

PRESENTE Y FUTURO DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS EN CANARIAS

Discurso leído en el acto de su recepción como
Académico Correspondiente en Tenerife por

Dr. D. Sebastián Delgado Díaz

el día 6 de julio de 2009

PRESENTE Y FUTURO DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS EN CANARIAS

Depósito Legal: M-27599-2009

Imprime:
Gráficas Loureiro, S.L.

PRESENTE Y FUTURO DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS EN CANARIAS

Discurso leído en el acto de su recepción como
Académico Correspondiente en Tenerife por
Dr. D. Sebastián Delgado Díaz
el día 6 de julio de 2009

Arrecife (Lanzarote), Hotel Lancelot

ÍNDICE

Agradecimientos	5
Elección del tema y objetivos	5
Introducción	7
Tecnologías de depuración y de regeneración de aguas residuales	8
Usos de las aguas residuales regeneradas	12
Tendencias en la reutilización de aguas residuales	18
Normativas sobre la reutilización de las aguas	20
La reutilización de aguas en el mundo.....	22
Situación actual y futura de la reutilización en Canarias	23
Resumen y conclusiones	28
Bibliografía	30

Excmo. Sr. Presidente de la Academia de Ciencias e Ingenierías de Lanzarote,
Ilmos. Sres. Académicos,
Señoras y Señores,
Colegas y Amigos:

Agradecimientos

Mis primeras palabras en este solemne acto no pueden ser otras que las de expresión de agradecimiento a las personas que han elevado la propuesta de mi nombre para ocupar el alto honor de Académico Correspondiente en Tenerife de esta prestigiosa institución.

Me consta que este honor se debe a la generosidad de su Presidente, el Dr. D. Francisco González de Posada, y de su Secretaria, la Dra. Dña. Dominga Trujillo Jacinto del Castillo, a quienes me une una entrañable amistad, por lo que estoy seguro que es esta última razón, más que los méritos que el candidato podía tener, el motivo principal de la propuesta de la candidatura.

Desde aquí deseo manifestar mi agradecimiento a todos los miembros de la Asamblea General de la Academia que, el pasado día 16 de diciembre de 2008, aceptaron por unanimidad la propuesta de mi ingreso como Académico en la misma. Con el discurso de ingreso asumo la responsabilidad y los compromisos que tan alto honor conlleva.

Muchas gracias, naturalmente, a la Dra. Andrea Brito Alayón, colega y compañera del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de La Laguna, por su apoyo y por haber aceptado realizar mi presentación en este acto.

Elección del tema y objetivos

El tema elegido para el discurso de ingreso está relacionado con el agua, tema siempre de actualidad en Canarias, y de forma particular en Lanzarote, con

escasos recursos hídricos naturales, cuna de la primera desalinizadora de Canarias y que dio lugar al gran desarrollo socio-económico de la isla. Pero además del agua de mar desalinizada, contamos con un nuevo recurso, el de las aguas residuales regeneradas, que debidamente gestionadas ofrecen un futuro prometedor en un marco de sostenibilidad y uso eficiente del agua. Precisamente Lanzarote ha apostado fuertemente por este nuevo recurso.

El reto de la sostenibilidad del agua en Canarias, junto al tiempo dedicado al estudio y a la investigación en materia de la regeneración de las aguas residuales y su reutilización, han inclinado la balanza hacia la elección de este tema para el discurso de ingreso.

Los objetivos marcados en su desarrollo incluyen un análisis de la situación de la reutilización de las aguas en el mundo y sus principales aplicaciones, las tecnologías convencionales y avanzadas para la regeneración, las normativas de reutilización y la situación actual y previsiones de futuro en Canarias.

Introducción.

El agua, sustancia vital para la humanidad, se ha convertido en un motivo de preocupación mundial en las últimas décadas. El incremento demográfico, la industrialización de los países más desarrollados, la creciente contaminación, las variaciones climáticas y las prácticas ineficaces de la gestión del agua, ha dado lugar a situaciones de pronunciado desequilibrio en el balance hídrico en determinadas zonas pobladas del planeta, especialmente en aquellas regiones áridas o semiáridas.

El creciente descenso del volumen y de la calidad de las reservas existentes de agua, junto a los principios aceptados de la conservación del medio ambiente a través de un desarrollo sostenible, ha dado lugar al planteamiento de soluciones alternativas que puedan paliar el déficit de recursos naturales de agua dulce. Entre estas alternativas viables aparece, entre otras, la *reutilización de las aguas residuales*, una vez regeneradas y adecuadas al uso o destino final (Mujeriego, 2000); (Anderson, 2001); (MetCalf&Eddy, 1995); (Asano, 2006).

Aunque la consideración del agua residual como recurso, en vez de residuo, es relativamente reciente, su reutilización comienza con la práctica histórica de la evacuación y aplicación al terreno. El mayor impulso de esta práctica comienza hacia 1960, en los Estados Unidos, con la puesta en marcha de un proyecto de gran alcance de reutilización planificada, destinado a la recarga de acuíferos en California con agua residual regenerada. Las tecnologías avanzadas de tratamiento del agua debían garantizar la ausencia de riesgos de contaminación en las masas acuáticas de los acuíferos recargados (MetCalf&Eddy, 1995).

Todo proyecto de regeneración de aguas residuales plantea dos requisitos básicos:

- definición de los niveles de calidad adecuados a los usos que se le vaya a dar al agua regenerada

- establecimiento de los procesos de tratamiento para alcanzar los límites de calidad para cada uno de los usos previstos

En la figura 1 se representa la calidad relativa de las aguas naturales, potables y residuales, y los niveles conseguidos en función de su tratamiento.

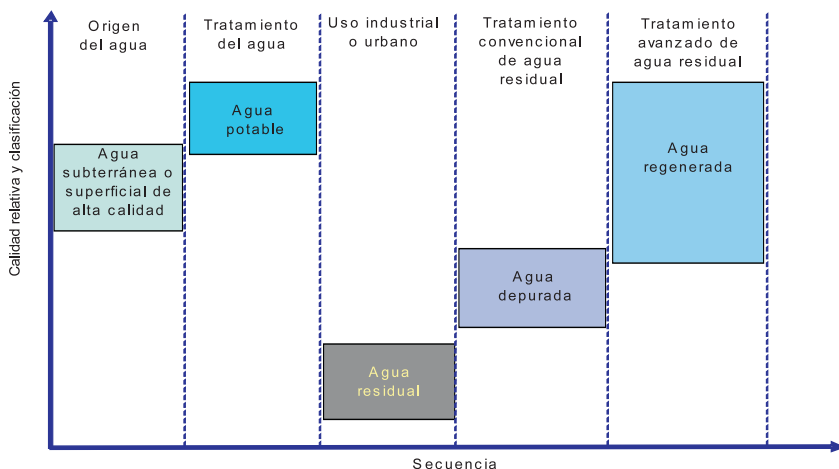


Figura 1. Calidad relativa del agua según el uso y tratamiento.

Los avances conseguidos en los últimos años en los procesos de tratamiento de las aguas residuales han conseguido aumentar, de forma significativa, la capacidad de los países para producir aguas regeneradas, de calidad aceptable y a costes moderados, que pueden servir como alternativa para contribuir a paliar la escasez de los recursos naturales de agua, especialmente en aquellos países con alto desequilibrio del balance hídrico.

Tecnologías de depuración y de regeneración de aguas residuales.

Tecnologías convencionales

El tratamiento convencional de las aguas residuales corresponde a un conjunto de procesos y operaciones, dispuestas en forma secuencial, que tienen por objetivo la separación de los componentes contaminantes de las aguas, y constan generalmente de tres etapas consecutivas.

La primera de las etapas tiene por objeto la separación o eliminación de las sustancias sólidas, de tamaños relativamente grandes, junto a los aceites y grasas presentes en el agua. Se utilizan procesos mecánicos y físicos y al conjunto se le denomina pretratamiento.

La segunda etapa está destinada a separar los sólidos en suspensión de pequeño tamaño que pueden sedimentar a una velocidad apreciable. Es la etapa de sedimentación primaria.

