

LA REUTILIZACIÓN, LA REGULACIÓN Y LA DESALACIÓN EN LA GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA

Rafael Mujeriego Saahuquillo
Universidad Politécnica de Cataluña

Resumen

Este artículo analiza el papel que la reutilización planificada, la regulación y la desalación tienen en la gestión integrada de los recursos hídricos, especialmente en zonas con déficits estacionales o permanentes de agua. La reutilización planificada del agua es un componente esencial de la gestión integrada de los recursos hídricos, pues contribuye al aumento neto de dichos recursos, tanto para reutilización en riego agrícola y de jardinería como para infiltración y almacenamiento en acuíferos. La existencia de un marco legal y reglamentario sólido y de una voluntad política decidida de llevarla a cabo son factores determinantes del desarrollo de la reutilización del agua. La reutilización planificada del agua para riego agrícola ofrece una garantía de suministro muy superior a la de las fuentes convencionales, ya que asegura la disponibilidad de caudales especialmente durante la temporada estival. La gestión del ciclo del agua en el contexto de una cuenca hidrográfica ofrece un marco muy favorable para la gestión integrada de los recursos hídricos. El 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. La consecución de un gran acuerdo marco entre los usuarios agrícolas y los urbanos es una vía muy favorable para satisfacer las necesidades de agua pre-potable para abastecimiento público y de agua de riego para agricultura y jardinería. España dispone de proyectos emblemáticos de regeneración y de reutilización de agua que son objeto de un creciente interés tanto nacional como internacional. La desalación de agua es una alternativa técnica bien consolidada. Aunque no es en estos momentos una solución definitiva a los problemas del agua, sí está convirtiéndose en un elemento básico de la gestión de los recursos hídricos. La faceta económica es uno de los factores más importantes y determinantes del éxito y del alcance de la desalación. La reutilización planificada y la desalación de agua tienen varios elementos en común, especialmente la conveniencia de establecer un acuerdo contractual entre los responsables de la producción de agua regenerada o desalada y los futuros utilizadores de ese agua.

1. 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 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 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 este artículo es analizar el papel que la reutilización planificada, la regulación y la desalación tienen en la gestión integrada de los recursos hídricos, especialmente en como forma de armonizar los consumos urbanos y los consumos de riego agrícola y de jardinería en zonas costeras españolas, caracterizadas por déficits estacionales o permanentes de agua. Los objetivos específicos de este artículo 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) analizar las posibilidades del agua regenerada para satisfacer las demandas de agua de riego, 6) examinar las estrategias contractuales y económicas con que se plantea la utilización del agua regenerada, 7) valorar el papel de la reutilización en la gestión integrada de los recursos hídricos, 8) analizar el potencial y las exigencias de la regulación y la desalación, como opciones adicionales y complementarias de gestión, 9) valora los beneficios y exigencias de la desalación de agua, y 10) realizar un análisis comparativo de los tres elementos de gestión, con especial interés en su capacidad para mejorar la gestión de los recursos necesarios en zonas costeras españolas.

2. 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 son generalmente las facetas más discutidas de todo programa de reutilización, debido a la dificultad de establecer una relación causal entre la calidad del agua y sus 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 para la reutilización del agua (USEPA, 2004; OMS, 2006).

3. BENEFICIOS DE LA REUTILIZACIÓN PLANIFICADA

El balance hídrico 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 transvases 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 ahorrar 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 por 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. (Mujeriego, 1990).

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

- Una nueva fuente de suministro de agua, capaz de aportar recursos hídricos adicionales, bien sea como recursos netos, o bien como recursos alternativos que permiten liberar recursos de agua de mejor calidad para destinarlos a usos más exigentes, como el abastecimiento público.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Una reducción de las aportaciones de dióxido de carbono a la atmósfera, en razón de los menores consumos energéticos.

- Un aprovechamiento de los elementos nutritivos contenidos en el agua, especialmente cuando el agua regenerada se utiliza para riego agrícola y de jardinería.
- 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 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 aguas de calidad pre-potable puedan ser utilizadas para abastecimiento público.

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 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.

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 definición 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.

La experiencia práctica de numerosos países pone de manifiesto la posibilidad de adoptar dos estrategias básicas: 1) establecer unas normas de calidad del agua regenerada poco exigentes, asociadas con unos sistemas de regeneración de eficiencia y fiabilidad limitadas y unos requisitos de explotación mínimos, pero condicionadas por unas restricciones muy exigentes en cuanto al uso del agua para cada tipo de aprovechamiento, y 2) establecer unas normas de calidad del agua regenerada muy exigentes, asociadas con unos sistemas de regeneración muy eficientes y fiables y unos requisitos de explotación estrictos, pero con unos condicionantes muy básicos y sencillos respecto a la utilización del agua en sus diferentes usos.

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 una 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 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 indica claramente el objetivo 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 aborrazar agua”*.

5. 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.

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 semi-áridas como las del sur de California (Mujeriego, 2004).

6. 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 (torres de 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 con recursos hídricos limitados y donde 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 Consorcio 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.

7. 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 se 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.

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 1: REUTILIZACIÓN PLANIFICADA DE AGUA EN EL CONSORCI DE LA COSTA BRAVA (2005) CON UN CAUDAL TOTAL DE 5,4 HM³ EN 2004 (20% DE UN TOTAL DE 28 HM³)

Tipo de uso	%
Riego agrícola	48
Riego de jardinería y ornamental les	20
Recarga de acuíferos	12
Restauración de habitats	6
Reutilización industrial	5
Lagos recreativos	4
Barreras contra la intrusión	3
Otros usos	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	19
Riego a zonas de acceso público	44
Recarga de acuíferos	16
Reutilización industrial	15
Humedales y otros	6

TABLA 3: REUTILIZACIÓN PLANIFICADA DE AGUA EN FLORIDA, CON UN CAUDAL TOTAL DE 810 HM³/AÑO EN 2001.

8. 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:

- La implantación de un control de vertidos a la red de saneamiento que asegure la ausencia de contaminantes que puedan dificultar o impedir la reutilización del agua regenerada.
- 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 DBO₅.
- 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 acordes con la calidad microbiológica deseada, variando entre procesos naturales y procesos convencionales muy tecnificados, que pueden implantarse en instalaciones centralizadas o en otras descentralizadas y muy próximas al punto de uso.
- 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).

9. REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA REGADÍO

Cada utilización o aprovechamiento de agua tiene unas exigencias específicas 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 permitan asegurar el normal desarrollo y mantenimiento de las especies vegetales que se desea regar. Entre los parámetros de calidad del agua más evidentes aparecen su 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 (Levine y Asano, 2004; 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 distribuir aguas de riego así como de planes para implantarlas en la Costa del Sol Occidental para el riego de campos de golf.

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

10. 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 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 requieren agua pre-potable. Hay que resaltar 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.

11.COSTE DE LA REUTILIZACIÓN EN ESPAÑA

Los estudios realizados desde 1985 por la Universidad Politécnica de Cataluña en colaboración con el Consorci 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): 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 Álava, 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 100ml), 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 terminación en el año 2004 del primer embalse regulador de aguas regeneradas, como parte del 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 obtenido en Vitoria-Gasteiz ha pasado a ser un referente para otras comunidades autónomas, como indica su inclusión en los presupuestos de la Entitat de Sanejament d'Aigües de la Generalidad Valenciana (EPSAR, 2005). El embalse regulador de Vitoria-Gasteiz, con 7 hm³ de capacidad, representa una inversión de la Diputación Foral de Álava de 11,8 millones de euros, equivalentes a 1,7 euros/m³.

