenido de boro. Estas limitaciones están claramente definidas en los manuales y estudios de riego agrícola y de jardinería, algunos de los cuales se han convertido en documentos de referencia en el campo del riego con agua regenerada (Asano, 1998; Mujeriego, 1990), y de las buenas prácticas de gestión de la jardinería y del cultivo agrícola en general (Sala y Millet, 1995). Los límites establecidos en estas normas no son generalmente estrictos y varían en función de las especies vegetales en cuestión. La experiencia agronómica disponible permite ajustar el uso del agua a las posibles oscilaciones de estos parámetros de calidad, sin por ello alterar significativamente la calidad de los cultivos regados.

Mientras que la existencia de redes secundarias de distribución de agua regenerada para regadío es muy limitada, o inexistente en Europa, la explotación de redes secundarias de este tipo de agua de riego es una práctica muy común en numerosos municipios de California, Florida, e incluso Japón, donde constituye una faceta cotidiana de los servicios de distribución de agua y saneamiento, y donde el público acepta e incluso promueve abiertamente esta práctica dentro de sus municipios. Las Jornadas sobre La Integración del

Agua Regenerada en la Gestión de los Recursos, celebradas en octubre de 2005 en Lloret de Mar, Girona (CCB, 2005), puso de manifiesto la existencia de este tipo de redes en la Mancomunidad del Sureste de Gran Canaria para aguas de riego así como los planes para implantarlas en la Costa del Sol Occidental para el riego de campos de golf.

Los criterios básicos que deben guiar la instalación y el mantenimiento de una red secundaria de distribución de agua regenerada (no potable) son: 1) asegurar que no se produce ninguna interconexión, accidental o de otro tipo, entre la red secundaria y la red de abastecimiento de agua potable, y 2) asegurar la estanqueidad de la red secundaria. La exigencia de evitar las interconexiones directas entre las conducciones de la red secundaria y la red de abastecimiento de agua potable, aparece como uno de los objetivos prioritarios de cualquier municipio en que exista tal duplicidad de redes de distribución de agua.

Los criterios adoptados por la industria del agua en los Estados Unidos de América para satisfacer estas exigencias han sido: 1) utilizar conducciones de calidad similar a las de la red de abastecimiento, aunque adoptando distintos tipos de valvulería en los puntos de uso domiciliario, y 2) codificar las conducciones de agua regenerada destinada a usos no potables dotándolas de un color diferenciado, el color rosa o morado, junto con una indicación impresa sobre la propia tubería en la que pueda leerse “agua regenerada”. Una codificación como ésta es actualmente común en los conductos de gas (amarillo), de agua potable (azul), o de agua acondicionada para la industria (verde). Además de esta codificación, los servicios municipales de

dichos Estados se ocupan de asegurar que las conexiones a los usuarios de la red de agua potable y de la red de agua regenerada para riego se realizan adecuadamente, evitando interconexiones accidentales.

La reutilización planificada de 495 hm³/año en California y de 810 hm³/año en Florida (Tablas 2 y 3) y en debi-

da proporción los 5,4 hm³/año reutilizados en la Costa Brava, son muestras elocuentes de los beneficios que el agua regenerada está aportando para el riego agrícola y de jardinería en particular, como elemento de una gestión integrada de los recursos en un contexto de déficit crónico y creciente de recursos.

REUTILIZACIÓN EN ZONAS COSTERAS

El desarrollo urbano, turístico y agrícola actual, especialmente en las zonas costeras españolas, conlleva un importante consumo de agua, tanto para satisfacer los consumos domésticos asociados como para atender las demandas de una creciente extensión de zonas ajardinadas y agrícolas que sirven de marco lúdico y comercial. La gestión de los recursos hídricos en esas condiciones se plantea con dos objetivos complementarios: 1) la utilización racional del agua, evitando los consumos excesivos, y 2) la reutilización del agua para usos no potables, especialmente la jardinería, la agricultura y la mejora ambiental, permitiendo la creación neta de nuevas dotaciones de agua y evitando el deterioro de las aguas costeras. Entre las actuaciones más acordes con cada uno de esos objetivos cabe citar, de una parte, la educación y la información ciudadana, la reglamentación y las tarifas progresivas y, de otra parte, la regeneración y la reutilización planificada del agua.

Las zonas costeras españolas se caracterizan por el relativo paralelismo entre las mayores producciones de agua depurada que se registran durante la temporada estival y la máxima demanda de agua para riego agrícola y de jardinería que se produce en esa misma estación. Al margen de las exigencias técnicas y financieras que esas

demandas estacionales plantean, tanto en el sistema de abastecimiento de agua como en el de tratamiento y vertido del agua depurada, la reutilización planificada del agua en zonas costeras ofrece claras ventajas económicas y ambientales en sus diversas alternativas: 1) riego de jardinería, con lo que ello conlleva de mejora de las condiciones de vida, del aspecto estético y del carácter lúdico de la zona, 2) riego agrícola, como fuente de recursos económicos de gran importancia estratégica, y 3) recarga de acuíferos costeros y de zonas húmedas, como forma de protección de recursos naturales de gran atractivo y valor ambiental.