La tercera etapa tiene como función la eliminación de la materia orgánica disuelta en el agua, no separable por métodos físicos tradicionales. Cuando esta materia orgánica disuelta es biodegradable, el proceso de oxidación biológica es el más efectivo y económico, por lo que es el más utilizado en la práctica común. Los microorganismos, de varias especies, pero principalmente bacterias, utilizan como alimentación la materia orgánica del agua, en presencia de oxígeno, para su actividad vital y para su reproducción; estas bacterias activas se separan del agua y se devuelven al reactor biológico para aumentar su concentración e incrementar así la efectividad en la depuración del agua. Esta separación se realiza en los sistemas convencionales en un clarificador que actúa por gravedad (clarificador secundario). El agua sobrenadante constituye el efluente secundario de la planta de tratamiento, y generalmente es apto para vertido a través de emisarios submarinos.

Sin embargo, si este efluente se desea reutilizar en diferentes aplicaciones, es necesario someterlo a otros tratamientos para proporcionarle la calidad exigible a la aplicación oportuna (aguas regeneradas). Al conjunto de tratamientos adicionales se le denomina tratamiento terciario.

La reutilización de las aguas residuales tratadas requieren de tratamientos terciarios avanzados, entre los que se incluye la filtración por arena, la desinfección, la desalinización, la micro y ultrafiltración por membranas, y otras.

El esquema genérico del tratamiento convencional de las aguas residuales domésticas se presenta en la figura 2.

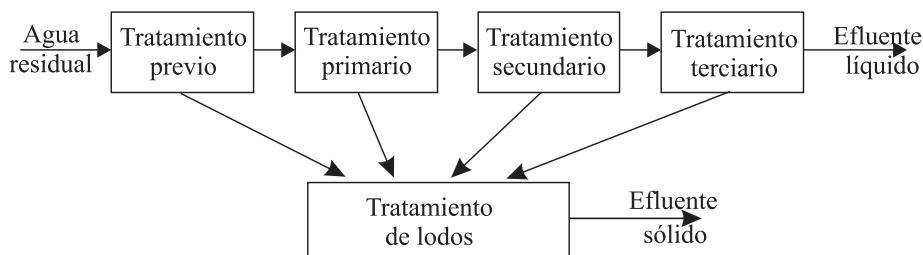


Figura 2. Etapas del tratamiento convencional de las aguas residuales.

Las nuevas tecnologías: reactores biológicos de membranas (RBM)

Las normativas sobre calidad de los vertidos a masas acuáticas, cauces y ríos, especialmente en zonas declaradas como sensibles, son cada vez más exigentes, lo que ha llevado a sustituir el término tratamiento de depuración por el de regeneración de las aguas residuales, de forma que los procesos aplicados sean capaces de proporcionar efluentes de calidad de agua prácticamente equivalente a la que tenía antes de su uso. Para conseguir esa calidad es necesario aplicar tecnologías más sofisticadas y más caras que las utilizadas en los procesos convencionales.

Las tecnologías emergentes de mayor éxito en el mercado internacional para la regeneración de aguas residuales utilizan membranas de ultrafiltración en combinación con el proceso biológico de lodos activados, dando lugar a la denominación de Reactores Biológicos de Membranas (RBM).

Un RBM es esencialmente un proceso de lodos activados en el que se ha sustituido el clarificador de separación de biomasa por un sistema de filtración por membranas de ultrafiltración, que actúa de barrera total frente a sólidos en suspensión (incluye bacterias y gran parte de virus). La mayoría de los RBM actuales tienen las membranas de ultrafiltración sumergidas en el reactor, en contacto con la biomasa bacteriana en suspensión (figura 3).

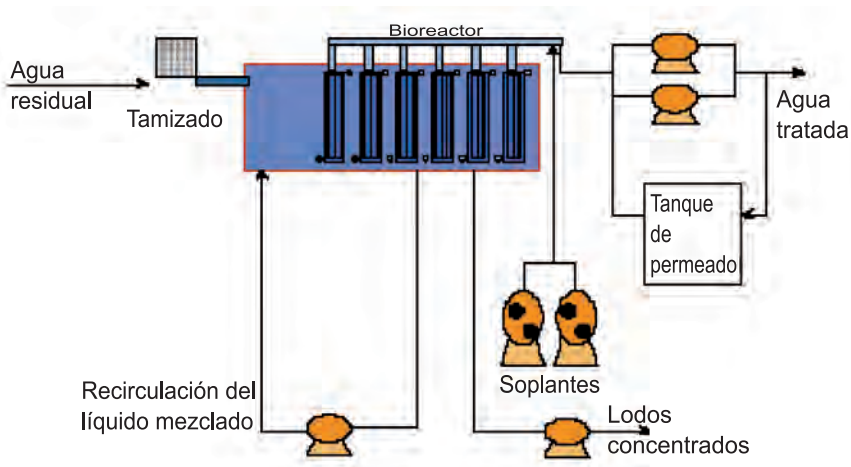


Figura 3. Diagrama típico de un RBM con membranas sumergidas.

El agua ultrafiltrada, denominada permeado, constituye el agua tratada, mientras el rechazo de la membrana (biomasa) queda en el reactor, agitado por aire, formando el líquido mezcla. Una vez alcanzada la concentración de biomasa deseada en el reactor se extrae una corriente de lodos concentrados para mantener régimen estacionario en la operación.

Las membranas de ultrafiltración utilizadas comúnmente en los RBM son de dos tipos básicos: planas y tubulares poliméricas de fibra hueca, siendo estas últimas las más frecuentes (figura 4). Necesitan un ligero vacío para conseguir la filtración, que se hace generalmente en el sentido del exterior al interior de la fibra. A medida que se extrae el permeado, la fibra aumenta su resistencia al paso de líquido debido a su ensuciamiento, por lo cual, para mantener el caudal de permeado, es necesario aumentar el vacío hasta alcanzar el límite mecánico que soporta la propia membrana.

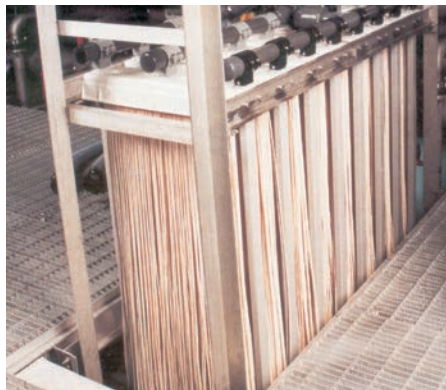


Figura 4. Membranas de fibra hueca.

Para reducir la velocidad de ensuciamiento de la membrana, y con ello aumentar su vida operativa, se recurre a procesos de limpieza mecánica periódica a través de un lavado con permeado por inversión de flujo (retrolavado) durante cortos periodos de tiempo. De esta forma se elimina la capa externa de ensuciamiento de fibra y parte de las partículas que se han introducido en sus poros. Por otra parte, cada cierto tiempo es necesario realizar una limpieza de tipo químico para recuperar el estado cuasi inicial de la membrana.

Con objeto de provocar alta turbulencia en las proximidades a la superficie filtrante externa de las membranas, y reducir así la velocidad de ensuciamiento, se introduce por el fondo de cada módulo de membranas un flujo de aire en forma de burbujas gruesas, en régimen continuo o intermitente.

En los RBM se puede utilizar en el reactor una concentración alta de biomasa, lo que hace que el sistema resulte más compacto y efectivo en la eliminación de la materia orgánica disuelta. Sin embargo, tal concentración no puede ser excesivamente alta debido a problemas de diversa índole, tales como la limitación en la transferencia de oxígeno, el incremento de la viscosidad del líquido mezclado, los cambios en los mecanismos de ensuciamiento de las membranas, etc.

Las nuevas tecnologías de membranas se van imponiendo a gran velocidad en el mercado pero sus costes son aún elevados. El problema principal está en el ensuciamiento de las membranas durante la filtración, fenómeno todavía pendiente de resolver definitivamente, pues los mecanismos son muy complejos, especialmente cuando intervienen procesos biológicos acoplados, como en este caso.