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) 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.

Concepto	Contenido	Coste parcial, euro/m ³	Coste total, euro/m ³
Amortización	3,25 millones de euros	0,026	0,026
Reactivos	coagulante polielectrolito desinfectante	0,010	0,016
		0,001	
		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

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.

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:

- Unos costes anuales de explotación y mantenimiento de la planta de regeneración cifrada en 0,4 millones de euros, para producir 12,5 hm³ anuales de agua regenerada con calidad adecuada para riego sin restricciones.
- 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).
- 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 11,8 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 usuario), 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 el coste de producción del agua regenerada, hasta alcanzar los niveles necesarios para el riego sin restricción, son de escasa significación relativa cuando se plantea un proyecto de reutilización planificada con una visión de futuro y acorde con los niveles de protección ambiental y de salud pública de una sociedad como la de España en el siglo XXI.

12.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 hizo 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 suscitara intensos debates entre los usuarios urbanos y agrícolas del agua, a la vez que propiciara 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 fundamentalmente 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: 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 el 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 puede aportar, cuando se sustituye por agua regenerada, y la mayor garantía que proporciona a los suministros de agua regenerada para riego, lo que permite mitigar o suprimir las restricciones de riego que han 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.

13. 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 (Mujeriego, 2006):

- **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. El concesionario inicial recibiría un agua regenerada de calidad comparable a la disponible, que puede satisfacer sus necesidades, con unas garantías de suministro muy superiores. El usuario urbano obtendría una fuente adicional de agua pre-potable de gran valor.

- **La aportación de agua regenerada para regadíos infradotados 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.
- **La recarga artificial de acuíferos con aguas regeneradas.** El Groundwater Replenishment System del Orange County Water District y Orange County Sanitation District representa 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 en 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:

- **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, 2001). 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.
- **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 establecido 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. En febrero de 2005 se estableció un acuerdo con la ciudad de Compton, con una duración de 25 años, que 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, amortizable en 25 años.

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 abastecimiento público y de agua de riego para agricultura y 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, a la vez que un respaldo reglamentario ante las exigencias de calidad de los productos cultivados con ellas.

14.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 la presencia de seres vivos, y 2) la consideración del medio ambiente “per se” como un usuario legítimo de esos mismos recursos hídricos (DOCE, 2000; Mujeriego, 2005).

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:

- 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.
- 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.
- 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.

15.REGULACIÓN DE RECURSOS

La regulación del agua mediante embalses constituye una de las facetas más controvertidas de la gestión de los recursos hídricos. Además del papel fundamental de los embalses para regular un régimen de precipitaciones tan irregular como el español, los embalses ofrecen la protección de las poblaciones y de los recursos naturales ante las catastróficas consecuencias que las avenidas y las inundaciones causadas por esos regímenes de lluvia pueden y suelen causar en las cuencas de nuestros ríos (Mujeriego, 2005).

La alteración del flujo de sedimentos, con el consiguiente almacenamiento en el propio embalse y el déficit en zonas de sedimentación deltaica, junto con la alteración del flujo de agua y de la circulación de ciertos componentes de la fauna (truchas, salmones) son alteraciones que conviene remediar y que pueden ser evitadas con formas de construcción modernas. La instalación de una rampa de desviación de sedimentos, en la cabecera del

embalse, contribuye a mantener el flujo de sedimentos a través de la franja de río afectada. La construcción de embalses en derivación (*off-stream, embanked*) permite limitar significativamente las afecciones ambientales. El Diamond Valley Lake, del Metropolitan Water District of Southern California (MWD, www.mwdh2o.com), con una capacidad de 1.000 hm³, representa un ejemplo de cómo se pueden regular los caudales excedentes en tiempos de abundancia, para ser posteriormente turbinados y liberados en los canales de abastecimiento en momentos de escasez; la inversión unitaria de este embalse en derivación, delimitado por tres presas de materiales sueltos y construido atendiendo a los requisitos ambientales del momento, se sitúa en 2,0 dólares del año 2000 por cada m³ de capacidad. Este coste unitario es similar al de 1,7 euros por metro cúbico de capacidad del embalse de 7 hm³ construido en Vitoria-Gasteiz en 2004.

El uso conjunto de aguas superficiales y aguas subterráneas es una estrategia ampliamente utilizada en las zonas semi-áridas del sur de California. La estrategia adoptada en estos casos consiste en almacenar agua superficial en acuíferos utilizados para el abastecimiento y el regadío, bajo la designación de *"banco del agua"*. La particularidad de estas actuaciones es que se realizan entre operadores públicos y/o privados, sin la intervención directa de la administración estatal de los recursos hídricos, aunque con su conocimiento formal y con la observancia de las reglamentaciones municipales, estatales y federales aplicables.

16. DESALACIÓN

La desalación de agua es una alternativa técnica bien consolidada, que ha experimentado un auge considerable debido al progreso continuo registrado en el desarrollo de las membranas de ósmosis inversa necesarias para la separación de las sales contenidas en el agua. Los principales progresos de esta tecnología han permitido la utilización de nuevos materiales sintéticos, más resistentes a la temperatura, a la presión, a la acción del ensuciamiento biológico y a la acción de los compuestos químicos utilizados para su limpieza, así como el desarrollo de sistemas más eficaces de presurización del agua y sobre todo de recuperación de la presión del agua producto. Los datos experimentales más recientes indican una cierta estabilidad en las mejoras de ciertas facetas esenciales del proceso, especialmente en su consumo energético unitario. Las membranas de ósmosis inversa consiguen la separación de los iones y las moléculas disueltas mediante su difusión diferencial a través del material de la membrana, siendo las moléculas o los iones de menor tamaño los que más fácilmente la atraviesan (AWWA, 1998).

Por otra parte, se han identificado ciertos contaminantes del agua, especialmente de naturaleza orgánica, que tienen una afinidad especial por el material de la membrana y que la atraviesan con relativa facilidad, al margen de su tamaño. La vida útil de las membranas de ósmosis inversa garantizada por la mayoría de fabricantes es de cinco años, pasados los cuales deben sustituirse. Conviene resaltar que, al contrario de lo que ocurre con otros procesos de tratamiento de agua, la membrana alcanza su mayor eficacia y durabilidad cuando se hace funcionar en régimen continuo. La interrupción excesiva y la parada prolongada de su funcionamiento se traducen normalmente en un deterioro acelerado de sus características filtrantes, lo que puede obligar a una sustitución anticipada.

California es un líder mundial en la fabricación de vasijas a presión para el alojamiento de las membranas de ósmosis inversa en la configuración de enrollamiento en espiral. California y Japón son dos de los líderes mundiales en la fabricación de membranas de ósmosis inversa. No obstante, la desalación de agua en California ha alcanzado una implantación muy limitada hasta el momento; el informe sobre Water Desalination - Findings and Recommendations, elaborado por un grupo de expertos para el Departamento de Recursos Hídricos en octubre de 2003 (DWR, 2003), indica que las 40 instalaciones dedicadas en esos momentos a la desalación de aguas salobres (incluyendo ósmosis inversa e intercambio iónico) representaban una producción anual de 210 hm³, mientras que las 16 instalaciones de desalación de agua marina generaban aproximadamente tan sólo 6 hm³ de agua anualmente.