Aunque la reutilización del agua en zonas del interior no permite la creación neta de nuevos recursos hídricos, sí ofrece la posibilidad de una mejor gestión del agua, mediante la sustitución de agua pre-potable de consumo público por agua regenerada para aquellos usos que no requieran agua pre-potable. Hay que resaltar además que una instalación de regeneración de agua para riego agrícola y de jardinería, o de otro tipo, en las zonas turísticas españolas se ha convertido en un estandarte tecnológico y de prestigio de primera magnitud en todo el sur de Europa y la región mediterránea, confiriéndole una posición de vanguardia en esta faceta de la gestión de los recursos hídricos.

COSTE DE LA REUTILIZACIÓN PLANIFICADA EN ESPAÑA

Las Jornadas Técnicas sobre Reutilización del Agua, organizadas por el Consorcio de la Costa Brava en octubre de 1985 en Castell-Platja D'Aro, constituyen uno de los hitos de la reutilización planificada en España. Las reflexiones y las experiencias planteadas allí por técnicos e investigadores de California, de Israel y de diversas comunidades autónomas españolas sirvieron de incentivo para que la regeneración y la reutilización del agua se haya convertido en un éxito real en numerosas zonas españolas, especialmente las de carácter semi-árido y árido de las zonas costeras.

Los estudios realizados desde 1985 por la Universidad Politécnica de Cataluña en colaboración con el Consorcio de la Costa Brava (CCB) y otras entidades públicas y

privadas, han permitido implantar un sistema de gestión del agua regenerada en el CCB que incluye (Mujeriego, 1998; Mujeriego y col., 1996a, 1996b): 1) un proceso de regeneración de agua basado en una desinfección con luz ultravioleta y cloro de un excelente efluente secundario, previamente filtrado en arena, 2) un seguimiento de la calidad del agua en los lagos ornamentales utilizados para almacenamiento y regulación del agua, y 3) un sistema de información sobre el contenido de nutrientes y salinidad del agua que permita optimizar la fertilización del campo de golf.

El sistema de regeneración y reutilización de agua para riego agrícola de Vitoria-Gasteiz (Diputación Foral de Ál-

va, 1995) se proyectó siguiendo la línea de tratamiento más exigente recomendada por el Título 22 del Código del Agua de California (Mujeriego, 1990) y está integrado por los procesos de coagulación-floculación, decantación, filtración con arena y desinfección con cloro líquido (2 horas de tiempo de contacto). El agua regenerada se utiliza para riego por aspersión de diversos cultivos, entre ellos algunos de consumo directo; el plan de riego desde el año 2005 abarca 10.000 ha de la Llanada Alavesa, y tiene como objetivo regar las parcelas por aspersión durante el verano, con una frecuencia de uno de cada tres veranos consecutivos. El modelo de gestión incluye la provisión del agua regenerada de excelente calidad (ausencia de coliformes fecales en 100 ml), así como información periódica sobre la salinidad del agua y su contenido de nutrientes, de modo que los agricultores puedan ajustar su plan de fertilización de manera adecuada.

La entrada en funcionamiento de diversos proyectos de reutilización para riego de jardinería en la Costa Brava, promovidas por el Consorcio de la Costa Brava, 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, con una capacidad para producir 35.000 m³/día de agua para riego sin restricción, marcaron una primera década de este proceso, cuyo logro principal fue documentar la capacidad personal y tecnológica de nuestras instalaciones para obtener un agua regenerada de calidad comparable a otros países pioneros, y de utilizarla de forma eficiente para

el riego de jardinería y de cultivos de consumo directo e industriales.

La terminación en el año 2004 del primer embalse regulador de aguas regeneradas, como parte del mismo proyecto de gestión integral del agua de Vitoria-Gasteiz, y la expansión de diversos proyectos de reutilización en la Costa Brava y otras zonas españolas, han marcado una segunda década de este proceso de desarrollo de la reutilización planificada, cuyo logro más destacado ha sido documentar el coste real de la regeneración y la reutilización del agua a un nivel de calidad y de gestión integrada comparable al de los países líderes en este campo. El coste de 0,06 euros/m³ estimado inicialmente en Vitoria-Gasteiz ha pasado a ser una referencia para otras comunidades autónomas, como indica su inclusión en los presupuestos de la Entitat de Sanejament d'Aigües de la Generalitat Valenciana (EPSAR, 2005). El embalse regulador de Vitoria-Gasteiz, con capacidad para 7 hm³ ha representado una inversión de la Diputación Foral de Álava de 13 millones de euros, equivalentes a 1,8 euros/m³.

Los datos más recientes facilitados por los responsables de la explotación de la planta de regeneración de agua de Vitoria (Julio López, comunicación personal, 2006) permiten establecer valores de referencia del coste del agua regenerada en España. La Tabla 4 resume los costes de amortización, y de explotación y mantenimiento de la planta de regeneración de agua de Vitoria-Gasteiz, con una capacidad de tratamiento de 35.000 m³/día.