Usos de las aguas residuales regeneradas.

Las aguas residuales regeneradas se han empleado en diferentes usos, de los cuales, los más destacables son:

- 1) la reutilización urbana
- 2) la reutilización agrícola
- 3) la reutilización recreativa (pesca, navegación, etc)
- 4) la mejora y preservación del medio ambiente
- 5) la recarga de acuíferos
- 6) la reutilización industrial
- 7) la reutilización potable

La figura 5 representa el nuevo ciclo del agua, que incluye la reutilización de las aguas residuales regeneradas (Asano, 1998).

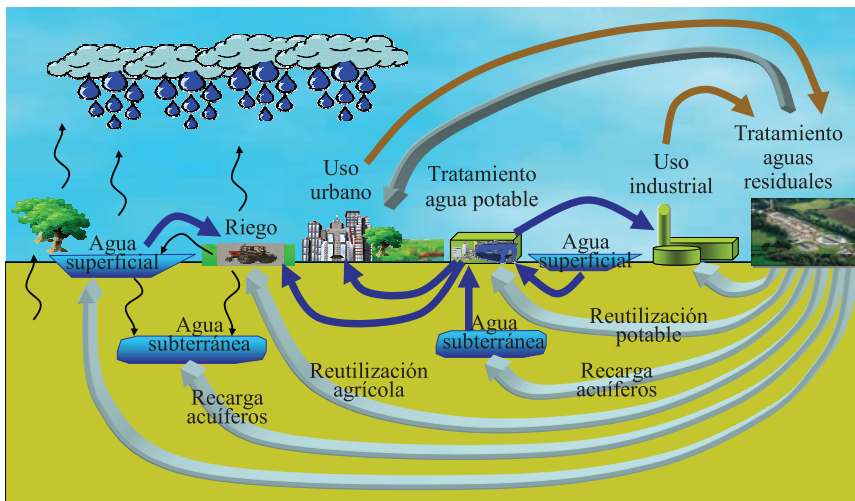


Figura 5. Nuevo ciclo del agua (adaptado de Asano, 1998).

En la tabla 1 se presenta un resumen de los diferentes tipos de reutilización y aplicaciones de las aguas residuales regeneradas. En la distribución de los diferentes tipos de reutilización influye la ubicación geográfica del lugar donde se va a reutilizar el agua. Por ejemplo, en áreas urbanas la principal demanda de agua proviene de la industria, el comercio y las necesidades de uso no potable. Sin embargo, en regiones agrícolas áridas o semiáridas la principal demanda de agua procede de la agricultura.

En la actualidad, las aplicaciones más importantes de las aguas residuales regeneradas son la reutilización urbana, en la que puede incluirse el uso recreativo y parte del medioambiental, la reutilización agrícola y la recarga de acuíferos. La reutilización potable directa, que no es de gran demanda en la actualidad, presenta uno de los retos más importantes de la reutilización del agua regenerada desde el punto de vista tecnológico, económico y social.

Tabla 1. Usos de las aguas residuales regeneradas (USEPA, 1992)

Tipo de reutilización		Ejemplos
Uso urbano	No restringido	Riego de parques y jardines públicos, de colegios, etc.; Servicios contra incendios; Construcción; Fuentes ornamentales; Cisternas de sanitarios; Aire acondicionado.
	Restringido para riego	Riego de áreas donde el acceso público es infrecuente y controlado. Campos de golf; Cementerios; Zonas residenciales.
Riego agrícola	Consumo humano	Productos cultivados para el consumo humano en crudo.
	Consumo NO humano Consumo humano después de procesado	Forraje; Fibra; Granos; Pastos.
Uso recreativo	No restringido	Posibilidad de contacto con el cuerpo humano: lagos y estanques en los que sea posible el baño; fabricación de nieve.
	Restringido	Lugares destinados a la pesca, la navegación, y otras actividades que no impliquen el contacto directo con el agua.
Aplicaciones medioambientales		Creación de marismas artificiales, mejora de marismas naturales y mantenimiento de cauces naturales.
Recarga de acuíferos		Relleno de acuíferos sobreexplotados; Control de la intrusión marina.
Uso industrial		Sistemas de refrigeración, agua de proceso.
Uso potable		Mezcla con el agua municipal de abasto, suministro directo al usuario.

Reutilización urbana

La reutilización urbana consiste en satisfacer las necesidades secundarias de agua en las ciudades (jardinería, incendios, lavado de calles y automóviles, fuentes, lagos recreativos, parques, patios, cisternas de sanitarios, etc.). El desarrollo de los sistemas duales de distribución de aguas (segregación de las redes del suministro de agua potable de las redes de agua no potable) es una práctica que aumenta día a día, especialmente en regiones donde el consumo de agua es muy elevado.

Reutilización agrícola

Teniendo en cuenta que cerca del 70% de la demanda mundial de agua corresponde a la agricultura, queda justificado que la reutilización agrícola (tanto para cultivos hortícolas -consumo crudo- como de cultivos con procesamiento posterior) constituye la aplicación más extendida del agua residual regenerada.

Este tipo de aguas se puede utilizar con riego localizado, tales como aspersión, microaspersión y goteo, o bien por inundación, y se convierte en un recurso indispensable para poder mejorar la productividad agrícola en aquellos lugares con escasez de agua. Además de suponer un recurso de bajo coste, aparecen otros beneficios añadidos como la mejora de los rendimientos agrícolas, el ahorro de fertilizantes, y un aumento en la protección contra los daños de las heladas. En países áridos como Egipto, Israel o Túnez, el agua regenerada representa un factor esencial para la producción agrícola.

Recarga de acuíferos

La recarga de acuíferos con aguas residuales regeneradas puede tener varios objetivos, pero en esencia constituye una reutilización potable indirecta planificada. Los objetivos de la recarga artificial de los acuíferos subterráneos incluyen:

- detención del descenso de los niveles del agua subterránea debido a la sobreexplotación
- protección de los acuíferos costeros de la intrusión marina
- almacenamiento de las aguas superficiales para usos futuros

Existen dos técnicas de recarga de agua subterránea, figuras 6:

- vertido superficial sobre el terreno o infiltración
- inyección directa en el acuífero

En recarga por infiltración el agua regenerada se filtra desde las cuencas de vertido a través de la zona insaturada del terreno. La ventaja de la recarga de agua subterránea por vertido superficial es que el suministro subterráneo puede ser rellenado en las cercanías de áreas urbanas y agrícolas donde la escasez de agua subterránea sea severa.