La razón fundamental de esta escasa implantación de la desalación de aguas marinas en el sur de California reside en el coste del agua desalada, considerablemente superior a los 0,35-0,40 dólares/m³ de agua en alta que cobra MWD a sus agencias y municipios, que se incrementa hasta 0,45 dólares/m³ cuando se incluyen los gastos de distribución.

El informe del DWR (2003) incluye una descripción muy clara y detallada de las consideraciones básicas a tener en cuenta para la implantación de una instalación de desalación de agua: 1) la necesidad de contar con una captación de agua aceptable ambientalmente, 2) la necesidad de disponer de un sistema de dilución y dispersión de las salmueras generadas durante el proceso, y 3) la conveniencia de disponer de una fuente de energía eléctrica económica, en razón del considerable consumo unitario de estas instalaciones. Una de las estrategias adoptadas para satisfacer esos requisitos consiste en situar la planta desaladora en las inmediaciones, si no en la misma propiedad, de una central eléctrica dotada de sistemas de refrigeración con agua de mar. De este modo, 1) la captación de agua marina puede ser la misma que la utilizada para refrigerar la central eléctrica, una vez que ha pasado por las torres de refrigeración, 2) la dilución y el vertido de las salmueras pueden hacerse mediante su incorporación al caudal de aguas de refrigeración, aprovechando para su dilución los sistemas de dispersión del agua de la central, y 3) la energía eléctrica puede obtenerse directamente de la central, minimizando los costes de distribución y de transporte, pudiendo incluso disfrutar de unas tarifas especiales.

Entre las recomendaciones explícitas del informe del DWR (2003) cabe resaltar la conveniencia de adoptar una captación de agua a partir de pozos costeros, en lugar de tomas en mar abierto, ante la creciente evidencia del impacto que los sistemas de protección y filtración de éstas últimas pueden causar en la flora y la fauna marinas, tanto macroscópicas como microscópicas, propias de la franja costera, que es la más productiva del medio marino.

La ubicación de las plantas de desalación de efluentes depurados, tal como se plantea en numerosas mancomunidades en las Islas Canarias, sigue una estrategia similar a la indicada: la materia prima es el efluente tratado de una depuradora situada cerca de la costa, la dilución y el vertido de las salmueras se realiza mediante un emisario, y la aportación

energética se suele gestionar mediante la implantación coordinada de aerogeneradores, con unos notables rendimientos energéticos debido al régimen de viento tal favorable de las Islas.

17.DESALACIÓN EN CALIFORNIA

El Pacific Institute (Cooley *et al.*, 2006) de Oakland, California, ha publicado un informe detallado sobre las diferentes facetas de la desalación, como forma de analizar esta alternativa de gestión de los recursos hídricos desde la perspectiva del estado. Las reflexiones que aparecen en los siguientes apartados están tomadas del citado informe.

Las plantas de desalación de agua marina tienen actualmente una importancia vital para el desarrollo económico de numerosas zonas áridas y de zonas con escasos recursos hídricos (Cooley *et al.*, 2006). No obstante, muchas de plantas de desalación son excesivamente caras, han sido promovidas de forma inadecuada, tienen un diseño deficiente, están ubicadas en zonas inadecuadas, y son en definitiva inservibles. Con objeto de evitar la repetición de estos errores tan costosos, los responsables de la política del agua y el público en general deben adoptar una visión cuidadosa sobre las ventajas y las desventajas de la desalación, y desarrollar unas directrices claras sobre cómo evaluar y juzgar las propuestas de nuevas instalaciones.

Aunque los beneficios potenciales de la desalación de agua de mar son enormes, los costes económicos, culturales y ambientales de una comercialización generaliza siguen siendo elevados. En muchas partes del mundo, otras alternativas pueden proporcionar los mismos beneficios para las aguas continentales que los de la desalación de agua marina, aunque con unos menores costes económicos y ambientales. Entre estas alternativas cabe destacar el tratamiento de fuentes de agua de baja calidad, la promoción de trasvases regionales de agua, la mejora del ahorro y la eficiencia del uso del agua, la intensificación de la regeneración y la reutilización de agua, y la implantación de una planificación territorial inteligente. Actualmente, la mayor capacidad industrial de desalación de agua marina está ubicada en el Golfo Pérsico, en las islas con una disponibilidad limitada de recursos, y en ciertas zonas del mundo donde las opciones de abastecimiento son limitadas y el público esta dispuesto a pagar precios elevados.

La desalación no es la solución definitiva a los problemas del agua, aunque sí es probablemente un elemento básico del sistema de gestión de los recursos hídricos. En último término, las decisiones finales sobre el desarrollo de la desalación requerirán unas valoraciones complejas de las circunstancias y las necesidades locales, los factores económicos y financieros, los impactos ambientales y sociales, y las alternativas disponibles. Será necesario además que esas decisiones sean transparentes, abiertas, públicas y sistemáticas. Es necesario y urgente que los legisladores desarrollen unas reglas completas, coherentes y claras para los proyectos de desalación, de modo que las propuestas inapropiadas sean rechazadas rápidamente, y las apropiadas puedan ser identificadas y potenciadas.

18.IMPLANTACIÓN DE LA DESALACIÓN

A pesar del considerable progreso realizado en los últimos años, la desalación sigue siendo una fuente de agua marginal, excepto en las regiones de mayor nivel de vida y con mayores déficits de agua (Cooley *et al.*, 2006). En concreto, la desalación sigue siendo demasiado cara para convertirse en la fuente principal de agua dulce, y presenta además una serie de obstáculos sociales, ambientales, y tecnológicos que será necesario superar.

La base de datos Global Water Intelligence está considerada como el registro más actualizado de la desalación en el mundo. Las referencias incluidas muestran que aunque la desalación proporciona una parte sustancial del agua de abastecimiento de determinados países ricos de Oriente Medio, la capacidad global de todas las instalaciones de desalación representa un 0,3% del agua dulce utilizada en el mundo. La limitación más crítica de esta base de datos es que incluye plantas que fueron adjudicadas, pero no fueron nunca construidas, de plantas que fueron construidas, pero no fueron nunca puestas en explotación, y de plantas que fueron explotadas, pero que ahora están cerradas definitivamente (Cooley *et al.*, 2006).

Todo ello contribuye a sobrestimar la capacidad de desalación realmente utilizada en el mundo, a la vez que distorsiona la relevancia de las instalaciones realmente en explotación. Estudios detallados (Cooley *et al.*, 2006) de dos plantas de desalación de agua en los EEUU, una de ellas en Tampa, Florida, y otra en Santa Bárbara, California, ponen de manifiesto la necesidad de valorar cuidadosamente los beneficios atribuidos a cada proyecto concreto, con objeto de evitar un excesivo optimismo tanto en los costes económicos como en las tareas de explotación y mantenimiento de las instalaciones durante su vida útil.

19.ECONOMÍA DE LA DESALACIÓN

La faceta económica es uno de los factores más importantes y determinantes del éxito y del alcance de la desalación. Los costes financieros, los consumos energéticos, las implicaciones ambientales, la garantía del suministro, y las consecuencias sociales son factores estrechamente relacionados con los factores económicos.

