

La reutilización de los efluentes depurados en el marco de una gestión sostenible del agua

CATALINAS MONTERO, PEDRO MIGUEL (*); ORTEGA DE MIGUEL, ENRIQUE (**)

RESUMEN El presente artículo analiza la reutilización directa de efluentes depurados como recurso complementario a tener en cuenta en la planificación hidrológica y como instrumento válido para lograr una gestión renovada de los recursos hídricos más equilibrada y sostenible. Se valora el volumen de aguas residuales reutilizadas y los usos a los que se destinan en la actualidad, exponiéndose algunas experiencias que por diversas circunstancias pueden considerarse pioneras en su campo. También se recoge la legislación y normativas que regulan la reutilización en nuestro país, los costes de la regeneración de los efluentes depurados y las principales líneas de investigación, desarrollo e innovación que se han desarrollado en España respecto a este tema.

THE REUSE OF WASTEWATER TREATED WITHIN THE FRAMEWORK OF A WATER SUSTAINABLE MANAGEMENT

ABSTRACT *In this paper, is analysed the planned reuse of wastewater treated as additional water source very important to the hydrological planning, and also as an efficient tool to achieve a new management of the water sources more sustainable. The volume of the reuse of wastewater treated in Spain is estimated and the uses than they have at the present are described, pointing out several experiences very important for your special conditions. The current regulations existing in Spain for the reuse of wastewater treated, the costs of the treatments and the main R&D projects developing about this matter in Spain, are included also.*

Palabras clave: Aguas residuales; Depuración; Reutilización; Regeneración.

1. INTRODUCCIÓN

La reutilización de las aguas residuales es un componente intrínseco del ciclo natural del agua, ya que 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 tradicionalmente en puntos aguas abajo, para su aprovechamiento urbano, agrícola o industrial. Es preciso distinguir entre *reutilización indirecta*, que es la mencionada y la más común, y *la reutilización directa*, que es aquella en que el segundo uso se produce a continuación del primero, sin que entre ambos el agua se incorpore a ningún cauce público.

La reutilización directa o planificada tiene un origen más reciente y supone el aprovechamiento directo de efluentes depurados, con un mayor o menor grado de tratamiento previo, mediante su transporte hasta el punto de utilización a

través de una conducción específica, sin mediar para ello la existencia de un vertido a cauce público. El proceso de tratamiento necesario para que un agua residual pueda ser reutilizada se la denomina generalmente "regeneración" y el resultado de este proceso "aguas regeneradas".

El notable desarrollo alcanzado por la reutilización planificada de aguas residuales, especialmente en los países con recursos hidráulicos insuficientes, se ha debido a la necesidad de incrementar sus disponibilidades de agua y de resolver el problema de los vertidos de aguas residuales. La dificultad de encontrar nuevas fuentes de abastecimiento en zonas de fuerte crecimiento urbano o agrícola, debido a la distancia creciente de dichas fuentes, limitaciones ambientales para construir nuevos embalses, sequías plurianuales, etc., unido en ocasiones a la degradación de los recursos existentes, han llevado a numerosas poblaciones a plantearse la reutilización de las aguas residuales depuradas como fuente adicional de agua para aprovechamientos que no requieran una calidad de agua potable. Así mismo, las crecientes exigencias sanitarias y ambientales sobre la calidad de las aguas continentales y marítimas, junto con los niveles de tratamiento cada vez más estrictos impuestos a los vertidos de aguas residuales, han hecho que el agua residual regenerada se convierta en una fuente alternativa de abastecimiento, económica y segura desde el punto de vista sanitario y ambiental.

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de la División de Tratamiento y Depuración de Aguas. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Ministerio de Fomento.

(**) Ingeniero Técnico Industrial. División de Tratamiento y Depuración de Aguas. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Ministerio de Fomento.

Los beneficios de la reutilización son múltiples, entre los que cabe destacar los siguientes:

- Posibilita un incremento sustancial de los recursos existentes, en las zonas en que los efluentes depurados se vierten al mar
- Permite una mejor gestión de los recursos, al permitir sustituir con aguas regeneradas, volúmenes de agua de mayor calidad, que pueden destinarse a usos más exigentes (p.e.: agua para consumo humano).
- Reduce el aporte de contaminantes a los cursos de agua.
- Evita la necesidad de realizar costosas infraestructuras para transportar recursos adicionales desde zonas alejadas, eliminando también los problemas medioambientales que este tipo de obras pueden producir.
- Permite, en el caso de que el destino de la reutilización sea la agricultura, un aprovechamiento de los nutrientes contenidos en el agua residual, lo que reduce la cuantía de abonos a utilizar por los agricultores.
- Garantiza una mayor fiabilidad y regularidad del agua disponibles, especialmente en las épocas del año en que los recursos de otras fuentes puedan escasear (p.e. durante el verano). El flujo del agua residual es generalmente más constante que el de la mayoría de los cauces naturales de agua.

Estas consideraciones, hacen de la reutilización de efluentes depurados un instrumento válido y eficaz para lograr una gestión renovada de los recursos hídricos más equilibrada y sostenible, que ponga el énfasis en el ahorro, el reuso y en la satisfacción de las necesidades medioambientales.

2. LAS EXIGENCIAS DE LA REUTILIZACIÓN PLANIFICADA

La reutilización planificada exige tener en cuenta, entre otros, los siguientes aspectos:

- La disponibilidad de efluentes depurados.
- La adopción de instrumentos normativos que reduzcan los riesgos inherentes a la reutilización de aguas residuales, hasta límites tolerables.
- La selección de los procesos de regeneración necesarios.
- El diseño de los sistemas de transporte y regulación del agua regenerada.

La disponibilidad de este recurso, está en función de las estaciones depuradoras existentes, así como del grado de depuración exigido en función de las normativas de calidad vigentes. La tendencia general es de un progresivo endurecimiento de las legislaciones protectoras contra la contaminación de las aguas continentales y marítimas, lo que implica un importante crecimiento de las infraestructuras de depuración. En España, al igual que en el conjunto de países de la Unión Europea, la aplicación de la Directiva Comunitaria 91/271/CEE relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas, ha supuesto un gran impulso en la construcción de estaciones depuradoras.

Por otro lado, la implantación de un proyecto de reutilización requiere definir unos niveles de calidad del agua adecuados para cada uno de los usos que se quiera establecer, garantizando unas condiciones sanitarias satisfactorias. Hay que tener en cuenta que el agua residual urbana es vínculo

de microorganismos patógenos (virus, bacterias, protozoos, helmintos,...) y eventualmente de sustancias químicas de carácter tóxico. Este hecho crea un riesgo potencial de producción de efectos tóxicos en la población o de transmisión de enfermedades por mediación del contacto, inhalación o ingestión de aquellos vectores de riesgo sanitario, que deben reducirse hasta límites aceptables.