Tabla 4. Costes de amortización y de explotación y mantenimiento del agua regenerada en la planta de Vitoria-Gasteiz, con capacidad de 35.000 m³/día, durante el verano de 2005.

Concepto	Contenido	Coste parcial, euro/m ³	Coste total, euro/m ³
Amortización	3,25 millones de euros	0,026	0,026
Reactivos	coagulante	0,010	0,016
	polielectrolito	0,001	
	desinfectante	0,005	
Energía	180 hp instalados	0,002	0,002
Personal	2 operarios	0,010	0,010
Mantenimiento preventivo	material de repuesto	0,005	0,005
Análisis de agua		0,003	0,003
Coste total			0,062

Las aportaciones de nitrógeno y de fósforo del agua regenerada contribuyen de forma efectiva a la fertilización de los cultivos, tanto agrícolas como de campos de golf. Esto requiere una atención especial de los explotadores, que les permita reducir las aportaciones externas de fertilizantes

y evitar así una fertilización excesiva, con los consiguientes perjuicios que ello ocasionaría tanto para el cultivo como para el suelo y los acuíferos. El aprovechamiento del contenido fertilizante del agua regenerada resulta en un ahorro del coste del agua regenerada, que en el caso de un

campo de golf puede cifrarse entre 18.000 a 24.000 euros anuales (Sala y Millet, 1995; Mujeriego y col., 1996a).

La práctica totalidad de los proyectos de reutilización planificada del agua que se han ido implantando en el territorio peninsular han sido promovidos por los propios usuarios, motivados por la necesidad coyuntural de agua. Todos estos proyectos han sido realizados en ausencia de un marco regulador que defina la titularidad del recurso, el régimen económico y financiero (ayudas y cánones), las responsabilidades contractuales, la fiabilidad del proceso y la calidad del agua exigible para cada aprovechamiento, en razón de la ausencia de criterios oficiales de calidad y de requisitos de uso.

Al margen del éxito alcanzado, el factor limitante de la expansión de estos proyectos 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 y de campos de golf. Parece evidente que el objetivo a conseguir en la tercera década que se inicia en el 2005 habrá de ser conseguir 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.

El plan de reutilización integral de Vitoria-Gasteiz ofrece un marco de referencia casi ideal para evaluar las implicaciones económicas que la reutilización planificada del agua comporta:

1. Unos costes anuales de explotación y mantenimiento de la planta de regeneración cifrados en 0,4 millones de euros, para producir 12,5 hm³ anuales de agua regenerada con calidad adecuada para riego sin restricciones.
2. Una inversión de 3,25 millones de euros para construir la planta de regeneración de agua, con una capacidad de 35.000 m³/día (400 L/s).
3. Una inversión de 28 millones de euros para sufragar la construcción de una red de riego de nueva planta para distribuir el agua en 10.000 ha, incluyendo los bombeos y un embalse regulador de 7 hm³ (inversión específica de 13 millones de euros) para almacenar agua regenerada durante el invierno con la que poder regar durante el verano.

Como ilustran estas cifras, las mayores exigencias económicas están asociadas a la reutilización (distribución al usua-

rio), mientras que el coste de la planta de regeneración y sobre todo los costes de explotación y mantenimiento (la regeneración del agua) son comparativamente mucho menores. Esta reflexión permite anticipar que las mejoras en la calidad del agua regenerada, hasta alcanzar unos niveles que permitan el riego sin restricción, son de escasa significación relativa cuando se plantea un proyecto de reutilización planificada con una cierta visión de futuro, en consonancia con los niveles de protección ambiental y de salud pública propios de una sociedad como del siglo XXI en España.

La Tabla 5 resume los costes de inversión y de consumo energético que conllevan actualmente la regeneración de agua, la regulación en embalses en derivación y la desalación de agua marina. Los valores indicados para la regeneración de agua corresponden a unos niveles de calidad adecuados para su utilización en riego agrícola y de jardinería, con calidad suficiente para asegurar unos niveles de protección ambiental y de salud pública comparables a los asociados con el uso de agua potable y capaces por tanto de ser utilizada sin restricción respecto al posible contacto del agua con el público.

La Tabla 5 muestra el incremento de los costes de inversión a medida que se pasa de la regeneración a la regulación y a la desalación. 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 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 de estas tres alternativas marca igualmente una clara distinción entre ellas. Mientras que la regeneración tiene unos consumos unitarios inferiores a 1 kWh/m³, la desalación de agua marina alcanza normalmente valores próximos a 4 kWh/m³. Al margen del coste económico que esto representa, conviene tener en cuenta también el impacto ambiental que esos niveles de consumo eléctrico conlleva. Considerando que la aportación media de dióxido de carbono se sitúa en torno a 460 g/kWh producido en España y que el derecho de emisión de dióxido de carbono se sitúa actualmente en unos 20 euros por tonelada, cada kWh consumido en España añade un coste ambiental adicional de 0,01 euros/m³ al agua regenerada y de 0,04 euros/m³ al agua marina desalada.