La experiencia disponible (Cooley *et al.*, 2006) en estos momentos indica que no es posible suministrar agua desalada a los usuarios de California a un coste inferior del de producción, que difícilmente es inferior al intervalo de 0,80 a 0,92 dólares/m³, incluso para plantas eficientes y de gran tamaño. Considerando que el coste de producción puede ascender hasta 2,21 dólares/m³, el coste del agua suministrada se situaría en el intervalo de 2,37 a 2,64 dólares/m³. Este amplio intervalo de variación es debido a los numerosos factores que afectan a todos los proyectos, además de la gran variación que registran los costes de distribución entre las compañías de servicio en diferentes zonas geográficas.

Hasta ahora, el debate sobre los costes reales de la desalación ha sido confuso y oscuro, debido a que las estimaciones se han presentado en una gran variedad de unidades, referidas a diferentes años de explotación, y en formatos que no han permitido una comparación sencilla entre ellos.

Los subsidios visibles y los no visibles afectan a los costes anunciados y a los costes reales. La disponibilidad de una financiación más barata que la comúnmente disponible, o los subsidios destinados a sufragar una parte del coste final del agua producida, alteran los costes atribuidos al proyecto. Conviene recordar que, en realidad, esos subsidios habrán de ser posteriormente sufragados por los mismos u otros usuarios, en su condición de ciudadanos o de miembros de las entidades que ofrecen esos subsidios. En ciertos casos, los subsidios son difíciles de cuantificar, como ocurre cuando se ofrece gratuitamente el terreno en el que se ha de instalar la planta: mientras que en ciertos países el coste del suelo en zonas costeras puede ser razonable, en otras puede ser verdaderamente elevado.

El consumo energético es el factor con mayores consecuencias económicas para una planta de desalación, oscilando entre una tercera parte hasta más de la mitad del coste del agua producida. Mientras que el coste típico de la energía eléctrica de una planta de ósmosis inversa representa un 44% del coste, ese porcentaje alcanza el 60% en el caso de una gran planta de destilación térmica. Con estos porcentajes, un aumento del 10% del coste unitario del suministro eléctrico hará que el coste del agua producida aumente entre un 4,5% para la planta de ósmosis inversa y un 6% para una planta de destilación térmica. A menos que se consiga reducir el consumo energético de los procesos de desalación, la contribución de los costes energéticos aumentará apreciablemente a medida que lo hagan los costes de la energía.

Las curvas de costes desarrolladas por el US Bureau of Reclamation en 2003 (Cooley *et al.*, 2006) evidencian dos hechos importantes: 1) que la ósmosis inversa es considerablemente más económica que los procesos térmicos, en todo el rango de tamaños de las plantas, 2) todas las tecnologías ofrecen economías de escala. Dicho de otra manera, esas curvas indican que el coste real del agua producida en plantas pequeñas (20.000 m³/día) es mucho mayor que el coste de referencia utilizado frecuentemente, y que corresponde a plantas de tamaño medio (40.000-80.000 m³/día) o grande (100.000 m³/día). La experiencia del promotor del proyecto, el periodo de amortización, la tasa de interés, y los aspectos reglamentarios afectan igualmente al coste final del agua desalada.

Las estimaciones y las justificaciones de los costes futuros de un proyecto de desalación deben ser evaluadas con mucho cuidado. Los costes estimados para ciertas instalaciones han resultado ser muy diferentes de los realmente observados tras su construcción. Las estimaciones de costes dependen de tantos factores, que las comparaciones simplificadas carecen frecuentemente de significado. A pesar de todas estas dificultades, los costes han tenido una tendencia descendente a largo plazo. No obstante, aunque algunas de esas regresiones e interpolaciones están basadas en costes de construcción, los autores las aplican generalmente a los costes totales (inversión más explotación y mantenimiento). Los costes de inversión y de explotación y mantenimiento de la desalación han disminuido progresivamente, debido en parte a la bajada real del precio de la energía durante los años 1980 y 1990, pero sobre todo debido a las mejoras tecnológicas, a las economías de escala conseguidas con plantas mayores, a la mejor gestión de los proyectos, y una mayor experiencia.

A pesar de las proyecciones favorables de los promotores de la desalación, el objetivo propuesto a largo plazo de reducir los costes en un 50% para el año 2020 son muy dudosos, y no podrán ser posiblemente alcanzados mediante mejoras progresivas (Cooley *et al.*, 2006). Para alcanzarlos realmente, serán necesarias tecnologías radicalmente nuevas o descubrimientos fundamentales, tanto en los materiales utilizados como en los consumos de energía requeridos. De hecho, la evidencia revela la aparición de una situación contraria, y algunos expertos consideran que los costes de los procesos de membrana difícilmente continuaran bajando en el futuro inmediato. Todas las estimaciones de costes elaboradas en los últimos años son notablemente superiores a los de las plantas ofertadas hace unos pocos años atrás. El aumento del coste de las materias primas (como el acero), de la energía, y de las tasas de interés explicarían este ligero repunte de los costes. En definitiva, nadie puede predecir el coste real de la desalación de agua de mar en los próximos años. A menos que los costes de la energía disminuyan considerablemente, es difícil pensar que el coste de producción del agua desalada en California sea inferior a 0,80-0,92 dólares/m³ en los próximos años.

20.BENEFICIOS DE LA DESALACIÓN

Uno de los beneficios atribuidos a la desalación es la mayor garantía de suministro que proporciona una diversificación de las fuentes de abastecimiento, especialmente en zonas áridas y semi-áridas, caracterizadas por una gran variabilidad de los recursos disponibles. Otra faceta positiva de la desalación es que los recursos que aporta quedan bajo la tutela directa de las entidades locales, sin depender de circunstancias ajenas, y tienen además una menor dependencia de factores como los desastres naturales u otras amenazas sobre los sistemas hídricos.

La correcta valoración de la garantía de suministro, mediante nuevas fuentes de abastecimiento, debe realizarse no sobre la base de los caudales medios de agua que pueden proporcionar, sino considerando su posible variabilidad en el tiempo, especialmente cuando son necesarias para compensar las irregularidades (falta de garantía) de las fuentes convencionales. En estas condiciones, es previsible que un programa de ahorro resulte más económico que desarrollar una nueva fuente de aguas superficiales o que implantar un programa de tratamiento avanzado (desalación) del agua (Cooley *et al.*, 2006).

La desalación puede ofrecer una respuesta favorable a la conveniencia de disponer de recursos propios en la zona geográfica de influencia del promotor, sin necesidad de realizar trasvases desde otras zonas, especialmente zonas agrícolas, a la vez que ofrece una protección frente a la vulnerabilidad de las interrupciones del suministro desde zonas alejadas, sobre las que normalmente se tiene una capacidad de control limitada. Conviene indicar la posibilidad de que los usuarios agrícolas sean los primeros interesados en promover la desalación como fuente de abastecimiento urbano, cuyos costes no les afectará, como forma de reducir las presiones políticas a que se pueden ver sometidos para que transfieran aguas más baratas desde el sector agrícola a las zonas urbanas.