Estas calidades se recogen en normativas promulgadas por organismos internacionales como la OMS o la FAO, o nacionales (USEPA, Japón, Israel, etc.), que establecen límites sanitarios y en algunos casos de carácter agronómico, cuando se trata de la reutilización de las aguas residuales en agricultura. Un problema importante es la heterogeneidad y diversidad de criterios entre las diversas normativas de carácter sanitario, debido a la dificultad de establecer una relación causal entre la calidad del agua y los posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente (Ver por ejemplo las diferencias entre las normas USEPA de 1992 y las de la OMS de 1989). Este problema es objeto de preocupación por parte de los organismos internacionales, como la OMS, que lleva varios años estudiando una normativa que pueda gozar de un amplio apoyo internacional, sin que hasta la fecha lo haya conseguido.

Otro instrumento muy eficaz para limitar los riesgos de la reutilización, complementario de las normativas citadas, lo constituyen las denominadas "Normas de buenas prácticas", que incluyen recomendaciones relativas a la situación y características del terreno de aplicación, actuaciones respecto de los problemas existentes en las zonas de riesgo, sistemas de regeneración y reutilización a utilizar en cada caso, información y prevención de riesgos respecto a trabajadores y usuarios, etc.

Con objeto de obtener un agua regenerada de la mejor calidad posible, un criterio generalmente adoptado es recurrir solamente a efluentes de carácter urbano con escasa componente industrial. Para asegurarse que a la estación depuradora no lleguen contaminantes imprevistos que pongan en peligro el proyecto de reutilización, es esencial establecer un riguroso programa de control de vertidos a colectores, que incluya desde una Ordenanza de Vertidos, hasta un programa de educación ciudadana.

La necesidad de obtener un agua con unas calidades mínimas para cada uso, que en general son más estrictas que las establecidas en las normativas de emisión de aguas depuradas, que enfocan el problema desde el punto de vista ambiental, obliga en la mayoría de los casos, a someter a los efluentes depurados a tratamientos terciarios complementarios. La selección de los procesos de regeneración adecuados y fiables, a adoptar en cada caso, es uno de los aspectos más importantes a desarrollar en la reutilización planificada.

Por último hay que señalar que la reutilización planificada exige también el diseño del sistema de transporte desde la planta de regeneración, hasta el punto de reutilización y del sistema de almacenamiento o regulación para adecuar el caudal suministrado por la planta a los caudales consumidos. El transporte requiere con frecuencia la construcción de un emisario terrestre y de una doble red de distribución, especialmente cuando se trata de reutilización en zonas urbanas.

3. LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN ESPAÑA. EL PLAN NACIONAL DE DEPURACIÓN

Si bien las actuaciones en materia de saneamiento y depuración comienzan en España en los años setenta mediante el desarrollo de planes parciales en algunas zonas turísticas del litoral, el mayor impulso inversor se ha dado en la última

década, a partir de la promulgación de la Directiva 91/271/CEE citada en apartados anteriores.

Para su cumplimiento la Administración Central (a través del Ministerio de Medio Ambiente), con la colaboración de las Comunidades Autónomas, redactó el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración (PNSD) como pieza fundamental de planificación de las diferentes infraestructuras que en materia de saneamiento y depuración debían ejecutarse en España antes del 2005, siendo el instrumento coordinador de las diferentes administraciones con competencia en el tema.

El Plan Nacional de Saneamiento y Depuración se aprobó en febrero de 1995, siendo sus objetivos principales:

- Garantizar la calidad de la depuración y del vertido de las aguas residuales urbanas, acorde con los criterios de la Unión Europea, mediante la integración y coherencia de las inversiones de los tres niveles de la Administración (Central, Autonómica y Local).
- Adecuar las actuaciones a los plazos fijados por la Directiva 91/271/CEE para la aplicación de la misma, estableciendo una vigencia del Plan de 10 años, desde 1995 al 2005.
- Establecer el programa de inversiones a realizar por la Administración Central, y las Comunidades Autónomas.

La situación actual del tratamiento de las aguas residuales, respecto a los objetivos de la Directiva 91/271/CEE, después de siete años de desarrollo del PNSD, se resume a fecha de junio de 2002, en las tablas 1 y 2.

En lo relativo a aglomeraciones entre 2.000 y 15.000 habitantes equivalentes, requiriendo para su conformidad la aplicación de un tratamiento adecuado, solamente podemos indicar, que las estimaciones que se están realizando en la actualidad, nos dan una cifra estimada de aglomeraciones afectadas en torno a las 2.000.

Por último conviene señalar que la carga total estimada para España, en los propios informes del MIMAM, es de 74.500.000 de habitantes equivalentes, en la que se incluye la población estacional en temporada alta y las cargas industriales que vierten a los colectores urbanos. Esto supone un ratio de habitantes equivalentes frente a los habitantes de derecho de 1,85.

4. LA SITUACIÓN DE LA REUTILIZACIÓN EN ESPAÑA

La reutilización directa cuenta con un importante número de realizaciones en España, ubicadas fundamentalmente en zonas con déficit de recursos hídricos. Su crecimiento ha estado ligado, al enorme impulso que se ha llevado a cabo respecto a la depuración de las aguas residuales, tratado en el apartado anterior. Esto ha permitido disponer de importantes volúmenes de aguas depuradas con posibilidades de ser reutilizadas.

En el año 2001, existían en España alrededor de 140 realizaciones de reutilización directa, que cubrían una demanda de aproximadamente 346 Hm³/año, si bien se encuentran en fase de proyecto y construcción una serie de actuaciones que ampliarán el volumen reutilizado en unos 290 Hm³/año adicionales, en un periodo no superior a 5 años. Estas cifras ponen a España a la cabeza de la Unión Europea en cuanto a volúmenes de aguas residuales depuradas reutilizadas. El riego agrícola es el aprovechamiento más generalizado en la actualidad, suponiendo el 82% del volumen total, tal como se ve en la tabla 3.

Las realizaciones en materia de reutilización y las potencialidades futuras se centran fundamentalmente en las

Nº de aglomeraciones afectadas: 136		
Carga total afectada: 6.300.000 hab. equivalentes		
Conformidad	Población afectada	%
Conforme	3.160.000	50
En Construcción	765.000	12
No conforme	2.375.000	38

TABLA 1. Aglomeraciones de más de 10.000 habitantes equivalentes situadas en zonas clasificadas como sensibles, requiriendo para su conformidad la aplicación de un tratamiento más riguroso.