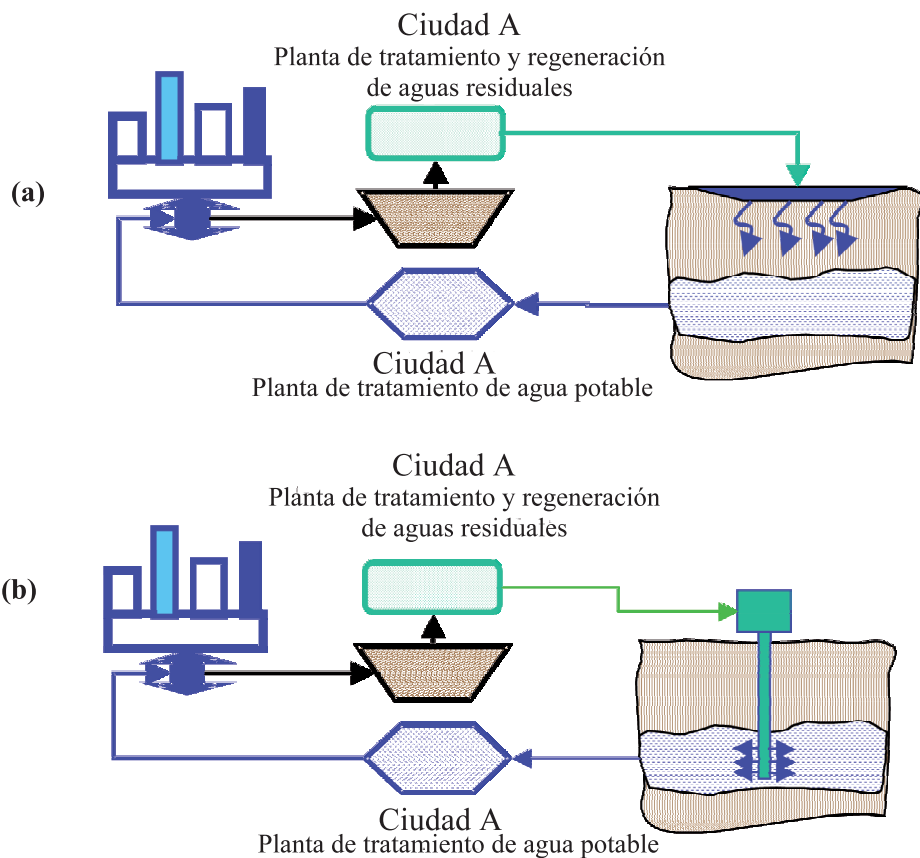


Figura 6. Recarga de acuíferos. a) por infiltración; b) por inyección directa (adaptada de Asano, 1998).

La recarga por inyección directa consiste en un bombeo a presión del agua regenerada directamente en el acuífero. Esta práctica se realiza cuando el agua subterránea se encuentra a mucha profundidad o bien las características del terreno dificulta el vertido superficial.

El grado de regeneración necesaria para obtener un agua de calidad apropiada para la recarga subterránea depende de las características hidrogeológicas del acuífero, y de la cantidad y porcentaje de agua regenerada aplicada (Odendal, 1988); (State of California, 1990); (Hultquist, 1991).

Los factores más importantes para la aceptación de un proyecto de recarga de acuíferos con agua regenerada son los efectos adversos relacionados con la salud pública, los cuales pueden derivarse de la introducción de microorganismos patógenos o cantidades traza de compuestos tóxicos en el agua subterránea, que posteriormente será consumida por los humanos.

Reutilización industrial

El reciclado del agua ha sido realizado con éxito en varias industrias, y en otros casos las aguas residuales urbanas regeneradas han sido utilizadas como un recurso externo para diferentes aplicaciones industriales, tales como agua de refrigeración y agua de procesos.

Uno de los primeros programas de reutilización de agua depurada en la industria fue llevado a cabo en Japón en 1951, para proporcionar agua para una factoría productora de papel en las cercanías de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Mikawashima en Tokyo (Maeda, 1995). En este caso, de la depuradora de Tokyo se obtenía un agua de mejor calidad que la disponible en aquel momento como agua superficial y subterránea, debido a problemas de contaminación y de intrusión marina.

Aparte de las industrias papeleras, el agua regenerada también se utiliza en centrales térmicas e industrias siderúrgicas. La industria minera también ha adoptado el uso de estas aguas en refrigeración, transporte o agua de proceso.

Reutilización potable

La reutilización potable de las aguas regeneradas se clasifica en dos categorías:

- a) reutilización potable indirecta
- b) reutilización potable directa

En la reutilización potable indirecta, el agua regenerada se mezcla con el agua del recurso o acuífero natural, de donde se extrae posteriormente para preparar el suministro de agua potable. Puede ser a su vez reutilización no planificada o planificada, figura 7-a.

La reutilización potable indirecta planificada, en cambio, plantea objetivos concretos, bien programados, tales como incrementar los recursos destinados a agua potable en base a mezclar las aguas regeneradas con las naturales, en proporciones y calidades muy controladas, para su posterior potabilización y suministro como agua de consumo, figura 7-b.

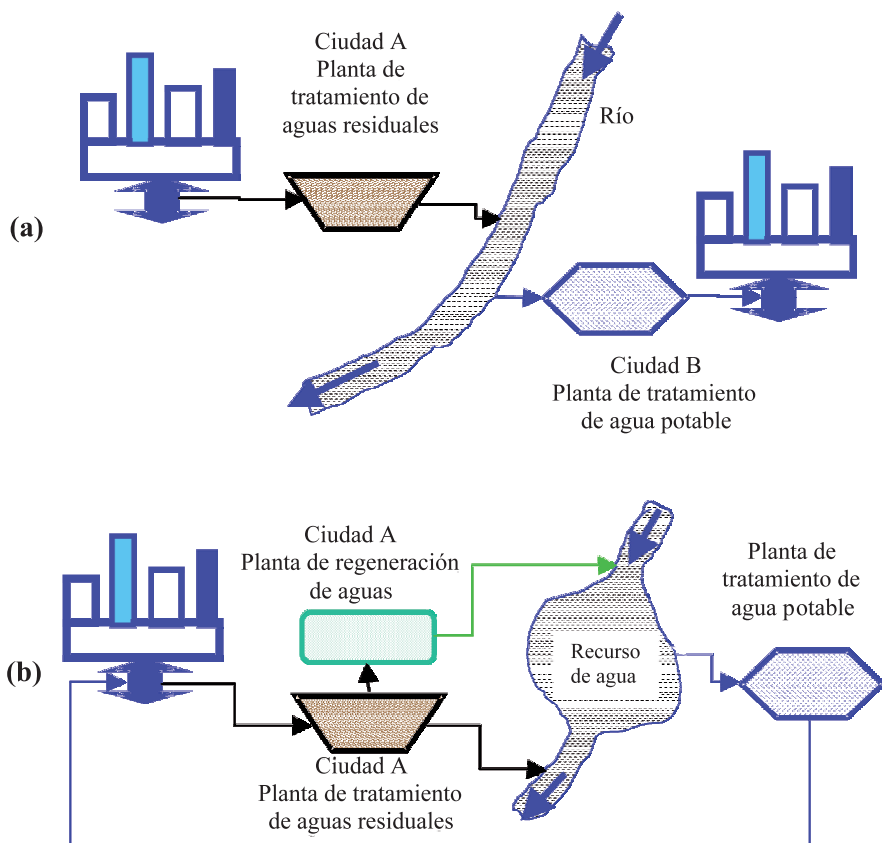


Figura 7. Reutilización potable indirecta. a) no planificada; b) planificada (adaptada de Asano, 1998).

En la reutilización potable directa planificada, el agua regenerada con calidad potable se mezcla directamente en la red de distribución de agua de consumo, figura 8.

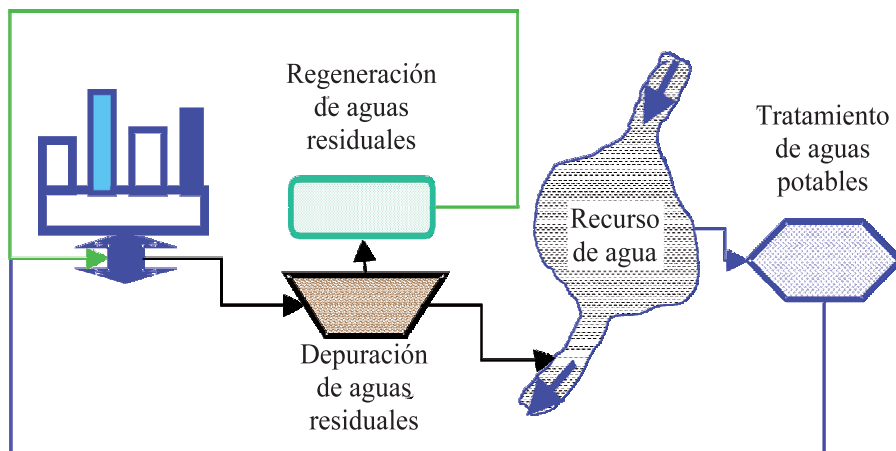


Figura 8. Reutilización potable directa planificada (adaptada de Asano, 1998).