21. DEPENDENCIA ENERGÉTICA

El enfoque más convencional para evaluar un proyecto de desalación es sopesar sus dos principales beneficios, la garantía de suministro y la calidad del agua desalada, con sus dos principales exigencias, el mayor coste unitario y los posibles impactos ambientales (Cooley et al., 2006). No obstante, hay una exigencia adicional del agua desalada que conviene tener en cuenta: su dependencia tan directa en la evolución de los precios de la energía necesaria para su explotación. A los suministradores de agua les preocupa no solo la variabilidad del suministro de las distintas fuentes de suministro, sino también la variabilidad de los principales costes de producción. Esta variabilidad de los costes puede obligarles a subir las tarifas para compensar los costes imprevistos. Esto puede ser especialmente problemático durante los períodos de sequía, cuando los ingresos disminuyen debido a las menores ventas de agua. Considerando que las plantas de desalación son normalmente explotadas a su nivel máximo de producción durante las épocas de sequía, cualquier aumento inesperado de los costes puede aumentar la inestabilidad de los ingresos propios de la entidad suministradora en condiciones normales.

En definitiva, el componente energético tan importante de la desalación (un 44% como media) hace que la subida progresiva del coste de la energía genera un aumento progresivo del coste del agua desalada, en mayor grado que el de otras fuentes de fuentes convencionales de agua, donde las amortizaciones del capital tienen una participación significativamente superior al de la energía.

22. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTES

La Tabla 5 resume los costes actuales de inversión y de consumo energético de 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 del agua adecuados para su uso en riego agrícola y de jardinería, con una calidad suficiente para asegurar unos niveles de protección ambiental y de salud pública comparables a los asociados con el uso de agua potable.

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 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.

Alternativa	Inversión, euros/m ³ -anual	Amortización, años	Consumo, kWh/m ³
Regeneración (riego sin restricción)	0,26 (Vitoria)	15 - 25	0,001- 0,73 (CCB)
Regulación (en derivación)	1,7 (Vitoria) 2,0 dólares (California)	> 100	----
Regulación (en acuífero)	0,86 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

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.

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 de esos niveles de consumo eléctrico. Considerando que la aportación media de dióxido de carbono por unidad de energía producida en España es de 460 g/kWh y que el derecho de emisión de dióxido de carbono fluctúa en torno a 20 euros por tonelada, cada kWh consumido en España añade un coste ambiental 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 insignificante, mientras que su extracción puede tener ventajas para los usuarios, pues el nivel del agua en los pozos será superior al que tenían antes de la recarga.

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 6 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. Conviene indicar que la distribución de agua potable debe asegurar unas presiones mínimas en zonas urbanas de diferentes alturas, lo que suele comportar unos consumos más elevados. Por otra parte, el saneamiento se efectúa generalmente por gravedad (con bombeos periódicos) y comporta unos consumos menores.

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)

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).

23. REUTILIZACIÓN Y DESALACIÓN

La reutilización planificada y la desalación de agua tienen varios elementos en común que conviene resaltar. En primer lugar utilizan una fuente de materia prima no convencional y en cierto modo mucho más abundante que los recursos convencionales, especialmente cuando se piensa en el agua marina para la desalación. En segundo lugar, el agua resultante de ambos procesos necesita de conductos específicos para su incorporación a las redes de distribución de agua. Así, el agua regenerada se suministra mediante un conducto específico (para evitar su contacto con el agua de calidad potable), que puede existir previamente cuando se trata de una sustitución de agua para riego agrícola o de jardinería, o que es necesario construir de nuevo cuando se trata de ampliar una actividad inexistente. Por otra parte, la incorporación del agua desalada a una red de abastecimiento, tanto si es para abastecimiento humano como para otros usos, requiere una conducción desde la planta desaladora hasta un punto de almacenamiento o de incorporación a la red abastecimiento que se trata de complementar. En ambos casos, el coste de esta conducción suele ser significativo, con una importancia relativa incluso mucho mayor en el caso de la regeneración, debido al menor coste unitario del proceso de regeneración respecto a la desalación.

Tanto la regeneración como la desalación alcanzan su utilización óptima cuando las instalaciones funcionan de forma continuada y sistemática, de modo que los costes de fijos de la inversión puedan distribuirse sobre el mayor volumen de agua producido. La circunstancia de que la inversión de una instalación de desalación alcance usualmente los 4 euros/m³-anual, en comparación con un valor próximo a 0,30 euros/m³-anual de la regeneración, hace que una planta de desalación deba ser explotada de forma casi permanente, con objeto de alcanzar la máxima producción anual de agua.

Una de las estrategias más eficaces y económicas de producir agua regenerada o desalada es utilizar una planta con una producción media igual a la requerida por el uso o el aprovechamiento que se considere, y disponer de un dispositivo de regulación que permita ajustar la oferta y la demanda temporal de esos mismos usos. Esta propuesta óptima se puede ajustar mediante pequeños cambios en el factor de punta de la planta de producción y el nivel de cobertura del dispositivo de regulación. La ausencia de un sistema de regulación puede limitar considerablemente el alcance de la reutilización o la desalación del agua, además de aumentar considerablemente su coste unitario.

La materia prima utilizada usualmente para la regeneración suele ser un buen efluente secundario de origen municipal, mientras que la desalación suele plantearse con agua marina o salobre. No obstante, caben soluciones intermedias, que acercan considerablemente los conceptos de regeneración y de desalación. La utilización de agua salobre como materia prima para la desalación ofrece la gran ventaja económica de un menor consumo energético unitario, en cuanto que éste guarda una relación casi lineal con el contenido de sales del agua.

La utilización de un buen efluente secundario de origen municipal como fuente de agua para la desalación es una estrategia bien demostrada en proyectos como el de la Water Factor 21 que ha funcionado durante 25 años en el Orange County Water District (www.ocwd.com). La versión actualizada y ampliada de este concepto se está llevando a cabo en varias partes del mundo, en particular en Singapur (www.pub.gov.sg/newater) y en el Orange County Water District (Mujerigo, 2004). La ventaja de esta alternativa de regeneración-desalación es que utiliza una fuente de agua suficientemente abundante en la mayoría de los casos (efluente secundario), especialmente en zonas costeras, donde los efluentes tratados se vierten al mar, con efectos indeseables en algunos casos.

Un último aspecto a destacar de ambas formas de generar recursos hídricos adicionales es la importancia trascendental que tiene establecer un acuerdo contractual, lo más específico posible, entre los responsables de la producción de agua regenerada y/o desalada, y los futuros utilizadores de ese mismo producto. El incumplimiento de este elemento de gestión plantea sistemáticamente numerosas dificultades durante la puesta en marcha de la planta de producción de agua. La experiencia de numerosas encuestas y proyectos de reutilización de agua pone de manifiesto que los usuarios potenciales tienen inicialmente una predisposición favorable a utilizar el agua regenerada; no obstante, llegado el momento de utilizarla, suelen plantear numerosos impedimentos a su implantación. Mientras que el impedimento más frecuente para la reutilización de agua regenerada suele ser de tipo psicológico, debido concretamente a la percepción del posible riesgo sanitario que su utilización puede comportar, el impedimento más frecuente para la utilización del agua desalada suele ser de tipo económico, ante su mayor coste unitario relativo al de los recursos convencionales.