Nº de aglomeraciones afectadas: 266		
Carga total afectada: 39.105.000 hab. equivalentes		
Conformidad	Población afectada	%
Conforme	38.325.000	65
En Construcción	12.450.000	21
No conforme	8.330.000	14

TABLA 2. Aglomeraciones de más de 15.000 habitantes equivalentes situadas en zonas normales, requiriendo para su conformidad la aplicación de un tratamiento secundario.

	Volumen reutilizado Hm ³ /año	Porcentaje %
Riego Agrícola	284,9	82,3
Usos Municipales	24,0	7,0
Usos Recreativos y Campos de golf	20,6	6,0
Usos Industriales	2,5	0,7
Usos Ecológicos	14,0	4,0
TOTAL	346,0	100,0

TABLA 3. Reutilización directa en España en el año 2001. P. Catalinas, E. Ortega. CEDEX, 2002.

zonas costeras del arco mediterráneo y sur-atlántico y en los archipiélagos de Baleares y Canarias, tal como se muestra en la figura 1. Es sobre todo en estas zonas, donde existen unas expectativas crecientes de reutilizar los efluentes depurados, debido a la existencia de una fuerte demanda de recursos hídricos al existir un crecimiento urbano y turístico y una pujante agricultura; la dificultad de obtener recursos convencionales a distancias razonables, debido al agotamiento y deterioro de las fuentes de abastecimiento tradicionales (aguas subterráneas); la progresiva salinización de los acuíferos y las frecuentes sequías que asolan estas zonas.

El volumen total de aguas residuales depuradas reutilizadas en la actualidad por Cuencas Hidrográficas, se refleja en la figura 2.

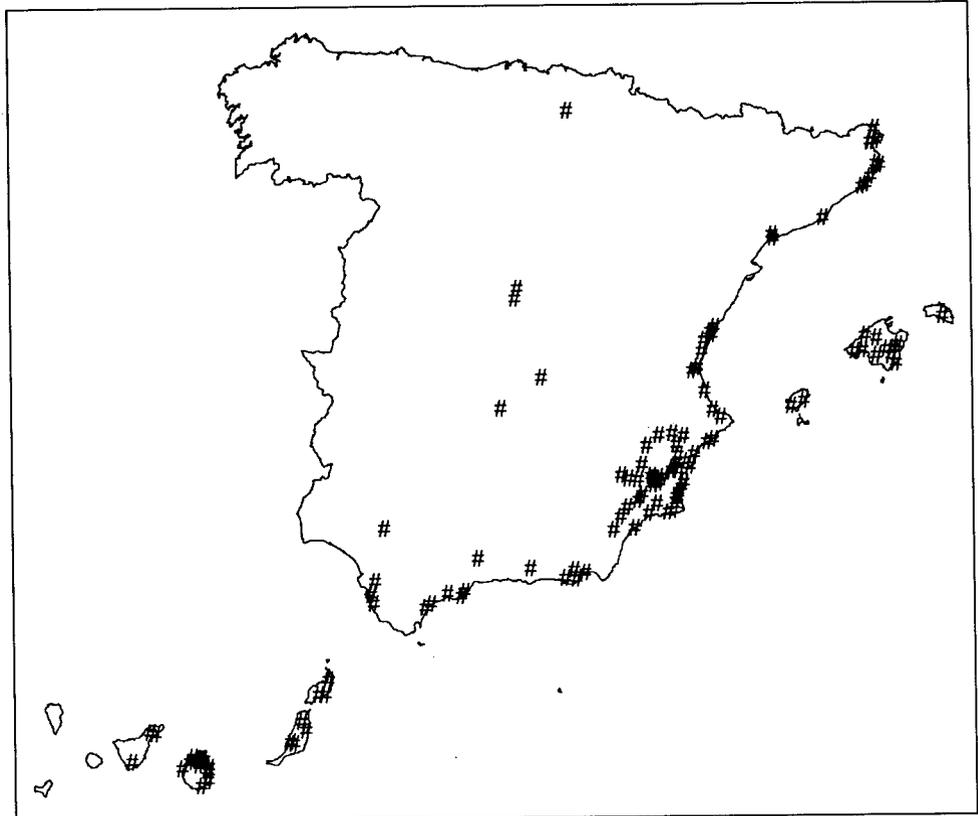


FIGURA 1. Representación a nivel nacional de las instalaciones de reutilización existentes.
P. Catalinas, E. Ortega.
CEDEX, 2002

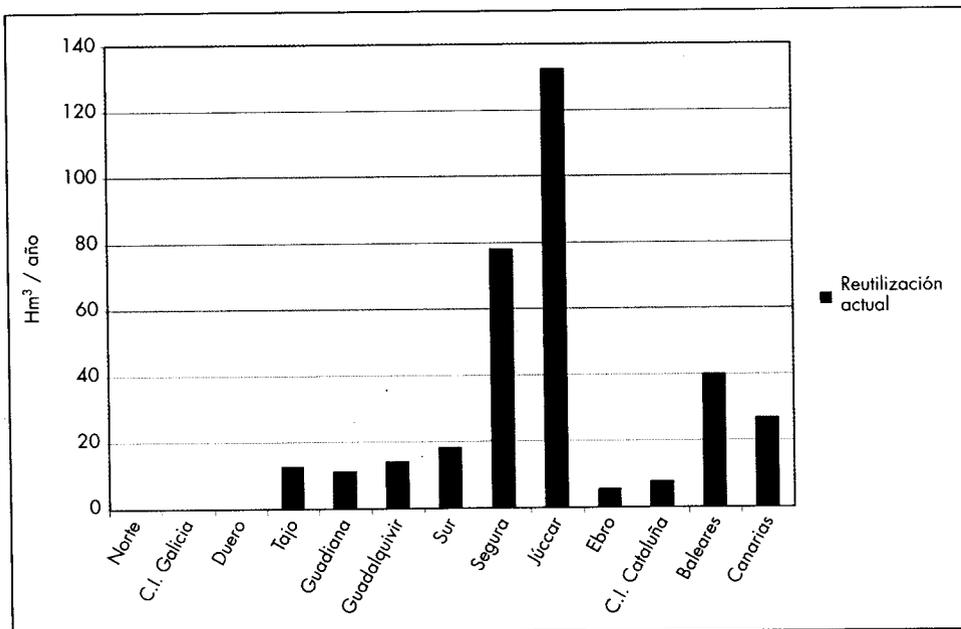


FIGURA 2. Volúmenes actuales reutilizados en España.
P. Catalinas, E. Ortega.
CEDEX, 2002.