La Tabla 5 no incluye valores del consumo energético para el caso de la regulación superficial o subterránea, pues es

muy variable dependiendo de las circunstancias. Cuando la recarga de acuíferos se hace por infiltración, la energía necesaria para la introducción del agua puede ser insigni-

ficante, mientras que su extracción puede tener ventajas para los usuarios, pues el nivel de los pozos será superior al que tenían antes de la recarga.

Tabla 5. Costes de inversión y de consumo energético de diversos elementos de gestión de los recursos hídricos. Consorcio Costa Brava, 2001-2004 (Sala y col., 2004), California, 2000, Palma de Mallorca, 2001 y Vitoria, 2004.

Alternativa	Inversión, euros/m3-anual	Amortización, años	Consumo, kWh/m3
Amortización	0,26 (Vitoria)	15 - 25	0,001- 0,73 (CCB)
Reactivos	1,8 (Vitoria) 2,0 dólares (California)	> 100	-
Energía	0,83 dólares (California)	25	-
Desalación agua marina (Blanes, Carboneras, futuro Barcelona, Palma de Mallorca)	3,0 - 4,0	5 (membranas) 25 (instalaciones)	3,8 - 4,0

La Tabla 6 resume los consumos energéticos medios de los procesos comúnmente utilizados para la potabilización, la depuración y la regeneración de agua en las instalaciones del Consorcio de la Costa Brava, a partir de aguas superficiales. La Tabla 2 también incluye los valores correspondientes a la desalación de agua marina de la planta de Blanes, con una capacidad de 20.000 m3/día. Los valores indican el aumento que se registra, de forma significativa en ciertos casos, cuando se incorporan los consumos asociados con todas las operaciones

adicionales al tratamiento propiamente dicho. Los valores resultantes indican que los consumos correspondientes a la potabilización, la depuración y la regeneración son similares entre sí, oscilando entre unos máximos de 1,1 a 1,7 kWh/m3. El hecho de que la distribución de agua potable haya de asegurar unas presiones mínimas en zonas urbanas de diferentes alturas, comporta unos consumos más elevados. El saneamiento se efectúa generalmente por gravedad (con bombeos periódicos) y comporta unos consumos menores.

Tabla 6. Consumo energético, en kWh/m3, de los procesos de tratamiento y de suministro de agua en el Consorcio de la Costa Brava, 2001-04 (Sala y col., 2004).

Proceso de tratamiento	Tratamiento exclusivamente	Captación, tratamiento e impulsión
Potabilización	< 0,17	0,15 - 1,7
Depuración	0,30 - 0,90	0,38 - 1,1
Regeneración	0,001 - 0,73	0,001 - 1,3
Desalación (Blanes y futuro Barcelona)	3,8 - 4,0	4,9 - 5,4 (Blanes)

GESTIÓN ECONÓMICA DEL AGUA REGENERADA

Los episodios de sequía plantean con frecuencia 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 a la falta de recursos convencionales. La prioridad que la reglamentación española asigna al consumo humano sobre otros usos ha hecho que la gestión de las medidas para mitigar los efectos de la sequía registrada durante el año 2005 en España, y particularmente en determinadas comunidades autónomas como Cataluña,

Valencia, Murcia, Andalucía y Madrid, haya suscitado intensos debates entre los usuarios urbanos y agrícolas del agua, a la vez que ha propiciado un renovado interés por la reutilización planificada del agua como forma de resolver los déficits coyunturales o permanentes de agua.

El establecimiento del precio y del coste del agua regenerada es un proceso determinante de la operatividad y el éxito de cualquier programa de reutilización planificada de agua. Este proceso es complejo, debido fundamental-

mente a que suele ser más costoso suministrar agua regenerada que mantener un abastecimiento de agua potable, a pesar de que el agua regenerada tiene una calidad inferior a la del agua potable (Cuthbert y Hajnosz, 1999). Mientras que los costes de abastecimiento de agua potable suelen estar basados en inversiones pasadas, y en gran parte amortizadas, los proyectos de suministro de agua regenerada han de enfrentarse a unas inversiones y a 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 al del agua de abastecimiento público.

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, los beneficios aportados a largo plazo por la utilización del agua regenerada hacen que numerosos servicios públicos de abastecimiento de agua y de suministro de agua de riego estén promoviendo su utilización.

La gestión económica de la reutilización planificada se presenta especialmente compleja y difícil en poblaciones como las de los Estados Unidos de América, donde es muy frecuente que la gestión del ciclo del agua la realicen separadamente dos instituciones con objetivos independientes: 1) entidades dedicadas al abastecimiento de agua (Water Districts), cuyo objetivo es promover nuevos recursos, y 2) entidades dedicadas al saneamiento del agua (Sanitation Districts), cuyo objetivo es gestionar la depuración y el vertido de los efluentes.