Todo ello explica que una instalación como la existente en Andarax, en la ciudad de Almería, con capacidad para producir 50.000 m³/día no haya entrado en funcionamiento desde que fue terminada en el año 2002, por una falta de acuerdo en la forma de establecer las tarifas municipales. Del mismo modo, el que la planta de desalación de Carboneras, con una capacidad de 120.000 m³/día y completada en el 2003, solamente produzca agua para alimentar la central térmica del mismo nombre situada en las inmediaciones, es debido a la dificultad de aplicar los acuerdos establecidos inicialmente con las comunidades de usuarios de las zonas limítrofes.

En definitiva, mientras que la regeneración y la reutilización planificada del agua en España han sido impulsadas por el deseo de los usuarios de disponer de recursos adicionales de

agua, la desalación ha sido generalmente (especialmente en la zona peninsular) una propuesta de las administraciones para ofrecer recursos adicionales o alternativos.

24.INTERACCIONES AGUA Y ENERGÍA

Una faceta de creciente interés en la gestión de los recursos hídricos es la estrecha relación existente entre agua y energía, tanto en lo referente a la energía que comporta poner los recursos hídricos convencionales a disposición de los usuarios, como generar nuevos recursos con técnicas avanzadas como la desalación, y también cuando se trata de desarrollar biomasa vegetal con la que abastecer los procesos de generación de biocombustibles. El reciente informe de la California Energy Commission (CEC, 2006) ilustra las implicaciones energéticas de los suministros convencionales de agua. Por otra parte, son todavía escasas las valoraciones detalladas de las implicaciones que pueden tener para la gestión de los recursos hídricos la ampliación de los proyectos de desalación, y los cultivos de biomasa vegetal con la que abastecer las plantas de producción de biocombustibles.

Las relaciones entre agua y energía aparecen como uno de los retos más críticos que el estado de California ha de afrontar para atender su suministro de energía y sus infraestructuras energéticas (CEC, 2006). La energía consumida en temas relacionados con el agua representa un 19% de la electricidad del estado, un 30% del gas natural consumido, y 350.000 millones de litros de gasoil cada año, con una clara tendencia a aumentar. Los consumos de agua y de energía están aumentando a unas tasas muy similares, y frecuentemente en las mismas zonas geográficas.

El Plan Hidrológico de California afirma que el uso eficiente del agua es la principal nueva fuente de agua disponible para satisfacer el crecimiento de la demanda estimado para los próximos 25 años. El resto habrá de ser satisfecho mediante el desarrollo de nuevas fuentes de agua, entre las que figuran la reutilización del agua, y la desalación de aguas salobres y marinas, todas las cuales aumentarán la demanda de energía con respecto a los niveles actuales.

La principal conclusión del estudio (CEC, 2006) es que una parte importante de la solución a estos retos consiste en establecer una coordinación más estrecha entre los sectores del agua y de la energía. La situación reglamentaria actual no permite alcanzar una verdadera solución, debido a que las entidades de abastecimiento sólo valoran el coste de adquisición, transporte, tratamiento y distribución del agua; las entidades de saneamiento sólo valoran el coste de recogida, tratamiento y vertido del agua; las entidades eléctricas sólo valoran el ahorro de energía; y las entidades gasísticas sólo valoran el gas natural ahorrado. El informe recomienda que el estado desarrolle y amplie unas buenas prácticas y los programas de gestión existentes, con objeto de materializar el incremento significativo de beneficios que pueden conseguirse mediante una gestión conjunta de los recursos hídricos y energéticos y de sus infraestructuras.

El estudio postula (CEC, 2006) que el estado puede alcanzar unas metas de consumo de energía y de reducción de la demanda comparable a los previstos por las entidades

energéticas privadas (propiedad de inversores) para el periodo 2006-2008, simplemente teniendo en cuenta el valor de la energía ahorrada por cada unidad de agua ahorrada. Si se permitiera a estas entidades energéticas invertir en programas de ahorro de agua, la inversión conjunta en los programas de uso eficiente del agua complementaría los esfuerzos de las entidades del agua para satisfacer los incrementos del consumo mediante un uso eficiente. Los redactores del informe consideran que este beneficio podría alcanzarse a un coste aproximadamente mitad del que representa para los usuarios de la electricidad la aplicación de las medidas tradicionales de eficiencia energética.

En resumen, el informe (CEC, 2006) analiza la forma en que se utiliza la energía, y la forma en que ésta podría ahorrarse, mediante una mejor gestión del ciclo del agua. Las estrategias y los objetivos de un programa completo de ahorro de energía a nivel del estado podría conseguir un aumento de los beneficios energéticos tanto para las entidades del agua como de la energía. El objetivo ambicioso de establecer un programa conjunto relativo al agua y la energía generaría un proceso dinámico, en el que los participantes principales tendrían suficientes incentivos para identificar y aplicar de forma continua estrategias destinadas a optimizar los recursos hídricos y energéticos, y las infraestructuras del estado, de forma integrada, coordinada y en estrecha colaboración.

25. 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.
- 2) Los sistemas o protocolos de gestión de recursos, tanto en condiciones de normalidad como en condiciones de emergencia como las que crean los episodios de sequía, habrán de integrar de forma efectiva los recursos aportados por nuevas (no convencionales) fuentes de agua (aguas regeneradas, aguas desaladas) para satisfacer los consumos actuales y futuros con seguridad sanitaria y ambiental, y con una mayor garantía de suministro.
- 3) 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 y de una voluntad política decidida de llevarla a cabo son factores determinantes del desarrollo de la reutilización del agua. 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 del agua.

- 4) Los trabajos preparatorios realizados actualmente por los Ministerios de Medio Ambiente y de Sanidad y Consumo deberían permitir la aprobación rápida de un primer decreto sobre las formas de gestión de las concesiones de uso de aguas regeneradas, así como de los posibles usos aceptables de las mismas y de los niveles mínimos de calidad para cada uno de ellos. A ese marco reglamentario debería seguir una serie de recomendaciones de buenas prácticas de producción y de utilización del agua regenerada. Este marco reglamentario será la base sobre la que los Organismos de cuenca y las administraciones autonómicas podrán potenciar la incorporación de las aguas regeneradas al balance hídrico general, especialmente en zonas costeras.
- 5) La producción de agua regenerada en sí misma no es suficiente para asegurar su aprovechamiento. Será imprescindible una promoción decidida de los Organismos de cuenca y de las instituciones responsables de la gestión de los recursos, con objeto de optimizar la gestión integrada de todos los recursos, incluida el agua regenerada.
- 6) Los proyectos de reutilización planificada existentes en España han sido generalmente impulsados por los propios usuarios, ante la falta crónica o estacional de agua. La gestión de estos proyectos se viene realizando de formas muy variadas, al margen y en colaboración con las entidades responsables del saneamiento y la depuración, o directamente por estas mismas. La mentalidad característica de todos los involucrados en la reutilización planificada es la de elaborar un producto de calidad (de acuerdo con compromisos contractuales), en lugar de un residuo, como ocurre con frecuencia en las instalaciones de depuración de aguas residuales. La designación del agua así obtenida como agua regenerada, y de las instalaciones como plantas de regeneración, contribuye a diferenciarlas de forma positiva y clara del sector de las aguas residuales depuradas.
- 7) La reutilización planificada del agua para riego agrícola ofrece una garantía de suministro muy superior a la de las fuentes convencionales, ya que asegura 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.
- 8) La mayor garantía de suministro del agua regenerada ha hecho que comunidades de regantes, servicios municipales de jardinería, e instalaciones industriales hayan recurrido al agua regenerada como fuente de suministro para usos que no requieren calidad potable, incluso a costes iguales o ligeramente superiores a los de las fuentes convencionales de que disponían. Las restricciones temporales aplicadas a usos no potables, como forma de asegurar el abastecimiento urbano durante episodios de sequía, han sido elementos determinantes de este cambio de percepción por parte de todos los usuarios.