La reutilización de aguas depuradas no ha sido en España objeto de una planificación centralizada, sino en general se ha desarrollado mediante impulsos descentralizados en función de las necesidades locales. Sólo en los últimos años el Estado a través de los Planes Hidrológicos de Cuenca y del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración, y las Comunidades Autónomas, a través de los Planes Regiona-

les de Saneamiento y Depuración, están llevando a cabo una planificación, mediante el desarrollo de programas específicos de reutilización, con estudios previos, participación de los futuros usuarios y financiación de las infraestructuras necesarias.

La descentralización de actuaciones ha tenido como aspecto positivo, la existencia de una diversidad de expe-

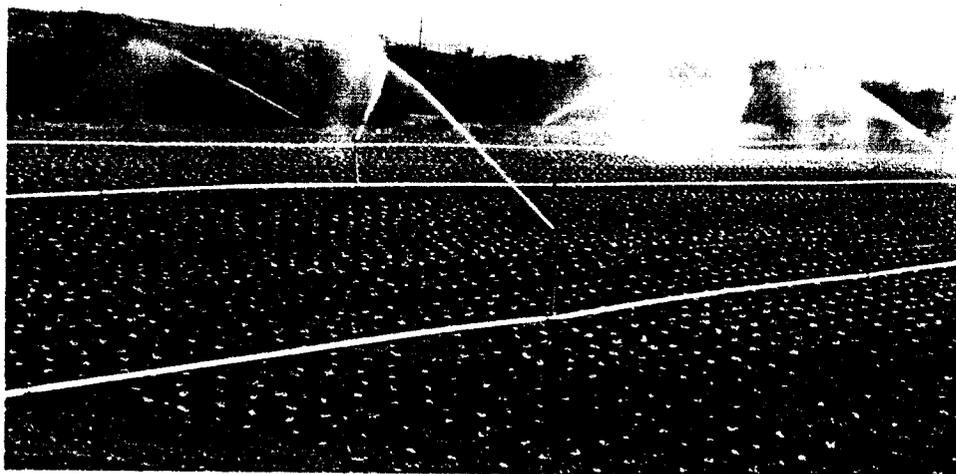


FIGURA 3. Riego por aspersión con agua regenerada en la Mancomunidad de Arrato

riencias enriquecedoras, que una vez analizadas están sirviendo de base para la planificación de las actuaciones futuras. Por el contrario la falta de una coordinación estatal, ha motivado una dispersión de criterios no deseables respecto a la eficacia y eficiencia global de la reutilización.

5. ALGUNAS EXPERIENCIAS DE INTERÉS

A continuación se exponen tres experiencias en materia de reutilización planificada, que por diversas circunstancias pueden considerarse pioneras en su campo.

La reutilización integral de las aguas residuales urbanas de Vitoria-Gasteiz

Esta actuación es la primera de importancia que se realizó en España en este campo.

Ante el déficit de recursos hídricos que afectaba a la ciudad de Vitoria-Gasteiz (210.000 habitantes) y a la agricultura de la cuenca del río Arrato, la Diputación Foral de Alava estableció, en 1988, un Plan para la reutilización integral de las aguas residuales depuradas de dicho núcleo urbano (30 Hm³/año), que en aquellos momentos disponían de un nivel de tratamiento secundario.

La primera actuación fue la ejecución de las infraestructuras necesarias para poner en regadío 3.500 Ha, correspondientes a 23 pueblos, con agua regenerada. La iniciativa de esta experiencia correspondió a la Comunidad de Regantes de Arrato, entidad adjudicataria de la concesión administrativa, que ha financiado y gestionado posteriormente, las obras del tratamiento terciario necesario (tratamiento físico-químico con decantación lamelar, filtración sobre arena y desinfección mediante hipoclorito), con capacidad de 400 l/seg, y el sistema de distribución y riego. La reutilización se puso en marcha en 1996, funcionando exclusivamente durante los meses de verano, en los que el déficit de agua era mayor, satisfaciéndose una demanda de unos 3 Hm³/año. Tanto desde el punto de vista de eficacia agrícola, de la calidad sanitaria del agua, como de eficiencia del sistema, los resultados de la experiencia pueden calificarse de excelentes.

En el momento actual se está llevando a cabo la segunda fase del Plan consistente en la reutilización de unos 12 Hm³/año de agua depurada, de los cuales el 50% se destinará a la ampliación de las zonas de regadío en otras 3.500 Ha.

El resto de agua regenerada se utilizará como caudal ecológico del río Zadorra, transportándola hasta el lugar de vertido de los desagües de fondo de la presa de Ulibarri que abastece a la ciudad de Vitoria-Gasteiz. Esta operación permitirá enjugar el déficit de agua de abastecimiento de dicha ciudad, en la misma cuantía en que pueda disminuir los desagües destinados a mantener el caudal ecológico del río. El uso de estas aguas como caudal ecológico ha sido posible al haberse reformado y ampliado la estación depuradora de Vitoria-Gasteiz, introduciendo un proceso de eliminación de nutrientes (Nt y Pt).

La experiencia Canaria

Desde los años setenta, debido al agotamiento y salinización de los de los acuíferos, principal fuente de recursos hídricos, las Islas Canarias son pioneras en la utilización de recursos no convencionales como son el agua de mar desalada y la reutilización de las aguas residuales. La aportación de estos recursos es la base en la que se asienta la planificación hidrológica, como forma de complementar y sustituir recursos, evitando la sobreexplotación de los recursos naturales disponibles.

La filosofía de la reutilización en esta Comunidad Autónoma, recogida en los Planes Hidrológicos de cada isla, es la siguiente:

- Reutilización del 100% del agua residual depurada, aprovechándola fundamentalmente para riego agrícola, riego de zonas verdes, y recarga de acuíferos.
- Constitución de redes generales de distribución y regulación específicas para las aguas residuales regeneradas, abastecidas por los efluentes de las distintas depuradoras, que en el caso de las islas de Tenerife y Gran Canaria, suponen el trasvase de recursos de una zona a otra de la isla.
- Apoyo a la construcción de nuevas redes para riego, así como la modernización de las existentes, para la reutilización de las aguas regeneradas.
- Constitución de organismos específicos para la gestión de las infraestructuras de reutilización, como es el Consorcio Insular para el Aprovechamiento de las Aguas Depuradas de Gran Canaria.