Aunque las cantidades de agua regenerada reutilizadas directamente como agua potable son pequeñas, el interés tanto desde el punto de vista tecnológico como de salud pública es importantísimo y, por tanto, del debate que han originado estas experiencias se han podido formular criterios y estándares de reutilización del agua depurada como agua potable (Asano y Tchobanoglous, 1995; Okun, 1996; Salgot, 2008). El origen de estas aguas despierta recelos en el posible usuario y requiere la aplicación del principio de precaución o cautela, que indica que deben emplearse las aguas regeneradas utilizando los mejores conocimientos técnicos y científicos disponibles en cada momento.

Tendencias en la reutilización de aguas residuales.

Las tendencias en la reutilización de las aguas residuales se dirigen a tres líneas de actuación (Delgado, 2003):

- a) tipos de usos
- b) seguridad
- c) tecnologías

Las tres líneas de actuación están relacionadas entre sí. La tecnología a utilizar depende del tipo de uso del agua regenerada y de los criterios de calidad, físico-química y sanitaria, que requiera cada aplicación.

a) En relación al tipo de usos que se debe dar a las aguas regeneradas, se ha planteado una controversia, particularmente en los EE UU, sobre la modalidad de reutilización más conveniente para el futuro, centrada fundamentalmente entre impulsar la reutilización indirecta para usos potables, o restringir la reutilización a los usos no potables. Cada tipo de aplicación encuentra defensores y detractores (Mujeriego, 2000).

b) Con respecto a la seguridad en el uso de las aguas residuales, una vez regeneradas, en la actualidad se dispone de una gran variedad de guías sanitarias para los diferentes usos ya establecidos. Sin embargo, no existe uniformidad de criterios y cada país o estado propone una norma para un uso concreto que, en muchas ocasiones, difiere mucho de la de otro país para el mismo uso.

Las tendencias en este campo van encaminadas al establecimiento de una guía unificada, basada en criterios de análisis de riesgo real en los usos convencionales de este tipo de recurso hídrico (Anderson, 2001); (Salgot, 2008).

c) En lo que se refiere a tecnologías para la regeneración de aguas residuales, los tratamientos avanzados permiten calidades del agua producto suficientes para las diferentes aplicaciones permitidas en la reutilización. Los efluentes secundarios, obtenidos de los tratamientos biológicos convencionales, no suelen alcanzar la calidad adecuada para la mayor parte de las aplicaciones, por lo que necesitan de un tratamiento terciario, o de una nueva tecnología que resulte más eficiente en su conjunto para alcanzar la calidad precisa. El uso de membranas de micro y ultrafiltración para el tratamiento de efluentes secundarios clarificados es ya una tecnología convencional, que logra una alta calidad en el agua producto y prácticamente libre de bacterias.

Las membranas de ósmosis inversa y la desinfección con diferentes agentes, como etapa avanzada final de regeneración de aguas, suelen proporcionar efluentes de calidad potable. Sin embargo, los problemas reales de la reutilización

potable no están en la tecnología, ni en la seguridad, ni quizá en el coste, sino más bien en factores de otra naturaleza, pues es bien conocido la existencia de muchos casos de reutilización potables indirecta, no planificada, tanto en EE UU como en el resto del mundo sin que se hayan dado a conocer problemas importantes de seguridad (Harris, 1999).

Normativas sobre la reutilización de las aguas.

Existen dos aproximaciones tradicionales sobre normas o recomendaciones de calidad para la reutilización de las aguas regeneradas: unas muy restrictivas, tipo California, en las que se requiere que el agua regenerada sea prácticamente potable (2,2 Colif. Tot./100 mL para riego sin restricciones) y otras que son menos exigentes, tipo OMS, que requieren menos de 1000 E. coli /100mL para el riego sin restricciones.

No obstante, después de 2004 se han establecido nuevas bases para las normativas, en las cuales se contempla el establecimiento de límites de calidad aceptable en función de las capacidades de depuración y reutilización, la aceptación social, y el riesgo de contraer una enfermedad o de que haya efectos tóxicos derivados de la reutilización (Salgot, 2008).

En España, el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre (RD), establece el régimen jurídico de la **reutilización de las aguas depuradas (Ministerio de la Presidencia, 2007)**.

En el RD, además de establecer mecanismos legales que permiten disponer del agua residual depurada como recurso alternativo, se impulsan planes de reutilización y de uso más eficiente del agua.

En el apartado de definiciones se establecen los conceptos básicos de los términos a utilizar a lo largo de la norma, tales como reutilización, aguas depuradas, aguas regeneradas, y otros. Asimismo, se determinan los requisitos necesarios para llevar a cabo la actividad de uso de las aguas regeneradas, los procedimientos para obtener la concesión exigida en la Ley y las exigencias de calidad precisas en cada caso.

Usos permitidos y prohibidos para las aguas regeneradas.

De acuerdo con el RD, las aguas regeneradas podrán utilizarse para usos:

- urbanos
- agrícolas
- industriales

- recreativos
- ambientales

Se prohíbe la reutilización de aguas para los siguientes usos:

- consumo humano
- la industria alimentaria
- instalaciones hospitalarias y otros usos similares
- cultivo de moluscos filtradores en acuicultura
- recreativo como agua de baño
- en torres de refrigeración y condensadores evaporativos
- en fuentes y láminas ornamentales en espacios públicos o interiores de edificios públicos

Criterios de calidad

1. Las aguas regeneradas deben cumplir en el punto de entrega los criterios de calidad según usos establecidos en el anexo I.A del RD. Si un agua regenerada está destinada a varios usos serán de aplicación los valores más exigentes de los usos previstos.

2. Los organismos de cuenca, en las resoluciones por las que otorguen las concesiones o autorizaciones de reutilización, podrán fijar valores para otros parámetros o contaminantes que puedan estar presentes en el agua regenerada o lo prevea la normativa sectorial de aplicación al uso previsto para la reutilización.

Uso agrícola de las aguas residuales regeneradas

El uso agrícola de las Aguas Residuales Regeneradas (ARG) es la aplicación más extendida y, por ello, la más estudiada.

Los criterios de calidad mínima contemplados en el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, hacen referencia de manera especial a parámetros sanitarios de las aguas, y de forma secundaria, con carácter general, a ciertos parámetros físico-químicos y agronómicos.

En el Anexo I.A, del RD, sobre criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos, y en relación al uso agrícola, se hace mención a tres tipos de calidad de agua para riego, según el tipo de cultivo a regar y el sistema de riego a utilizar. Los parámetros utilizados para establecer la calidad (Valor Máximo Admisible = VMA) son: nematodos intestinales, *escherichia coli*, sólidos en

suspensión y turbidez. En otras contaminantes se hace referencia a la legionella spp y a la salmonella.

Los parámetros de interés agronómico contemplados son: conductividad, SAR, boro, arsénico, berilio, cadmio cobalto, cromo, cobre, manganeso, molibdeno, níquel, selenio y vanadio, estableciendo límites máximos con carácter generalizado.

Debe tenerse en cuenta que los parámetros agronómicos de las aguas para riego y sus límites deberán estar íntimamente relacionados con el tipo de cultivo a regar y, sobre todo, con el tipo de suelo.

La reutilización de aguas en el mundo.

En los últimos veinte años se ha producido un incremento importante de la reutilización de las aguas regeneradas en muchos lugares del mundo, habiéndose convertido en un componente importante en la gestión integrada de los recursos de agua. Este crecimiento de la reutilización está relacionado con la escasez de agua y con la preocupación por el medio ambiente.

Los Estados Unidos, especialmente California, cuenta con una amplia experiencia en reutilización, tanto en número de instalaciones dedicadas como en volumen total anual de agua reutilizada.

Europa, con menores necesidades de agua, se ha incorporado a la práctica de la reutilización con mayor timidez. España, particularmente, se encuentra actualmente inmersa en una gran apuesta por la reutilización de las aguas regeneradas.

Oriente Medio, Norte de África y Japón necesitan de la reutilización y disponen de alta tecnología para la regeneración. Australia y Sudáfrica aparecen como países emergentes en la regeneración de las aguas residuales y su reutilización.