- 9) 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 un total de 495 hm³/año en 2000) y de jardinería como Florida (63% de un total 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.

- 10) El respaldo institucional de los Ministerios de Salud Pública y de Medio Ambiente, junto con los estudios, investigaciones e informes de seguimiento de estos proyectos, han hecho que los productos cultivados con aguas regeneradas de calidad gocen de las mismas garantías sanitarias y ambientales que los cultivados con fuentes convencionales de agua. El riego agrícola y de jardinería forma parte de las actividades aceptadas y consideradas como cotidianas por los servicios de abastecimiento de muchos municipios, zonas agrícolas e industrias de estados como California y Florida, y también de Vitoria-Gasteiz y del Consorcio de la Costa Brava. El apoyo institucional y técnico al uso del agua regenerada en estados como California y Florida, y en provincias como Álava y zonas como el Consorcio de la Costa Brava, ha disipado desde hace años cualquier temor suscitado por el uso del agua regenerada, e incluso los boicots velados a los productos cultivados, como los que se difunden con frecuencia por España.

- 11) 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.

- 12) Entre las propuestas de gestión en que la reutilización planificada está contribuyendo a una mejor gestión integrada del agua figuran:
 - a. La sustitución de aguas pre-potables por aguas regeneradas.
 - b. La aportación de agua regenerada para regadíos infradotados o nuevos regadíos.
 - c. La recarga artificial de acuíferos con aguas regeneradas.

- 13) Otras opciones de gestión que se están aplicando, al margen o en coordinación con el uso de agua regenerada, son:
 - d. La rehabilitación de sistemas de riego agrícola (mejora de su eficiencia) a cambio de una fracción del agua ahorrada mediante esas medidas.
 - e. La recarga artificial de acuíferos, como forma de regular los recursos de aguas superficiales.

- 14) 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), especialmente cuando es necesario construir una nueva red de distribución, 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.
- 15) Este coste de referencia puede registrar notables variaciones, dependiendo del tipo de efluente secundario utilizado, del tamaño de la planta de regeneración de agua y de los condicionantes de almacenamiento y uso estacional del agua. El tratamiento básico de regeneración no incluye la modificación del contenido salino del agua, por lo que conviene impulsar al máximo todas las medidas preventivas que eviten la entrada de sales al agua de la red de saneamiento. El vertido a la red de saneamiento de las aguas de drenaje en construcciones costeras (well point) y las infiltraciones de aguas salobres o salinas a través de fisuras o imbornales de los colectores costeros son las causas más frecuentes del deterioro de la conductividad eléctrica del agua regenerada, con lo que ello significa de limitación para su uso posterior en riego agrícola.
- 16) 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 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 de agua regenerada y de su conexión a la red de riego existente. El coste del agua regenerada suministrada para nuevos regadíos, regadíos infradotados 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.
- 17) 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, y 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, y también de agua de proceso para la industria.
- 18) 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 que pueden plantear los distribuidores y vendedores de los productos cultivados con ellas.

- 19) España dispone de proyectos emblemáticos de regeneración y de reutilización de agua que son objeto de un creciente interés tanto nacional como internacional. El desarrollo alcanzado durante los últimos 20 años nos ha permitido documentar de forma contrastada nuestra capacidad para obtener un agua regenerada de la calidad adecuada para los usos más variados, así como el coste de la regeneración y la reutilización en contextos muy diversos. Los proyectos de demostración para riego agrícola y de jardinería, así como para usos urbanos, para mejora ambiental y para recarga de acuíferos han despertado el interés creciente de otros usuarios, así como la aprobación de las administraciones sanitarias y medioambientales.
- 20) El desarrollo progresivo de estos proyectos, la documentación y el debate de sus resultados, con una transparencia y participación pública como la recomendada por la Directiva Marco del Agua, y el desarrollo gradual de normas de calidad que satisfagan los niveles de riesgo reales y percibidos por nuestra sociedad, han de permitir que España pueda beneficiarse de las ventajas que ofrece la reutilización planificada del agua, y propiciar así una gestión integrada de los recursos que aumente la armonía social y ambiental entre todos sus beneficiarios.
- 21) España dispone de proyectos de gestión integrada de los recursos basados en la incorporación del agua regenerada como nueva fuente de suministro y en su almacenamiento durante el invierno para disponer de recursos fiables para riego agrícola durante el verano. La reducción de la demanda de recursos convencionales resultante de esta estrategia de gestión está permitiendo aumentar las garantías de suministro para usos urbanos, asegurar los caudales ecológicos, mejorar la capacidad de laminación de los embalses de agua de abastecimiento público, y la generación de energía hidroeléctrica que, por sí sola, ya cubre una buena parte de los costes de regeneración y de reutilización.
- 22) El proyecto de gestión integrada de los recursos hídricos de Vitoria-Gasteiz, impulsado por el Departamento de Agricultura de la Diputación Foral de Álava, con la colaboración de la Comunidad de Regantes Arrato, constituye un ejemplo emblemático de los numerosos beneficios que pueden obtenerse de la incorporación de la regeneración del agua como elemento constitutivo de la gestión de los recursos. Aunque las condiciones hidrológicas y topográficas de geográficas de Vitoria-Gasteiz han sido determinantes del alcance de este proyecto, conviene resaltar que muchos de sus beneficios pueden igualmente materializarse, en mayor o menor grado, en otros lugares de España. Basta realizar una reflexión detallada para identificarlos y un esfuerzo institucional para crear las condiciones que los hagan posibles.