Las altas salinidades de las aguas residuales, inadecuadas para los cultivos que se desarrollan en esta zona (plataneras, tomates, plantas ornamentales, frutas tropicales, etc.), ha supuesto la necesidad de adoptar tratamientos terciarios avanzados de desalación, lo que ha obligado a la realización de múltiples estudios por parte de entidades públicas y privadas, sobre las distintas tecnologías existentes en el mercado, especialmente en el campo de las membranas para eliminación de sales. Conviene destacar la importancia de las experiencias llevadas a cabo en el Centro de Investigación de Demostración en Reutilización de Aguas (DEREA), donde se experimentaron la mayoría de las tecnologías que hoy en día se utilizan como tratamientos terciarios de regeneración en las islas.

A finales del año 2001 se reutilizaban unos 27 Hm³/año, estando en ejecución obras que permitirán reutilizar en un periodo de 3 años, un volumen suplementario de 22 Hm³/año. Destacan por su singularidad las actuaciones llevadas a cabo en el sur de la isla de Tenerife.

En los años 80, el Cabildo Insular de Tenerife decidió acometer un ambicioso programa de inversiones para la reutilización de las aguas residuales de Santa Cruz (250.000 h) en la zona costera del Valle de San Lorenzo situada en el vértice sur de Tenerife, donde se ha desarrollado el área de regadío más importante del archipiélago, con 750 Ha de cultivos de los cuales más del 80% son de plataneras. Se construyeron como infraestructuras más importantes: una estación de bombeo con 4 motobombas de 1.000 CV c/u, un depósito de 15.000 m³ a la cota 305 m, una conducción de 60 km de longitud y 600 mm de diámetro que conduce por gravedad las aguas al Valle de San Lorenzo, y una balsa de regulación final de 250.000 m³. El tratamiento terciario mediante filtración sobre arena, eliminación de sales por electrodiálisis reversible y desinfección por hipoclorito, se realizó en dos fases, una primera de 4.000 m³/día en 1995, y una segunda que duplica la capacidad anterior, en 1999. Como último eslabón del sistema se han instalado de forma progresiva, una red específica de riego que consta de 42 km de tuberías, con contador y limitador de caudal y presión en cada finca,

que es telemandado desde el centro de control ubicado en la balsa de regulación. La gestión del sistema está siendo llevada a cabo de forma eficiente por BALTEN, empresa pública dependiente del citado Cabildo Insular. En el año 2001 se satisfacía una demanda de unos 6 Hm³/año, con un agua de excelente calidad físico-química y bacteriológica, y un contenido en sales de 600 mg/l de TDS de valor medio.

En el año 2002 están previstas dos nuevas actuaciones que permitirán ampliar la superficie agrícola regada con aguas depuradas en el Sur de Tenerife, en mas de un 100%. En la estación depuradora de Adeje-Arona, situada a pocos kilómetros del Valle de San Lorenzo, se está construyendo un nuevo tratamiento terciario con un proceso similar al anteriormente descrito (filtración, electrodiálisis reversible e hipoclorito sódico), con capacidad de 12.000 m³/día (4,3 Hm³/año), cuya puesta en marcha está prevista para junio del citado año. Por otra parte está proyectada y en fase de licitación, una ampliación de la capacidad actual del tratamiento terciario del Valle de San Lorenzo, que pasará de los 8.000 m³/día actuales, a 12.000 m³/día.

El Plan de reutilización en el ámbito de los regadíos tradicionales de L'Horta (Valencia)

El Gobierno autónomo de la Comunidad Valenciana ha elaborado un Plan de reutilización de las aguas residuales depuradas en el área metropolitana de Valencia, aglomeración que alberga alrededor de un millón y medio de personas, que prevé la ejecución de las infraestructuras necesarias para conectar los efluentes de las distintas depuradoras de la zona, con la red de acequias de riego tradicionales. El Plan incluye la construcción de los tratamientos terciarios necesarios, que en general consistirán en físico-químico, seguido de filtración y desinfección, la desconexión de los sistemas de alcantarillado de las infraestructuras de riego, y la modernización de los sistemas de riego.

En la zona donde se aplica el Plan, existen varias depuradora con una capacidad de tratamiento importante (el volumen de tratamiento indicado corresponde al actual y al de la ampliación):

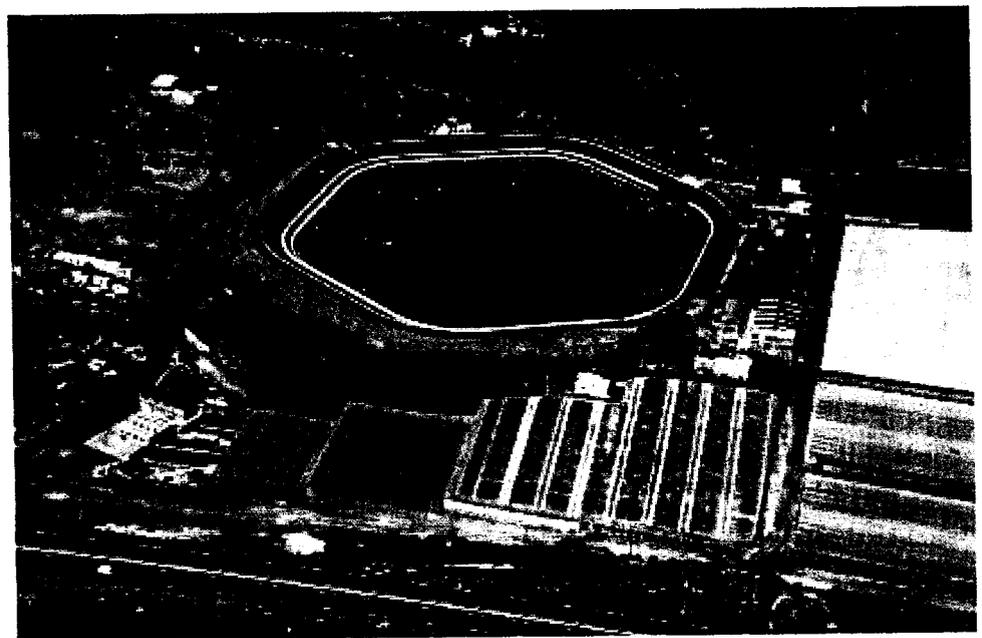


FIGURA 4. Balsa de regulación de agua regenerada en el Valle de San Lorenzo.

Pinedo I y II (Valencia)	160.000 / 360.000 m ³ /día
Quart-Benager	60.000 / 75.000 m ³ /día
Carraixet (Alboraia)	25.000 / 37.500 m ³ /día
L'Horta Nord	15.000 / 22.500 m ³ /día
Paterna	4.000 / 32.000 m ³ /día
Torrente	21.000 m ³ /día

Una vez ampliadas las estaciones depuradoras se dispondrá de un volumen potencial de recursos de unos 200 Hm³/año, que no podrá utilizarse en su totalidad dado que la oferta de agua depurada regenerada, será prácticamente constante, y la demanda para riego no. El objetivo del Plan es más realista, pero en absoluto desdeñable: ampliar los recursos con agua regenerada en al menos 103 Hm³/año, de los cuales 72 irán destinados a regadío y el resto, 31, como caudal ecológico para mantener las condiciones naturales de la laguna litoral de La Albufera de Valencia. Esto supondrá garantizar el 50% de la demanda agrícola de la zona, con agua regenerada de buena calidad.