La reutilización planificada del agua adquiere una nueva dimensión cuando se contempla desde un punto de vista más amplio que el tradicional (entidades diferentes que gestionan una parte del ciclo del agua), teniendo en cuenta, entre otros factores, las posibilidades del sistema de regeneración de agua para: 1) evitar los mayores costes de nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable, siempre que éstas sean realmente posibles, y 2) evitar los mayores costes que pueden representar las mejoras en la depuración y el vertido requeridas por nuevas limitaciones sanitarias y ambientales. Un ejemplo emblemático de esta situación es el proyecto Groundwater Replenishment System, promovido a partes iguales por el Orange County Water District y el Orange County Sanitation District, con objeto de regenerar y reutilizar 90 hm³ de agua anualmente que, con un presupuesto total de 427 millones de dólares, se inició en

el año 2003 y debe entrar en servicio a principios de 2007 (Mujeriego, 2004; OCWD.com; OCSD.com).

La gestión del ciclo del agua en el contexto de una cuenca hidrográfica, tal como se ha venido aplicando tradicionalmente en España y como la Directiva Marco del Agua propugna en Europa, ofrece un marco excelente y mucho más favorable para llevar a cabo una gestión integrada de los recursos hídricos, en la que los requisitos económicos y financieros de la reutilización planificada pasan a ser un elemento más a tener en cuenta dentro del balance general de costes y beneficios de la cuenca. La creación de los Organismos de Cuenca, como 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 a nuevas y costosas fuentes de abastecimiento de agua potable. El desarrollo reglamentario del Dominio Público Hidráulico y la posibilidad de implantar Centros de Intercambio de Derechos 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 planificada cabe resaltar la mayor disponibilidad de agua pre-potable que ello conlleva, cuando se sustituye por agua regenerada, y la mayor garantía de los suministros de agua regenerada para riego, que permite mitigar o suprimir las restricciones de riego que habrían de aplicarse durante periodos secos, evitando las enormes pérdidas que los periodos de sequía meteorológica comportan usualmente. Si a esto se unen 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 diferentes usuarios, así como una mayor garantía de esos mismos recursos.

En realidad, los intercambios de recursos entre usuarios vienen teniendo lugar en zonas mediterráneas españolas desde tiempo inmemorial, aunque las sequías recientes y el aumento de los consumos urbanos y agrícolas de las últimas décadas los hayan hecho más frecuentes. Estas cesiones de recursos entre usuarios agrícolas, y entre usuarios agrícolas y urbanos vienen propiciadas por su capacidad de 1) mantener inalterados los derechos concesionales, y 2) aportar beneficios a todos los partícipes. Cabe pensar por tanto que, si los Centros de Intercambio de Derechos del Uso del Agua permiten establecer formas contractuales que respondan de forma adecuada a esas dos inquietudes de los usuarios, los intercambios serán una realidad cada vez más frecuente y mejor planificada.

PROPUESTAS DE GESTIÓN

Entre las propuestas de gestión en las que la reutilización planificada está contribuyendo a mejorar la gestión integrada de los recursos, ofreciendo una mayor garantía de suministro a los usuarios, pueden mencionarse las siguientes:

1. La sustitución de aguas pre-potables por aguas regeneradas. Considerando que el coste marginal de las aguas pre-potables en un contexto de déficit suele ser considerablemente superior al del agua regenerada, y también al del agua pre-potable disponible convencionalmente, el cambio podría hacerse tomando como referencia el coste del agua pre-potable que se libera, de modo que el concesionario inicial pudiera implantar el riego con agua regenerada (producción y distribución) sin costes adicionales. En general, el coste marginal considerablemente mayor de las aguas pre-potables liberadas permitiría sufragar los costes de producción y de conexión a la red de riego existente. El concesionario inicial recibiría un agua regenerada de calidad comparable a la disponible, que satisface sus necesidades y que tiene unas garantías de suministro muy superiores. El usuario urbano obtendría una fuente adicional de agua pre-potable de gran valor. La garantía de suministro ha sido uno de los factores determinantes de este tipo de intercambios en estados con concesiones privadas de agua como California, donde ha propiciado incluso el uso para refrigeración industrial. Existen numerosas referencias básicas sobre el uso del agua regenerada para riego agrícola, entre las que cabe destacar la editada por Pettygrove y Asano en 1984 (California State Water Resources Control Board) y traducida al español (Mujeriego, 1990).

2. La aportación de agua regenerada para regadíos infra-dotados o nuevos regadíos. El régimen económico y financiero de estas concesiones puede plantearse en el marco general de las alternativas disponibles, de modo que el beneficiario sufrague el coste del proyecto, siguiendo unas pautas similares a las aplicadas a los usuarios de recursos convencionales. Aunque el coste de producción del agua regenerada es generalmente inferior al del agua potable convencional, la implantación de un conducto específico para su transporte hasta el punto de uso puede representar un coste adicional importante. No obstante, si la conducción de distribución ya existe, como puede ser el caso de los riegos infradotados, ese componente del coste se limitará a sufragar las instalaciones de conexión entre la planta de regeneración y la red de distribución de agua de riego.