- 23) La desalación de agua es una alternativa técnica bien consolidada, que ha experimentado un auge considerable debido al progreso continuo registrado en el desarrollo de las membranas de ósmosis inversa necesarias para la separación de las sales contenidas en el agua. Los principales progresos de esta tecnología han permitido la utilización de nuevos materiales sintéticos, más resistentes a la temperatura, a la presión, a la acción del ensuciamiento biológico y a la acción de los compuestos químicos utilizados para su limpieza, así como el desarrollo de sistemas más eficaces de presurización del agua y sobre todo de recuperación de la presión del agua producto.
- 24) Las consideraciones básicas a tener en cuenta para la implantación de una instalación de desalación de agua son: 1) la necesidad de contar con una captación de agua aceptable ambientalmente, 2) la necesidad de disponer de un sistema de dilución y dispersión de las salmueras generadas durante el proceso, y 3) la conveniencia de disponer de una fuente de energía eléctrica económica, en razón del considerable consumo unitario de estas instalaciones.
- 25) Las plantas de desalación de agua marina tienen actualmente una importancia vital para el desarrollo económico de numerosas zonas áridas y de zonas con escasos recursos hídricos. No obstante, muchas de las plantas de desalación existentes son excesivamente caras, han sido promovidas de forma inadecuada, tienen un diseño deficiente, están ubicadas en zonas inadecuadas, y son en definitiva inservibles.
- 26) La desalación no es en estos momentos la solución definitiva a los problemas del agua, aunque sí está convirtiéndose en un elemento básico del sistema de gestión de los recursos hídricos. La decisión final sobre el desarrollo de la desalación requerirá unas valoraciones complejas de las circunstancias y las necesidades locales, los factores económicos y financieros, los impactos ambientales y sociales, y las alternativas disponibles. Será necesario además que esas decisiones sean transparentes, abiertas, públicas y sistemáticas. Es necesario y urgente que los legisladores desarrollen unas reglas completas, coherentes y claras para evaluar los proyectos de desalación, de modo que las propuestas inapropiadas sean rechazadas rápidamente, y las apropiadas puedan ser identificadas y potenciadas.
- 27) La desalación sigue siendo una fuente de agua inusual, excepto en las regiones de mayor nivel de vida y con mayores déficits de agua, a pesar del considerable progreso realizado durante los últimos años. La desalación sigue siendo demasiado cara como para convertirse en la fuente principal de agua dulce, y presenta además una serie de obstáculos sociales, ambientales, y tecnológicos que será necesario superar.
- 28) La limitación más crítica de la base de datos más importante de que se dispone actualmente sobre proyectos de desalación es que incluye plantas que fueron adjudicadas, pero no fueron nunca construidas, de plantas que fueron construidas,

pero no fueron nunca explotadas, y de plantas que fueron explotadas, pero que ahora están fuera de servicio definitivamente.

- 29) La faceta económica es uno de los factores más importantes y determinantes del éxito y del alcance de la desalación. Los costes financieros, los consumos energéticos, las implicaciones ambientales, la garantía del suministro, y las consecuencias sociales son factores estrechamente relacionados con los factores económicos. Hasta el momento, el debate sobre los costes reales de la desalación ha sido confuso y oscuro, debido a que las estimaciones se han presentado en una gran variedad de unidades, referidas a diferentes años de explotación, y en formatos que no han permitido una comparación sencilla entre ellos. El consumo energético es el factor con mayores consecuencias económicas para una planta de desalación, oscilando entre una tercera parte hasta más de la mitad del coste del agua producida.
- 30) El aumento registrado recientemente por el coste de las materias primas (como el acero), de la energía, y de las tasas de interés lleva a pensar a un futuro aumento de los costes de la desalación. En cualquier caso, es prácticamente imposible predecir el coste real de la desalación de agua de mar en los próximos años. A menos que los costes de la energía disminuyan considerablemente, es difícilmente imaginable que el coste de producción del agua desalada en California sea inferior a 0,80-0,92 dólares/m³ en los próximos años.
- 31) Los costes de inversión aumentan a medida que se pasa de la regeneración (0,30 euros/m³-anual) a la regulación (1,7 euros/m³-anual) y a la desalación 4,0 euros/m³-anual. 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. No obstante, la valoración completa de la reutilización requiere tener en cuenta además los notables costes de inversión que comporta la red de distribución que pueda ser necesaria.
- 32) 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 de esos niveles de consumo eléctrico: la producción de dióxido de carbono asociada a la generación de energía necesaria para operar esos procesos en España añade un coste ambiental de 0,01 euros/m³ al agua regenerada y de 0,04 euros/m³ al agua marina desalada.
- 33) La reutilización planificada y la desalación de agua tienen varios elementos en común. Por una parte, utilizan una fuente de materia prima no convencional y en cierto modo mucho más abundante que los recursos convencionales, especialmente cuando se piensa en el agua marina para la desalación. Por otra parte, el agua resultante de ambos procesos necesita de conductos específicos para su

incorporación a las redes de distribución de agua. Por último, es de una importancia trascendental el establecer un acuerdo contractual, lo más específico posible, entre los responsables de la producción de agua regenerada o desalada, y los futuros utilizadores de ese mismo producto. El incumplimiento de este elemento de gestión plantea sistemáticamente numerosas dificultades durante la puesta en marcha de la planta de producción de agua.

- 34) Tanto la regeneración como la desalación alcanzan su utilización óptima cuando las instalaciones funcionan de forma continuada y sistemática, de modo que los costes de fijos de la inversión puedan distribuirse sobre el mayor volumen de agua producido. Una de las estrategias más eficaces y económicas de producir agua regenerada o desalada es utilizar una planta con una producción media igual a la requerida por el uso o el aprovechamiento que se considere, y disponer de un dispositivo de regulación que permita ajustar la oferta y la demanda temporal de esos mismos usos.
- 35) La estrecha relación entre agua y energía es una faceta de creciente interés en la gestión de los recursos hídricos, tanto en lo referente a la energía que comporta poner recursos hídricos convencionales a disposición de los usuarios, como generar nuevos recursos con técnicas avanzadas como la desalación, y también cuando se trata de desarrollar biomasa vegetal con la que abastecer los procesos de generación de biocombustibles.
- 36) El uso eficiente del agua aparece como una de las principales formas de generar nuevos recursos con los que atender el crecimiento de la demanda estimado para los próximos 25 años en muchas zonas áridas y semiáridas. El resto habrá de ser satisfecho mediante el desarrollo de nuevas fuentes de agua, entre las que figuran la reutilización del agua, y la desalación de aguas salobres y marinas, todas las cuales aumentarán la demanda de energía con respecto a los niveles actuales. Una contribución importante a la solución a estos retos consiste en establecer una coordinación más estrecha entre los sectores del agua y de la energía. La situación reglamentaria actual no permite alcanzar una verdadera solución, debido a que las entidades responsables de cada sector solo valoran sus propios elementos operativos.

AGRADECIMIENTOS

Los estudios y experiencias presentados en este trabajo 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 Generalita de Catalunya, la Agència Catalana de l'Aigua, la Diputación Foral de Álava, la Comunidad de Regantes Arrato, el Ministerio de Educación y Ciencia, la Fundación del Instituto Euromediterráneo de Hidrotecnia, y la Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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.
- California Energy Commission (2006).
California's Water-Energy Relationship.
Final Staff Report. Sacramento, California.
www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-700-2005-011/CEC-700-2005-011-SF.PDF
- Cooley, H., Gleick, P. H., Wolf, G. (2006).
Desalination, with a grain of salt; a California perspective.
Pacific Institute. Oakland, California.
www.pacinst.org/reports/desalination/desalination_report.pdf.
- Consorci d'Aigües de Tarragona (2001).
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 la XVII Jornadas de la Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento.
- 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.
- Levine, A, y Asano, T. (2004).
Recovering sustainable water from wastewater. Journal of Environmental Science and Technology.
American Chemical Society. June 1, pp: 201A-208A.
- Mujeriego, R. (2006).
La reutilización planificada del agua para riego.
Ponencia presentada en el XI Congreso Nacional de Comunidades de Regantes de España, Palma de Mallorca, 15–19 de mayo de 2006. Actas del Congreso, FENACORE, Madrid.
- Mujeriego, R. (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. <http://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.

Organización Mundial de la Salud (2006).

Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Ginebra, Suiza.

http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/gsuweg2/en/index.html

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. <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r04108/625r04108.htm>