La actuación más importante de este Plan, corresponde a la ampliación de la depuradora de Pinedo, que trata los vertidos de la ciudad de Valencia a nivel secundario, y la construcción del tratamiento terciario para la regeneración de las aguas depuradas, que estará compuesto por dos líneas con destinos diferentes:

- 253.600 m³/día para agua de riego, con destino a la acequia de Favara.
- 100.000 m³/día para caudal ecológico con destino a La Albufera.

Los elementos que componen el tratamiento son: Bombeo; Decantadores Densadeg con dosificación de cloruro férrico y polielectrolito (en la línea destinada a caudal ecológico se eliminará el fósforo); filtros de arena; y Desinfección por rayos ultravioletas. La calidad prevista en el agua regenerada será de MES < 5 mg/l, turbidez < 2 NTU, coliformes fecales < 10 UFC/100 ml, y huevos de helminto: < 1 huevo/l.

6. LEGISLACIÓN ESPAÑOLA EN MATERIA DE REUTILIZACIÓN

La reutilización de las aguas depuradas está regulada, con carácter general, en la **Ley de Aguas** y en el **Reglamento de Dominio Público Hidráulico**, en los que se determina las condiciones y trámites necesarios para la concesión de dicha reutilización. El otorgamiento de dicha concesión corresponde al Organismo de Cuenca, previo informe preceptivo de las autoridades sanitarias de las Comunidades Autónomas, que tendrá carácter vinculante. Además se prohíbe la reutilización directa de las aguas residuales depuradas para el consumo humano, excepto en situaciones catastróficas o de emergencia, en las que mediante los controles y garantías que fijen las autoridades sanitarias, pueda autorizarse con carácter transitorio por el Organismo de Cuenca.

Consecuencia del mandato establecido en la Ley de Aguas, el Ministerio de Medio Ambiente está elaborando una **normativa de calidades mínimas exigidas para la reutilización directa de efluentes depurados según los diferentes usos posibles**. Esta norma, que está en avanzado estado de gestación, incluye además de los criterios de calidad físico-químicos y biológicos, criterios de calidad sobre sustancias potencialmente tóxicas, métodos de análisis, criterios de cumplimiento y frecuencia de muestreos. En la tabla siguien-

te, se exponen los criterios de calidad propuestos en dicha normativa, en función de los catorce tipos de usos establecidos.

Como ya se ha dicho anteriormente, debido al sistema constitucional español, enormemente descentralizado, las competencias respecto a la reutilización de efluentes depurados, así como de su control sanitario depende de las Comunidades Autónomas, sin perjuicio de lo que se establezca en los Planes Hidrológicos de Cuenca. La Administración Central ejecuta exclusivamente las actuaciones catalogadas como de interés general o aquellas resultantes de acuerdos de cooperación con las Comunidades Autónomas.

En diversas Comunidades Autónomas, especialmente las más afectadas por la escasez de recursos (Valencia, Murcia, Andalucía, Canarias, Baleares, Cataluña, etc.), se ha planificado las actuaciones de reutilización, generalmente en el marco de los Planes de Saneamiento y Depuración, en coordinación con los Planes de Regadíos. En la Comunidad de Madrid, la reutilización se ha enmarcado dentro del Plan Estratégico de Recursos Hídricos, aprobado en el 2002.

Respecto a la **legislación de normativas de ámbito autonómico**, han ido apareciendo regulaciones de diferente rango y ámbito de aplicación en las cuales se establecen fundamentalmente diversos límites de carácter sanitario para la aplicación prioritariamente en el riego agrícola de las aguas residuales depuradas. Ejemplo de estas son las establecidas en Cataluña y Baleares. Igualmente, si bien sin rango de cumplimiento obligatorio, pero sí con un afán divulgativo y orientativo para el sector, se han publicado diversos compendios técnicos, del que es buen ejemplo el manual sobre "Riego con agua residual municipal regenerada", editado por la Generalitat de Cataluña y la Universidad Politécnica de Cataluña.

También se han introducido criterios de calidad de las aguas depuradas a reutilizar en algunos **Planes Hidrológicos de Cuenca**, siendo el caso más interesante las condiciones establecidas en la cuenca del Tajo.

En este apartado cabe señalar la urgente necesidad de que la Administración Central regule las condiciones básicas para la reutilización de las aguas depuradas, a fin de armonizar los diferentes criterios que se están adoptando en los ámbitos autonómico y local, y evitar el aprovechamiento de este recurso en condiciones inadecuadas.

7. ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA REUTILIZACIÓN

Los costes de implantación y explotación de los tratamientos terciarios necesarios para adecuar los efluentes depurados a las calidades exigibles en función de su uso, deben tenerse en cuenta a la hora de estudiar la viabilidad económica de la reutilización, frente a cualquier otra alternativa. Estos costes son muy variables en función de diversos factores, entre los que podemos destacar:

- La calidad del agua residual depurada, especialmente su contenido en sales.
- El tipo de uso, que implicará niveles de calidad diferentes en el agua regenerada.
- Magnitud de la instalación, ya que los costes se ven favorecidos por la economía de escala.

Los costes de los tratamientos terciarios suponen un incremento del precio del agua depurada, a veces importante, que puede dificultar a priori la expansión de la reutilización. La experiencia española en estos últimos diez años, es diversa. En aquellos lugares con dificultades para la obten-