No obstante, aunque se considera una práctica en expansión, la reutilización de las aguas regeneradas en el mundo representa escasamente el 0,2% de la demanda total de agua y el 5% de las aguas residuales tratadas (Lazarova, 2006). La figura 9 presenta un resumen gráfico de la reutilización de aguas a nivel mundial.

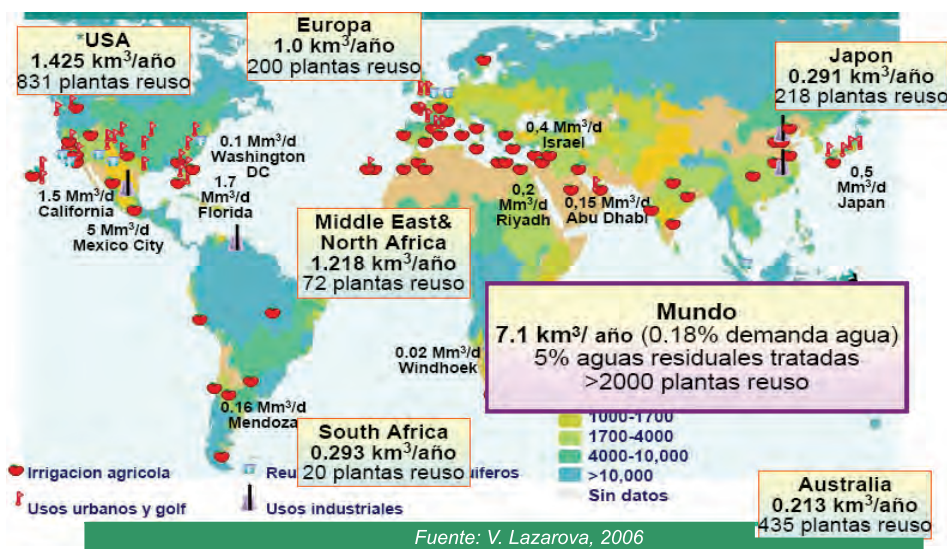


Figura 9. La reutilización de aguas en el mundo (Lazarova, 2006).

Situación actual y futura de la reutilización en Canarias.

Canarias, considerada como región árida en términos de recursos hídricos, ha realizado un gran esfuerzo en la búsqueda y la explotación de los escasos recursos naturales de agua existentes (galerías y pozos).

El ya tradicional “Problema del Agua en Canarias” se puede resumir en los siguientes cinco puntos:

- recursos naturales de agua escasos en general
- alto coste de aprovechamiento
- diferencias en la distribución por islas
- progresivo agotamiento de las reservas naturales
- progresivo empeoramiento de la calidad de las aguas

Con carácter general, las islas orientales disponen de menos recursos naturales de agua que las occidentales. Las aguas subterráneas han sido el principal y casi exclusivo recurso hídrico tradicional de las islas. No obstante, cada isla presenta peculiaridades de tipo geográfico y climático que hacen que la disponibilidad de agua subterránea difiera notablemente entre las mismas.

Las islas más occidentales como La Palma y La Gomera disponen de abundantes recursos convencionales que les han permitido, hasta el momento, no tener que recurrir a recursos alternativos. Por el contrario, en las islas orientales desde hace décadas ha sido necesario desalinizar agua de mar para poder abastecer a la población, tabla 2.

En relación con la demanda de agua, el sector agrícola representa la actividad de mayor consumo de agua, aunque difiere en cada una de las islas, tabla 3.

Los valores medios de distribución de recursos y consumos de agua, globales de Canarias, se indica en la figura 10, en la que puede observarse que el sector agrícola consume más del 50% del agua, y que más de la tercera parte de los recursos procedían ya, en el año 2002, de la desalación y de la reutilización de las aguas depuradas (www.fcca.es).

Tabla 2. Recursos de agua en Canarias (2002)

Recursos (2002)	hm ³ /año						
	Tenerife	G. Canaria	La Palma	La Gomera	El Hierro	Fuertev.	Lanzarote
Superficiales	5,0	11,2	3,5	3,4	0,1	1,8	0,1
Subterráneos	191,3	80,2	72,9	11,1	1,9	1,2	0,1
Desalinizac.	6,7	56,9	0,1	0	0,5	10,9	16,9
Reutilizac.	8,0	7,2	0,1	0	0	1,4	3,8
Total, hm ³ /año	211,0	155,5	76,6	14,5	2,5	15,3	20,9

Tabla 3. Consumos de agua en Canarias (2002)

Consumos (2002)	hm ³ /año						
	Tenerife	G. Canaria	La Palma	La Gomera	El Hierro	Fuertev.	Lanzarote
Agrícola	98,2	67,5	48,4	8,7	1,5	1,5	4,8
Urbano	69,7	49,8	5,3	1,1	0,6	3,9	5,4
Turístico	23,2	23,2	1,1	1,1	0,1	6,6	8,2
Industrial	5,3	6,9	0,1	0	0	0,5	0,7
Total, hm ³ /año	196,4	147,4	54,9	10,9	2,2	12,5	19,1

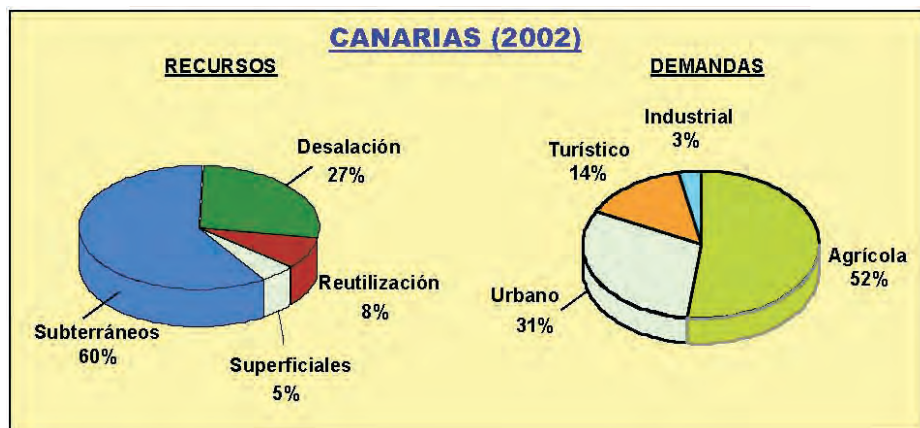


Figura 10. Recursos y demandas globales de agua en Canarias (2002).

El agua de mar desalinizada y las aguas residuales regeneradas representan, por ahora, los recursos hídricos alternativos, indispensables para mantener la sostenibilidad de los acuíferos naturales y la actividad económica de las islas. Estas fuentes alternativas de suministro van tomando cada día mayor importancia y aceptación, y constituyen lo que podríamos denominar “*las nuevas aguas*” de Canarias.

Las aguas regeneradas en Canarias

La reutilización de las aguas regeneradas ha surgido como una necesidad en aquellas islas en las que no es posible satisfacer la demanda de agua con los recursos naturales existentes. Las que disponen de suficientes recursos naturales no han tomado en consideración la reutilización de aguas regeneradas.

En las islas en que se reutiliza el agua regenerada, la principal aplicación es el riego, tanto agrícola como de campos de golf y parques y jardines, Tabla 4. Cabe destacar que la demanda de agua para riego en las islas de Tenerife y Gran Canaria representa el 66,4 y el 42,9% del consumo de agua depurada, respectivamente (Delgado, 2008). La figura 11 refleja los porcentajes comparados de las aplicaciones más importantes de la reutilización de las aguas regeneradas en Canarias.

La reutilización del agua regenerada juega un papel clave en el desarrollo económico de aquellas islas con pocos recursos naturales de agua y con una economía basada en el turismo (Lanzarote y Fuerteventura). En estos casos, la

aplicación básica del agua regenerada es el riego de zonas verdes, especialmente campos de golf y parques y jardines.

En Tenerife, desde 1993 se puso en marcha un sistema de reutilización planificada en el que se hace uso del agua regenerada de las depuradoras de Santa Cruz y de Adeje-Arona.