3. La recarga artificial de acuíferos con aguas regeneradas. El Groundwater Replenishment System del Orange County Water District y Orange County Sanitation District repre-

senta el proyecto más emblemático y de mayor envergadura del mundo, con una producción anual de 90 hm³ de agua. La recarga de un acuífero potable contará con 47 hm³, mientras que los restantes 43 hm³ se utilizarán para alimentar la barrera contra la intrusión salina de ese mismo acuífero. El coste del agua regenerada en los puntos de infiltración e inyección se sitúa próxima a 0,40 dólares/m³, que es el precio máximo actual de las aguas superficiales disponibles en esa zona para esos mismos usos.

Otras opciones de gestión integrada del agua que se están implantando, al margen o en coordinación con el uso de agua regenerada, son las siguientes:

1. La rehabilitación de los sistemas de riego agrícola (mejora de su eficiencia) a cambio de una fracción del agua ahorrada mediante esas medidas. Este planteamiento ya ha sido aplicado en España, siendo el Plan Delta en el río Ebro uno de los más recientes y más emblemáticos (Consorti d'Aigües de Tarragona, 1995). El revestimiento y mejora de 197 km de canales de riego, junto con la rehabilitación de instalaciones auxiliares, con un presupuesto total de 140 millones de euros en el año 2000 permitió ahorrar 12 m³/s de agua que se infiltraban por los canales de riego, de los cuales el Consorti d'Aigües de Tarragona recibió una concesión de 4 m³/s, equivalentes a 126 hm³ anuales. En definitiva, una inversión de 1,10 euros/m³ permitió obtener una nueva concesión de agua pre-potable.

El Imperial Irrigation District del sur de California (www.iid.com) acaba de publicar una nota de prensa con una actuación similar para impermeabilizar 23 millas del All-American Canal, que le suministra 3.800 hm³ de agua del río Colorado. El acuerdo consiste en que la Autoridad del Agua del Condado de San Diego pague 135,56 millones de dólares para revestir 37 km del canal, a cambio de recuperar 83,5 hm³ de agua que se infiltran actualmente por el lecho de tierra del Canal. En definitiva, una inversión de 1,62 dólares/m³ permitirá obtener una nueva concesión de agua pre-potable durante toda la duración del acuerdo. Hay que resaltar que esta iniciativa tiene lugar en un contexto de crecimiento urbano, de escasas precipitaciones y de sequías plurianuales como el del sur de California, donde el precio del agua pre-potable en alta se sitúa entre 0,35-0,45 dólares/m³.

2. La recarga artificial de acuíferos como forma de regular los recursos de aguas superficiales. Aunque la recarga artificial de acuíferos ha sido ampliamente estudiada y debatida en España (ITGE, 2000), sólo ha alcanzado una aplicación limitada, incluso tras los episodios de sequía

y escasez de recursos experimentados durante las últimas décadas en diversas zonas del país. Como ejemplo del potencial que ofrece este elemento de gestión, puede citarse el caso de Metropolitan Water District del Sur de California (MWD; www.mwdh2o.com), distribuidor en alta de agua de abastecimiento para 18 millones de habitantes del sur de California. El MWD ha venido estableciendo durante la última década acuerdos con un total de 6 municipios y comunidades de regantes dotadas de acuíferos, mediante los cuales ha conseguido dotarse de una capacidad de regulación de 230 hm³, ligeramente superior a la capacidad del Lake Matthews, el segundo embalse por capacidad del sur de California. El acuerdo más reciente ha sido establecido en febrero de 2005 con la ciudad de Compton, tiene una duración de 25 años y contempla la posibilidad de infiltrar hasta 2,8 hm³ de agua excedente del trasvase Sacramento-Los Ángeles, a cambio de una aportación de 2,42 millones de dólares, destinada a la rehabilitación de las tuberías y los pozos utilizados por la ciudad para la gestión de su abastecimiento a partir del acuífero en cuestión. Este acuerdo representa una inversión unitaria de 0,86 dólares por m³ de capacidad de regulación, amortizables en 25 años.

Para las comunidades de regantes, estos acuerdos han significado notables beneficios, entre los que cabe destacar: 1) una mayor garantía de sus disponibilidades de agua (disponen de un agua en depósito que pueden utilizar de forma reglamentada), 2) una menor profundidad de bombeo, en cuanto los niveles piezométricos suben con el mayor volumen de agua almacenada, y 3) una mejora de sus instalaciones, mediante las inversiones directas y los fondos en efectivo que MWD aporta con el acuerdo. Hay que resaltar que estos acuerdos necesitan generalmente de un trabajo laborioso y largo para su elaboración, pero avanzan de forma planificada.

La experiencia obtenida en diferentes zonas del mundo con déficits estacionales o permanentes de agua para

usos agrícolas, de jardinería y urbanos, ofrece una amplia variedad de instrumentos técnicos, económicos, financieros y de gestión, capaces de resolver las fuertes tensiones que se producen entre ellos durante los episodios de sequía hidrológica que se han venido registrando, y cuando tratan de atender las exigencias ambientales definidas por la Directiva Marco del Agua.