	Uso del agua residual regenerada	Criterios de Calidad				
		Biológica		Físico-Química		Otros criterios
		Huevos de helmintos intestinales	Escherichia coli	Sólidos en suspensión	Turbidez	
1	Usos domiciliarios: Riego de jardines privados, descarga de aparatos sanitarios, sistemas de calefacción y refrigeración aire domésticos y lavado de vehículos	<1 huevo/10 l	0 ufc/100 ml	<10 mg/l	<2 NTU	
2	Usos y Servicios Urbanos: riego de zonas verdes de acceso público (campos de golf, campos deportivos, parques públicos, etc.); baldeo de calles; sistema contraincendios; fuentes y láminas ornamentales	<1 huevo/l	<200 ufc/100 ml	<20 mg/l	<5 NTU	
3	Cultivos de invernadero	<1 huevo/l	<200 ufc/100 ml	<20 mg/l	<5 NTU	Legionella pneumophilla <1 ufc/100 ml
4	Riego de cultivos para consumo en crudo. Frutales regados por aspersión	<1 huevo/l	<200 ufc/100 ml	<20 mg/l	<5 NTU	
5	Riego de cultivos industriales, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas	<1 huevo/l	<1000 ufc/100 ml	<35 mg/l	No se fija límite	Taenia saginata y Solium <1 huevo/l
6	Riego de cultivos destinados a industrias conserveras y productos destinados que no se consuman crudos. Riego de frutales excepto por aspersión	<1 huevo/l	<1000 ufc/100 ml	<35 mg/l	No se fija límite	
7	Riego de cultivos industriales, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas	<1 huevo/l	<1000 ufc/100 ml	<35 mg/l	No se fija límite	
8	Riego de bosques, industria maderera, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público	<1 huevo/l	No se fija límite	<35 mg/l	No se fija límite	
9	Refrigeración industrial, excepto industria alimentaria	No se fija límite	<1000 ufc/100 ml	<35 mg/l	No se fija límite	Legionella pneumophilla <1 ufc/100 ml
10	Estanques, masas de agua y caudales circulantes, de uso recreativo en las que está permitido el contacto público con el agua (excepto baño)	<1 huevo/l	No se fija límite	<35 mg/l	No se fija límite	
11	Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en las que está impedido el contacto público con el agua	No se fija límite	No se fija límite	<35 mg/l	No se fija límite	
12	Acuicultura (biomasa vegetal o animal)	<1 huevo/l	<1000 ufc/100 ml	<35 mg/l	No se fija límite	
13	Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno	<1 huevo/l	<1000 ufc/100 ml	<35 mg/l	No se fija límite	Nitrógeno total <50 mg/l
14	Recarga de acuíferos por inyección directa	<1 huevo/l	0 ufc/100 ml	<10 mg/l	<2 NTU	Nitrógeno total <15 mg/l

TABLA 4. Criterios de calidad físico-químicos y biológicos. Proyecto de normativa española para la reutilización directa de efluentes depurados. Ministerio de Medio Ambiente, 2002.

ción de recursos hídricos estables, o con agricultura intensiva de alto rendimiento, no han existido demasiados problemas para que los usuarios asuman los costes de la regeneración. En otros casos, en los que el coste del agua regenerada era muy superior al de la utilizada a partir de recursos hídricos naturales, se ha producido un rechazo por parte de los usuarios a pagar los costes íntegros de la regeneración, lo que está obligando a las distintas administraciones a buscar posibles soluciones

En España existe una amplia experiencia en la explotación de tratamientos terciarios mediante **procesos de filtración** en sus diferentes variantes (arena, anillas, etc.), seguidos de desinfección (cloración, rayos ultravioleta, ozono, etc.), eficientes en los casos de efluentes depurados estables y de buena calidad, y de **tratamientos físico-químicos**, adecuados para efluentes de calidad variable y alta turbidez. También se dispone de una experiencia importante, especialmente en las Islas Canarias, respecto a los **tratamientos**

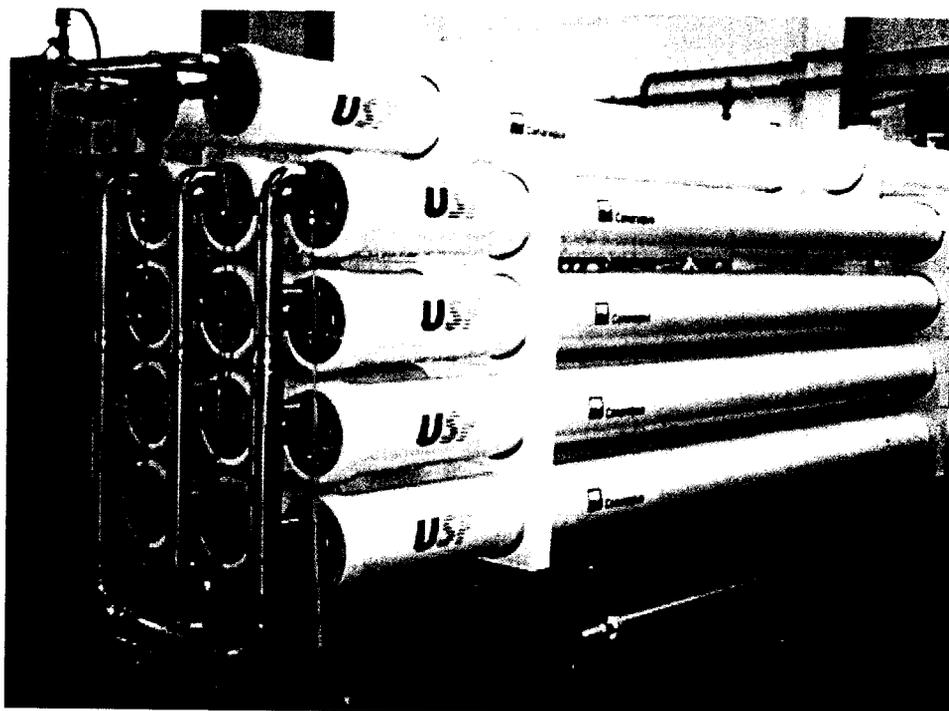


FIGURA 5. Tratamiento de Osmosis en la planta de regeneración de Telde

mediante membranas (microfiltración, electrodiálisis reversible y ósmosis inversa), que permiten reducir la salinidad de y obtener aguas regeneradas de alta calidad físico-química y bacteriológica. En la tabla 5 se recogen los costes de explotación aproximados de estos tratamientos, teniendo en cuenta los referentes al personal, energía eléctrica, consumo de reactivos, mantenimiento y gastos generales, pero sin considerar la amortización ni el beneficio industrial.

8. INVESTIGACIÓN, DESARROLLO Y PERSPECTIVAS FUTURAS

España es uno de los principales países europeos, en el desarrollo de proyectos destinados a evaluar y desarrollar las tecnologías existentes en el campo de los tratamientos de regeneración, para adecuarlas a las condiciones específicas de cada uso concreto. Las principales líneas de trabajo que se han venido realizando desde principios de la década de los 90 se referían a:

- La comparación técnico-económica de las diversas tecnologías existentes en el mercado.
- La búsqueda de tecnologías adecuadas para la eliminación de sales, debido a la salinización creciente de los acuíferos de abastecimiento, en muchas zonas del litoral Mediterráneo y de los archipiélagos (Canarias y Baleares).
- La búsqueda de sistemas de desinfección eficaces y eficientes que reduzcan los patógenos a niveles que eliminen los riesgos sanitarios.
- La adecuación de tecnologías de bajo coste como tratamientos terciarios de regeneración aplicados a pequeñas poblaciones.