Casi la totalidad del agua reutilizada tiene como destino el riego de plataneras y de campos de golf, en el sur de la isla, y solamente una fracción pequeña se destina al riego de parques y jardines de la ciudad de Santa Cruz (11,3%). El volumen de agua reutilizada, en el año 2005, fue de 8,8 hm³.

Tabla 4. Destinos del agua regenerada y volúmenes anuales reutilizados en Canarias, año 2005.

Destino	hm ³				Total
	Lanzarote	Fuerteventura	G. Canaria	Tenerife	
Agricultura	0,40	0,00	4,00	5,89	10,29
Campos de golf	0,55	0,40	-	1,93	2,88
Parques/jardines	0,66	5,34	5,34 *	0,99	12,22
Total	1,61	5,63	9,34	8,81	25,39

* Parques y jardines y campos de golf conjuntamente.

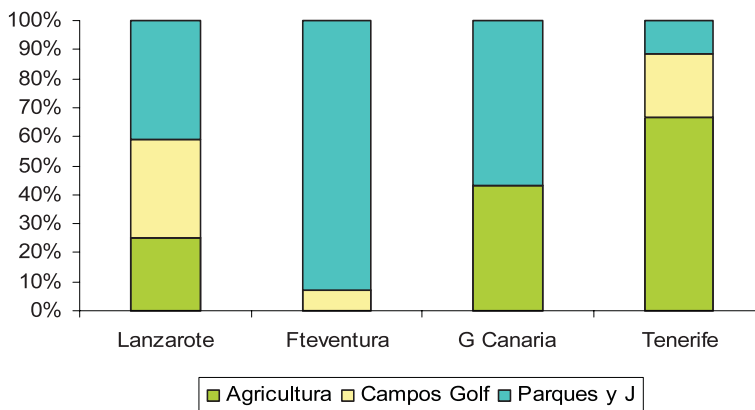


Figura 11. Destinos del agua regenerada en Canarias, 2005.

En Gran Canaria, más del 80% del agua residual regenerada que se reutiliza procede de cinco grandes depuradoras localizadas en los municipios de Las Palmas de Gran Canaria, Telde, Agüimes, San Bartolomé de Tirajana y Mogán. Su principal destino es el riego de parques y jardines y campos de golf (57,1%, principalmente en la zona sur de la isla) y el riego agrícola (42,9%, platanera y tomates, fundamentalmente en la zona este y norte de la isla). El volumen de agua reutilizada, en el año 2005, fue de 9,3 hm³.

En Lanzarote, el agua que se reutiliza procede de las cuatro principales depuradoras de la isla: Arrecife, Costa Teguise, Tías y Playa Blanca. La mayor parte del agua se reutiliza en el riego de zonas verdes (campos de golf y parques y jardines); sólo el 25% tiene como destino el riego agrícola. El volumen de agua regenerada reutilizada en 2005 fue de 1,6 hm³.

En Fuerteventura, el agua que se reutiliza procede tanto de depuradoras públicas (12) como privadas (42) pertenecientes a complejos turísticos. El principal destino del agua regenerada es el riego de parques y jardines (93%) en áreas turísticas.

El análisis de la evolución de la reutilización de las aguas regeneradas en Canarias, durante el periodo 2000-2005, pone de manifiesto ciertas singularidades que merece la pena comentar.

En las islas con mayor experiencia en reutilización (Tenerife y Gran Canaria) se ha producido un aumento pequeño del volumen de agua reutilizada. En el caso particular de Tenerife se aprecia un estancamiento de la reutilización, cuyas razones sería motivo de un análisis en profundidad. En cambio, en las islas de Lanzarote y Fuerteventura, en las que la reutilización comenzó más recientemente, se ha producido un crecimiento espectacular durante este periodo en estudio, tabla 5 (Delgado, 2008).

Tabla 5. Evolución de la reutilización de agua en Canarias en el periodo 2000-2005

Año	hm ³				
	Lanzarote	Fuerteventura	Gran Canaria	Tenerife	Total
2000	0,33	1,40	8,40	8,75	18,88
2005	1,61	5,63	9,34	8,81	25,39
% crecimiento	390,4	302,2	11,2	0,7	34,5

Resumen y conclusiones.

A modo de resumen y conclusiones generales respecto a las aguas regeneradas y sus aplicaciones, especialmente en zonas con escasez de recursos hídricos, se pueden hacer las siguientes consideraciones:

- las aguas residuales urbanas regeneradas, con calidad físico-química y sanitaria adecuada, constituyen un recurso apto para el riego agrícola, de campos de golf y de parques y jardines y otros usos no potables
- las normas de reutilización de las aguas regeneradas está regulada mediante el REAL DECRETO 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas. (BOE núm. 294, Sábado 8 diciembre 2007) (Ministerio de la Presidencia, 2007)
- todas las islas necesitan realizar un esfuerzo en infraestructuras de saneamiento, de depuración y de reutilización para el aprovechamiento máximo de este recurso
- la elección adecuada de los procesos de depuración y regeneración, la eficacia en la gestión y el uso seguro de este recurso, en sus distintas modalidades, precisan de controles analíticos rigurosos, de programas de seguimiento y del establecimiento de líneas I+D bien coordinadas
- la confianza en el uso de las aguas regeneradas, y con ello la aceptación por parte de todos los agentes implicados, está vinculada a un conjunto amplio y complejo de factores socio-económicos, pero se consideran prioritarios los relacionados con la calidad sanitaria y físico-química del agua, el coste, la garantía de suministro y la eficacia de las empresas encargadas de su gestión

Las *aguas regeneradas* y las *aguas desalinizadas* representan las *nuevas aguas* con futuro en Canarias. No son recursos competitivos entre sí sino complementarios y alternativos a los escasos recursos naturales de agua. Necesitan ser gestionadas de forma sostenible, esto es, mediante análisis cuidadoso de su incidencia en una economía frágil, en la que es necesario mantener un equilibrio exquisito entre los diferentes sectores económicos productivos y el entorno medioambiental.

El coste económico no debe ser el único factor que decida la aplicación de uno de los dos recursos alternativos; si se dispone de agua regenerada de suficiente calidad para una aplicación determinada (por ejemplo riego agrícola o de campos de golf) no se debería utilizar el agua desalinizada en esta aplicación aunque su coste económico se aproxime al anterior. Las aguas desalinizadas sólo deberían utilizarse en aplicaciones donde se necesite un bajo riesgo.

Bibliografía.