La consecución de un gran acuerdo marco entre los usuarios agrícolas y los urbanos, en un contexto de gestión integrada del agua como el que ofrecen los Organismos de Cuenca, mediante instrumentos reglamentarios como los Centros de Intercambio de Derechos del Uso del Agua, o de otros que se puedan establecer, constituye una vía muy favorable para satisfacer las necesidades de agua pre-potable 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 a las inquietudes de calidad y de garantía de suministro del agua de riego, a la vez que a los intereses económicos de los concesionarios, ofrece a la agricultura de regadío una alternativa práctica de enorme interés para resolver los retos que se le plantean ante el déficit de recursos, especialmente en las zonas costeras, a la vez que un respaldo reglamentario ante las exigencias de calidad de los productos cultivados con ellas.

Las iniciativas y el impulso de las administraciones públicas, especialmente las responsables de la gestión del dominio público hidráulico, conjuntamente con los propios agricultores, han sido determinantes de los éxitos alcanzados en este campo, tanto en diversas zonas españolas como en zonas áridas y semi-áridas de países desarrollados con una gran vocación agrícola como California o de jardinería como Florida.

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, tanto para su reutilización en riego agrícola y de jardinería como para su infiltración y almacenamiento en acuíferos.

El progreso de la regeneración y la reutilización planifica-

da del agua no depende únicamente de los avances tecnológicos. La existencia de un marco legal y reglamentario sólido y de una voluntad política decidida son factores determinantes del desarrollo de la reutilización. La gestión de todo el proceso, desde la planificación del proyecto y su información pública hasta la explotación y el mantenimiento de las instalaciones, juega un papel determinante del éxito de un proyecto de reutilización planificada.

2. La reutilización planificada del agua para riego agrícola ofrece una garantía de suministro muy superior a la de las fuentes convencionales, asegurando la disponibilidad

de caudales especialmente durante la temporada estival, permite un aprovechamiento de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) contenidos en el agua regenerada y potencia una gestión más eficiente de los recursos hídricos, permitiendo que las aguas de calidad pre-potable puedan utilizarse para abastecimiento público.

La reutilización agrícola y de jardinería constituye el aprovechamiento más extendido del agua regenerada en áreas desarrolladas con gran vocación agrícola como California (68% de 495 hm³/año en 2000) y de jardinería como Florida (63% de 810 hm³/año en 2001), caracterizadas por un déficit crónico y creciente de recursos hídricos, de forma regional o estacional. Los usos del agua regenerada incluyen tanto cultivos hortícolas como cultivos con procesamiento posterior, cereales, cítricos y viñedos, que se riegan tanto por aspersión, micro-aspersión y goteo como por inundación.

3. La gestión del ciclo del agua en el contexto de una cuenca hidrográfica ofrece un marco excelente y muy favorable para llevar a cabo una gestión integrada de los recursos hídricos, en la que los requisitos económicos y financieros de la reutilización planificada pasan a ser un elemento más a tener en cuenta dentro del balance de costes y beneficios de la cuenca.

Entre las propuestas de gestión en que la reutilización planificada está contribuyendo a una mejor gestión integrada del agua figuran:

1. La sustitución de aguas pre-potables por aguas regeneradas.
2. La aportación de agua regenerada para regadíos infra-dotados o nuevos regadíos.
3. La recarga artificial de acuíferos con aguas regeneradas. Otras opciones de gestión que se están aplicando, al margen o en coordinación con el uso de agua regenerada, son:
4. La rehabilitación de sistemas de riego agrícola (mejora de su eficiencia) a cambio de una fracción del agua ahorrada mediante esas medidas.
5. La recarga artificial de acuíferos, como forma de regular los recursos de aguas superficiales.
4. El valor de referencia del coste del agua regenerada en España se sitúa en torno a 0,06 euros/m³ a la salida de la

planta, incluyendo gastos de amortización y de explotación y mantenimiento. A este valor hay que añadir los costes de impulsión y de distribución mediante la red de riego. Las mayores exigencias económicas están asociadas a la reutilización (distribución al usuario), mientras que los costes de amortización de la planta de regeneración y sobre todo los costes de explotación y mantenimiento (la regeneración del agua) son comparativamente mucho menores.

El coste del agua regenerada para regadío, en el caso de una sustitución por aguas pre-potables, podría hacerse tomando como referencia el coste del agua pre-potable que se libera, de modo que el concesionario inicial podría implantar el riego con agua regenerada (producción y distribución) sin costes adicionales. En general, el coste marginal considerablemente mayor de las aguas pre-potables liberadas permitiría sufragar los costes de producción y de conexión a la red de riego existente. El coste del agua regenerada suministrada para nuevos regadíos, regadíos infra-dotados y recargas de acuíferos sobre-explotados, habría de plantearse en el marco general de las alternativas disponibles, siguiendo pautas similares a las aplicadas a las fuentes convencionales de suministro.