En este marco, la experimentación de tecnologías de membranas (microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración,

Tipo de tratamiento	Costes (euros/m ³)
Filtración+desinfección ⁽¹⁾	0,03-0,04
Físico-Químico+Filtración+Desinfección ⁽¹⁾	0,05-0,07
Microfiltración Continua+Desinfección ⁽¹⁾	0,06-0,08
Filtración+Electrodiálisis Reversible+Desinfección ^(1 y 2)	0,17-0,20
Microfiltración Continua+Osmosis Inversa ⁽²⁾	0,21-0,26

Notas: (1) Utilizando como sistema desinfectante el cloro o los rayos U.V.
 (2) Estas cuantías se refieren a una reducción de sales del 70-75% en las aguas depuradas, pasando de 1.800-2.000 µSiemens/cm en el agua de entrada a 400-500 µSiemens/cm en el efluente regenerado.

TABLA 5. Costes de explotación de diversos tratamientos de regeneración. P. Catalinas, F. Ortega. CEDEX, 2002.

ósmosis inversa y electrodiálisis reversible) ha constituido uno de los ejes más importantes de la I+D+D en España.

Entre las experiencias más interesantes respecto a tratamientos intensivos, cabe destacar los trabajos realizados en la **Planta experimental de Chiclana** (MOPTMA, 1994-1996), el **Centro Experimental de Reciclaje de Aguas de Tías** en Lanzarote (INALSA, 1994-1998), el **Proyecto de Desinfección y Regeneración de Cataluña** (Generalitat de Cataluña, Universidad de Barcelona y SEARSA, 1997-2002), **Rincón de León** (Gobierno de la Comunidad Valenciana, 1998-2001), y **Barranco Seco y Haría** (MIMAM, 2001-2002).

En el campo de las membranas, cabe destacar los estudios realizados en el **Centro de Demostración en Reutiliza-**

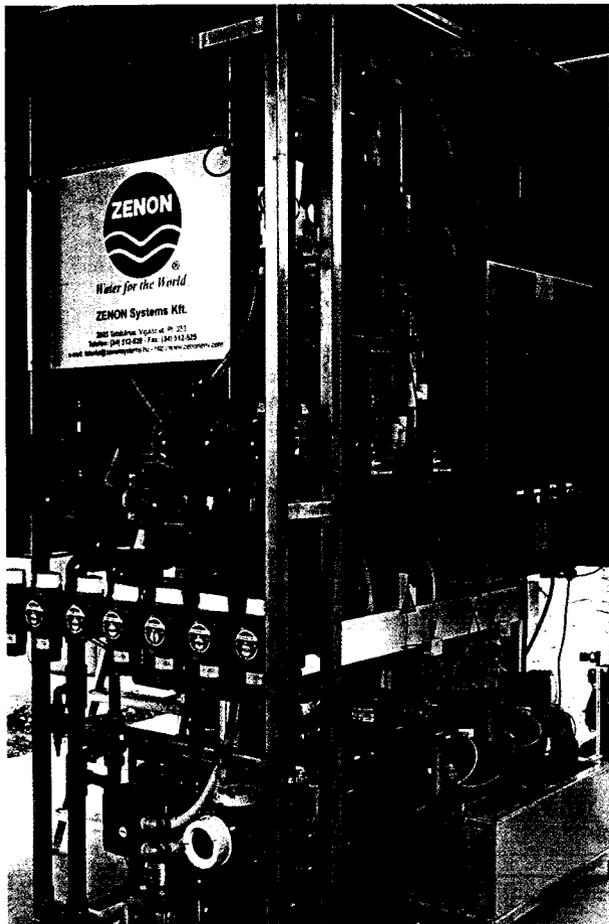


FIGURA 6. Planta Piloto de Ultrafiltración en la EDAR de Barranco Seco.

ción de Aguas (DEREA), construido por el Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, el Gobierno de Canarias y la Mancomunidad del Sureste, ubicado en la isla de Gran Canaria. Allí, se experimentaron, en el periodo 1995-1999, tecnologías de desalación (osmosis inversa y electrodiálisis reversible) combinadas con otro tipo de tratamientos (físico-químico, filtración, microfiltración, etc.) y con diversos sistemas de desinfección (cloración, rayos ultravioleta, y ozono). Sus resultados, tal como se ha mencionado

anteriormente, tuvieron gran influencia en la selección de los tratamientos de regeneración que el MIMAM construyó posteriormente.

En el campo de los tratamientos terciarios mediante tecnologías de bajo coste (infiltración-percolación, lagunaje, humedales y sistemas acuáticos), se han desarrollado muchos proyectos de I+D+D, pudiéndose destacar los realizados por el Centro Experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla, 1995-2001), el Laboratorio de Edafología de la Universidad de Barcelona y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña. En la realización de estos trabajos están colaborando entidades públicas y privadas: Entitat de Sanejament, Consorcio de la Costa Brava, AGBAR, Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua, etc.

El CEDEX viene participado desde el año 1990 en la mayoría de los proyectos de I+D+I de reutilización financiados total o parcialmente por el antiguo MOTMA y al actual MIMAM, a través de un contrato de asesoramiento y colaboración, que se ha venido renovando periódicamente.

Por último se enumeran algunos aspectos que a la luz de la experiencia desarrollada, tanto en los proyectos de I+D+D realizados, como en la operación de los sistemas de reutilización construidos, sería conveniente desarrollar en el futuro, cara a la minimización de riesgos y a la mejora de la eficiencia y a la fiabilidad de dichos sistemas:

- Investigación sobre nuevos indicadores de bacterias y sobre la necesidad de implantar indicadores de virus, para el control de los efluentes regenerados.
- Realización de estudios sobre el impacto de las aguas regeneradas respecto a la salud y el medio ambiente.
- Mejora de la eficacia y eficiencia de las tecnologías de membrana, tanto en su función como proceso separador sólido/líquido en los tratamientos biológicos, como exclusivamente tratamiento terciario.
- Investigación de nuevas tecnologías de regeneración más eficientes. Estudio de sistemas que combinen tecnologías intensivas ya contrastadas, con tecnologías extensivas o de bajo coste.
- Experimentación y desarrollo de nuevos métodos de control de los sistemas de regeneración y reutilización, como los "Sistemas de análisis de riesgos y de identificación y control de puntos críticos", que pueden constituir instrumentos eficaces para limitar los riesgos de la reutilización.