- Anderson, J. et al., (2001). Climbing the ladder: a step by step approach to international guidelines for water recycling. *Water Science & Technology*, **43**(10), pp. 1-8.
- Asano, T., (1998). *Wastewater Reclamation and Reuse*. CRC Press Technomic Publishing Company, Inc. USA.
- Asano, T. y Tchobanoglous, G., (1995). Drinking repurified wastewater. *Journal of Environmental Engineering (ASCE)*, 121(8).
- Asano, T. (2006). *Water Reuse: Issues, Technologies and Applications*. MetCalf&Eddy y AECOM. McGraw-Hill.
- Delgado, S.; Rodríguez-Gómez, L.; Vera, L.; Díaz, F; Rodríguez, J.; Álvarez, M.; Martel, G., (2008). La reutilización del agua depurada en Canarias. ¿Expansión o estancamiento?. *Anuario del Instituto de Estudios Canarios, L-LI, [2006-2007] Vol. II*, 819-827.
- Delgado Díaz, S., (2003). Tendencias en la reutilización de aguas. El caso de Tenerife. *Tecnología del Agua*, Nº 236, pp 30-42.
- FCCA, (2005). Fundación Centro Canario del Agua (www.fcca.es).
- Harris, R. (1999). *Water Environment and Technology*, vol. 11, Nº 6, pp 8-9.
- Hultquist, R.H.; Sakaji, R.H. y Asano, T. 1991. Proposed California regulations for ground-water recharge with reclaimed municipal wastewater. In *American Society of Civil Engineers Environmental Engineering Proceedings*, 759-764. Specialty Conference/EE Div/ASCE. New York, New York.
- Lazarova, V. and Bahri, A. (eds), (2006). *Water Reuse for Irrigation: agriculture, landscapes and turf grass*. CRC Press (Louisiana, USA).
- Maeda, M.; Nakada, K.; Kawamoto, K. y Ikeda, M. (1995). Area-wide use of reclaimed water in Tokyo, Japan. *Proceedings of the Second International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse: Symposium Preprint Book 1*, 55-62, Octubre 17-20, 1995, Iraklio, Grecia.
- MetCalf&Eddy, (1995). *Ingeniería de las aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. McGraw-Hill.
- Ministerio de la Presidencia, (2007). Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. BOE núm. 294.
- Mujeriego, R. (2000). *Química e Industria*, febrero.
- Odendaal, P.E. y Hattingh, W.H. (1988). The status of potable reuse research in South Africa. In *Proceedings of Water Reuse Symposium IV, Implementing Water Reuse*, 1339, AWWA Research Foundation, Denver, Colorado.
- Okun, D.A. (1996). A preference for nonpotable urban water reuse over drinking “repurified wastewater”. *Journal of Environmental Engineering*.
- Salgot, M. (2008). Panorama actual de la reutilización a nivel internacional. Seminario de Introducción a la reutilización de aguas depuradas y exposición de casos prácticos. Organizado ITC (proyecto Aquatlan II), Lanzarot2, 17 y 18 Octubre de 2007.
- State of California., (1990). *California Municipal Wastewater Reclamation in 1987*. State Water Resources Control Board, Office of Water Recycling, June, Sacramento, California.

COLECCIÓN: *DISCURSOS ACADÉMICOS*

1. *La Academia de Ciencias e Ingenierías de Lanzarote en el contexto histórico del movimiento académico.* (Académico de Número).
Francisco González de Posada. 20 de mayo de 2003. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
2. *D. Blas Cabrera Topham y sus hijos.* (Académico de Número).
José E. Cabrera Ramírez. 21 de mayo de 2003. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
3. *Buscando la materia oscura del Universo en forma de partículas elementales débiles.* (Académico de Honor).
Blas Cabrera Navarro. 7 de julio de 2003. Amigos de la Cultura Científica.
4. *El sistema de posicionamiento global (GPS): en torno a la Navegación.* (Académico de Número).
Abelardo Bethencourt Fernández. 16 de julio de 2003. Amigos de la Cultura Científica.
5. *Cálculos y conceptos en la historia del hormigón armado.* (Académico de Honor).
José Calavera Ruiz. 18 de julio de 2003. INTEMAC.
6. *Un modelo para la delimitación teórica, estructuración histórica y organización docente de las disciplinas científicas: el caso de la matemática.* (Académico de Número).
Francisco A. González Redondo. 23 de julio de 2003. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
7. *Sistemas de información centrados en red.* (Académico de Número).
Silvano Corujo Rodríguez. 24 de julio de 2003. Excmo. Ayuntamiento de San Bartolomé.
8. *El exilio de Blas Cabrera.* (Académica de Número).
Dominga Trujillo Jacinto del Castillo. 18 de noviembre de 2003. Departamento de Física Fundamental y Experimental, Electrónica y Sistemas. Universidad de La Laguna.
9. *Tres productos históricos en la economía de Lanzarote: la orchilla, la barrilla y la cochinilla.* (Académico Correspondiente).
Agustín Pallarés Padilla. 20 de mayo de 2004. Amigos de la Cultura Científica.
10. *En torno a la nutrición: gordos y flacos en la pintura.* (Académico de Honor).
Amador Schüller Pérez. 5 de julio de 2004. Real Academia Nacional de Medicina.
11. *La etnografía de Lanzarote: “El Museo Tanit”.* (Académico Correspondiente).
José Ferrer Perdomo. 15 de julio de 2004. Museo Etnográfico Tanit.
12. *Mis pequeños dinosaurios. (Memorias de un joven naturalista).* (Académico Correspondiente).
Rafael Arozarena Doblado. 17 diciembre 2004. Amigos de la Cultura Científica.
13. *Laudatio de D. Ramón Pérez Hernández y otros documentos relativos al*
Dr. José Molina Orosa. (Académico de Honor a título póstumo).
7 de marzo de 2005. Amigos de la Cultura Científica.
14. *Blas Cabrera y Albert Einstein.* (Acto de Nombramiento como Académico de Honor a título póstumo del Excmo. Sr. D. **Blas Cabrera Felipe**).
Francisco González de Posada. 20 de mayo de 2005. Amigos de la Cultura Científica.
15. *La flora vascular de la isla de Lanzarote. Algunos problemas por resolver.* (Académico Correspondiente).
Jorge Alfredo Reyes Betancort. 5 de julio de 2005. Jardín de Aclimatación de La Orotava.

16. *El ecosistema agrario lanzaroteño*. (Académico Correspondiente).
Carlos Lahora Arán. 7 de julio de 2005. Dirección Insular del Gobierno en Lanzarote.
17. *Lanzarote: características geoestratégicas*. (Académico Correspondiente).
Juan Antonio Carrasco Juan. 11 de julio de 2005. Amigos de la Cultura Científica.
18. *En torno a lo fundamental: Naturaleza, Dios, Hombre*. (Académico Correspondiente).
Javier Cabrera Pinto. 22 de marzo de 2006. Amigos de la Cultura Científica.
19. *Materiales, colores y elementos arquitectónicos de la obra de César Manrique*. (Acto de Nombramiento como Académico de Honor a título póstumo de **César Manrique**).
José Manuel Pérez Luzardo. 24 de abril de 2006. Amigos de la Cultura Científica.
20. *La Medición del Tiempo y los Relojes de Sol*. (Académico Correspondiente).
Juan Vicente Pérez Ortiz. 7 de julio de 2006. Caja de Ahorros del Mediterráneo.
21. *Las estructuras de hormigón. Debilidades y fortalezas*. (Académico Correspondiente).
Enrique González Valle. 13 de julio de 2006. INTEMAC.
22. *Nuevas aportaciones al conocimiento de la erupción de Timanfaya (Lanzarote)*. (Académico de Número).
Agustín Pallarés Padilla. 27 de junio de 2007. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
23. *El agua potable en Lanzarote*. (Académico Correspondiente).
Manuel Díaz Rijo. 20 de julio de 2007. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
24. *Anestesiología: Una especialidad desconocida*. (Académico Correspondiente).
Carlos García Zerpa. 14 de diciembre de 2007. Hospital General de Lanzarote.
25. *Semblanza de Juan Oliveros. Carpintero – imaginero*. (Académico de Número).
José Ferrer Perdomo. 8 de julio de 2008. Museo Etnográfico Tanit.
26. *Estado actual de la Astronomía: Reflexiones de un aficionado*. (Académico Correspondiente).
César Piret Ceballos. 11 de julio de 2008. Ilte. Ayuntamiento de Tías.
27. *Entre aulagas, matos y tabaibas*. (Académico de Número).
Jorge Alfredo Reyes Betancort. 15 de julio de 2008. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
28. *Lanzarote y el vino*. (Académico de Número).
Manuel Díaz Rijo. 24 de julio de 2008. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
29. *Cronobiografía del Dr. D. José Molina Orosa y cronología de acontecimientos conmemorativos*. (Académico de Número).
Javier Cabrera Pinto. 15 de diciembre de 2008. Gerencia de Servicios Sanitarios. Área de Salud de Lanzarote.
30. *Territorio Lanzarote 1402. Majos, sucesores y antecesores*. (Académico Correspondiente).
Luis Díaz Fera. 28 de abril de 2009. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
31. *Presente y futuro de la reutilización de aguas en Canarias*. (Académico Correspondiente).
Sebastián Delgado Díaz. 6 de julio de 2009. Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información..

**HOTEL LANCELOT
ARRECIFE (LANZAROTE)**

Coorganiza:
**Agencia Canaria de Investigación, Innovación y
Sociedad de la Información**