5. La consecución de un gran acuerdo marco entre los usuarios agrícolas y los urbanos, en un contexto de gestión integrada del agua como el que ofrecen los Organismos de Cuenca, mediante instrumentos reglamentarios como los Centros de Intercambio de Derechos del Uso del Agua, o de otros que se puedan establecer, constituye una vía muy favorable para satisfacer las necesidades de agua pre-potable 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 a las inquietudes de calidad y de garantía de suministro del agua de riego, a la vez que a los intereses económicos de los concesionarios, ofrece a la agricultura de regadío una alternativa práctica de enorme interés para resolver los retos que le plantea el déficit de recursos, especialmente en las zonas costeras, a la vez que un respaldo reglamentario ante las exigencias de calidad de los productos cultivados con ellas.

AGRADECIMIENTOS

Los estudios y experiencias documentados en esta ponencia han sido posibles gracias a la colaboración y apoyo económico que diversas instituciones públicas nos han brindado desde 1985, entre la que merecen ser destacadas el Consorci de la Costa Brava, la antigua Junta de

Sanejament de la Generalitat de Catalunya, la Agència Catalana de l'Aigua, la Diputació Foral de Álava, la Comunidad de Regantes Arrato, el Ministerio de Educación y Ciencia, y la Fundación del Instituto Euromediterráneo de Hidrotecnia.

REFERENCIAS

- Asano, T. (Editor) (1998). Wastewater Reclamation and Reuse. Water quality management library, Vol. 10. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster, PA, USA.
- Association of California Water Agencies (ACWA) (2005). No Time to Waste, A Blueprint for California Water. www.acwa.com. Sacramento, California.
- Consorci d'Aigües de Tarragona (1995). El Plan Delta. www.ccaait.com.
- Consorci de la Costa Brava (2005). Actas de las Jornadas Técnicas sobre La Integración del Agua Regenerada en la Gestión de los Recursos: el Papel Dinamizador del Territorio. Lloret de Mar, octubre de 2005. www.ccbgi.org/jornades2005.
- Cuthbert, R.W. y Hajnosz, A.M. (1999). Setting reclaimed water rates. *Journal of the American Water Works Association*, Vol. 91, no. 8, pág. 50-57.
- Del Río, F., López, J. y de Juana, I. (1996). Reutilización del agua residual, experiencias prácticas en Vitoria. Comunicación presentada en las XVII Jornadas de la Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento.
- Diario Oficial de las Comunidades Europeas (1991). Directiva 91/271/CEE del Consejo sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. L135/40-52.
- 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.
- Diputación Foral de Álava, Gobierno Vasco y Aguas Municipales de Vitoria (1995). Plan de Recuperación y Reutilización Integral de las Aguas Residuales de Vitoria-Gasteiz. Diputación Foral de Álava, Vitoria.
- Entitat de Sanejament d'Aigües (2005). Gestión actual y reutilización de las aguas residuales en la Comunidad Valenciana. Curso de Verano de la Fundació Caixa de Castelló-Universitat Jaume I. Castellón.
- Instituto Tecnológico Geominero de España (2000). Identificación de Acciones y Programación de Actividades de Recarga Artificial de Acuíferos en las Cuencas Intercomunitarias. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente (2000). Propuesta de Plan Hidrológico Nacional. Madrid.
- Mujeriego (2005). La reutilización, la regulación y la desalación de agua. *Ingeniería y Territorio*, No. 72. ISSN: 1695-9647. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. www.ciccp.es/revistait/
- Mujeriego, R. (2004). La gestión del agua en el sur de California. *Ambienta*, no. 38, noviembre de 2004, pág. 31-38. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. www.mma.es/publicacion/ambienta/
- Mujeriego, R. (1998). Evolución y perspectiva de la reutilización de aguas en España. La Gestió de L'Aigua Regenerada. Editado por R. Mujeriego y L. Sala, Consorci de la Costa Brava, Girona.
- Mujeriego, R. (Editor) (1990). Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Mujeriego, R., Sala, L., Sala, J. y Martínez, S. (1996a). Gestión del Agua Residual Regenerada Utilizada para Regar el Campo de Golf Mas Nou. Séptima Memoria Anual. Sección de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Mujeriego, R., Sala, L., Carbó, M. y Turet, J. (1996b). Agronomic and Public Health Assessment of Reclaimed Water Quality for Landscape Irrigation. *Water Science and Technology*, Vol 33, No. 10-11, pág. 335-344. IAWQ, Pergamon Press.
- Organización Mundial de la Salud (1989). Directrices Sanitarias sobre el Uso de Aguas Residuales en Agricultura y Acuicultura. Serie de informes técnicos 778. Ginebra, Suiza.
- Sala, L. y Serra, M. (2004). Towards Sustainability in water recycling, *Water Science and Technology*, vol. 50, no. 2, 1-8.
- Sala, L. y Millet, X. (1995). Aspectos básicos de la reutilización de las aguas residuales regeneradas para el riego de campos de golf. Jornadas Técnicas de la Federación Española de Golf. Madrid. Publicado por el Consorcio de la Costa Brava, Girona, en 1997.
- United States Environmental Protection Agency and United States Agency for International Development (2004). Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-04/108, September 2004. Office of Water, Washington, D.C., y Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio.

ORGANIZADORES:



PATROCINADORES:

