

**CONGRESO NACIONAL  
GESTIÓN DEL AGUA  
EN CUENCAS DEFICITARIAS**

**Orihuela 5, 6 y 7 de octubre de 2000**





**CONGRESO NACIONAL  
GESTIÓN DEL AGUA  
EN CUENCAS DEFICITARIAS**

**Orihuela 5, 6 y 7 de octubre de 2000**



Edita:

Centro de Investigación del Bajo Segura «Alquibla»

I.S.B.N.:

84-608-0274-4

Dep. Legal:

Mu-588/2005

Impreso en España por Pictografía, s.l.

Carril de la Parada, 3 • 30010 Murcia • Telf.: 968 34 49 50

# Abastecimiento de agua en cuencas deficitarias. Actuaciones posibles y problemas asociados

▀ **Daniel Prats Rico**

Catedrático de Ingeniería Química

Director del Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales. Universidad de Elche

## *El agua en el mundo*

Posiblemente los problemas tecnológicos más importantes que afectan globalmente a la humanidad son el abastecimiento de energía y de agua en las cantidades suficientes para su bienestar y desarrollo. En el caso de la energía los recursos disponibles proceden mayoritariamente de fuentes no renovables (y por tanto limitadas en el tiempo), además su empleo provoca graves problemas ambientales (lluvia ácida, deterioro de la capa de ozono, cambio climático, contaminación radioactiva) y son claramente insuficientes para abastecer a los países en vías de desarrollo. En el caso del agua los problemas principales son los desequilibrios entre recursos y necesidades en múltiples áreas geográficas (regiones desérticas, cuencas deficitarias, aglomeraciones urbanas, etc.), el deterioro de la calidad, los costes y problemas de su regulación y almacenamiento, y los consumos energéticos implicados en su transporte y en las nuevas tecnologías de aprovechamiento (reutilización, desalación).

Los recursos globales de agua en la Tierra (aproximadamente 1,4.109 km<sup>3</sup>) están mayoritariamente en

los océanos. Como se muestra en la figura 1 (Shiklomanov, 1999), únicamente el 2,5% del volumen total de agua en el mundo es agua dulce, y de ésta, sólo el 0,3% puede estar razonablemente disponible.

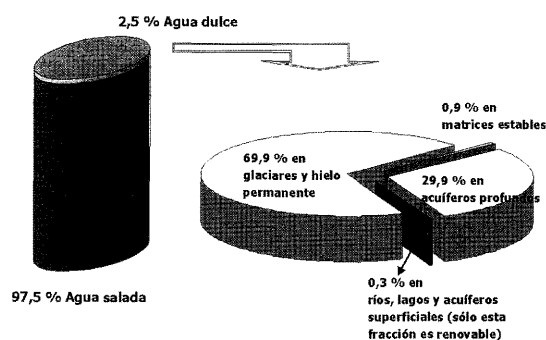


Figura 1. Los recursos totales de agua dulce en la Tierra.

Los recursos renovables de agua se originan en el ciclo del agua. Un 33% de la energía procedente del sol que llega a la tierra aporta el calor latente necesario para la evaporación de un gran volumen de agua que, condensado en las nubes en forma de agua y hielo, precipita posteriormente sobre los mares y continentes. Los volúmenes anuales evaporados o precipitados en océanos y continentes (Shiklomanov, 1999) se muestran en la figura 2.

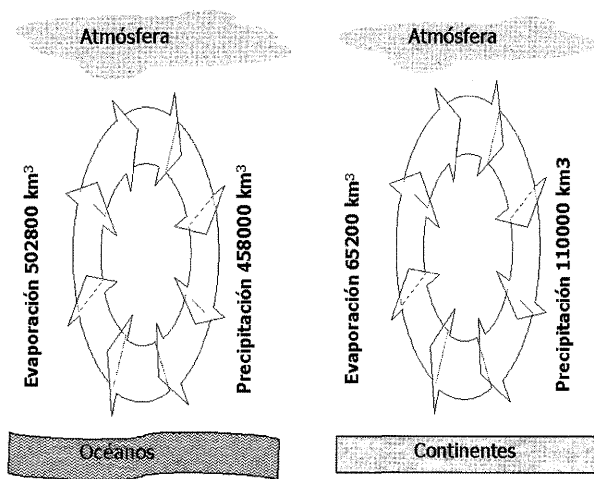


Figura 2. Ciclo simplificado del agua en toda la Tierra.

Como se puede deducir de la figura anterior, sobre los mares y océanos se evaporan anualmente 44.800 km<sup>3</sup> más de los que se precipitan, que es precisamente la cantidad anual de agua que precipita en exceso sobre la que se evapora en los continentes, creando un flujo renovable sobre ríos y lagos (42.600 km<sup>3</sup>) y acuíferos (2.200 km<sup>3</sup>).

La distribución de este flujo renovable es muy irregular, con grandes zonas desérticas y otras de muy elevada pluviometría. En la Tabla 1 se indican las disponibilidades por continentes de los recursos potenciales, pudiéndose observar grandes diferencias en los recursos por km<sup>2</sup>. Estas diferencias son más acusadas respecto a la disponibilidad específica por persona. Además, el aumento de población lleva a la disminución de las disponibilidades unitarias (en 1970 los recursos potenciales eran de 12,9 miles de m<sup>3</sup> por persona, mientras que en 1994 fueron de 7,6, reduciéndose más

Tabla 1  
Recursos de agua renovable

Continente	Área Mkm <sup>2</sup>	Población (1994)	Recursos potenciales totales km <sup>3</sup> /año	Recursos potenciales unitarios 1000 m <sup>3</sup> /año	
				Por km <sup>2</sup>	Por habitante
Europa	10,46	685	2900	277	4,23
Norteamérica	24,3	453	78900	324	17,4
África	30,1	708	4050	134	5,72
Asia	43,5	3445	13510	311	3,92
Sudamérica	17,9	315	12030	672	38,2
Australia y Oceanía	8,95	28,7	2404	269	83,7
Mundo	135	5633	42785	317	7,60

de dos veces la disponibilidad teórica en África y Asia).

A escala más reducida hay países con recursos muy abundantes y otros en los que son escasos (por ejemplo en Nueva Zelanda los recursos son de 89.400 m<sup>3</sup> por habitante y año, mientras que en China son de 2.200 m<sup>3</sup> por habitante y año). Como la población se reparte de forma muy desigual se presentan áreas o cuencas con recursos suficientes o en exceso y otras deficitarias, o sea que las necesidades de agua superan a los recursos disponibles. Por otra parte, varios factores que se producen a escala mundial como son la concentración de la población en grandes ciudades, la deforestación, el aumento de contaminación y las consecuencias del cambio climático, conducen a aumentar los desequilibrios y a que existan cada vez más áreas o cuencas deficitarias.

Las dificultades de aprovechamiento derivadas de factores tales como la viabilidad, capacidad tecnológica y costes de regulación de caudales, las posibilidades reales y costes de transferencias de unas regiones a otras, la necesidad de mantener unos caudales ecológicos que son en muchos casos muy difíciles de determinar, o que los caudales disponibles tengan la calidad requerida a su uso, explican que actualmente unos 2.000 millones de personas sufran restricciones severas de agua de calidad. Si se considera el progresivo incremento de la población mundial y los posibles efectos negativos del previsible cambio climático, esta cifra pueda aumentar significativamente en los próximos años.

### La dinámica de uso del agua

La alimentación, higiene, ocio, agricultura, industria y servicios que precisa el hombre, demandan grandes cantidades de agua (la Organización Mundial de la Salud estima que para cubrir todas las necesidades son necesarios como mínimo 1.000 m<sup>3</sup> por persona y año).

La agricultura es sin duda el sector que más demanda caudales de agua en muchos países y regiones del

mundo. El regadío de suelos se ha practicado por durante milenios, sin embargo, el mayor crecimiento de la superficie regada ha sido durante este siglo, principalmente hasta la década de los 70. En la actualidad la cantidad de tierras regadas se ha estabilizado en los países desarrollados pero necesariamente debe crecer en países en vías de desarrollo para atender a la demanda de alimento. En la figura 3 se muestra la evolución de los sectores con más consumo de agua (Shiklomanov, 1999).

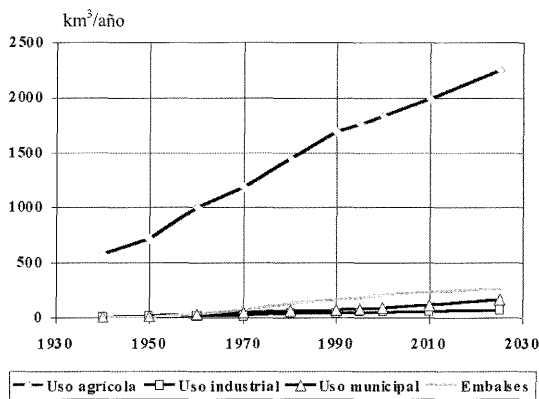


Figura 3. Evolución de los consumos de agua en el mundo por sectores

Es interesante resaltar el importante papel que, debido fundamentalmente a la evaporación, juegan los embalses en el consumo de agua. Durante 1995 la distribución de los consumos en Europa fue de 71,4% para agricultura, 5,6% para industria, 15,3% para uso municipal y 7,6% de embalses.

### La situación en España

Según el Libro Blanco del Agua (Ministerio de Medio Ambiente, 1998), en España hay una escorrentía anual de 111.000 hm<sup>3</sup>, que equivale a 220 mm por m<sup>2</sup> de superficie, aunque la distribución por cuencas es muy irregular, con escorrentías de 700 mm en la Cornisa Cantábrica frente a 50 mm en la Cuenca del Segura. El Libro Blanco indica que de los 111.000 hm<sup>3</sup> renovables se debe establecer una reserva ambiental de 22.000 hm<sup>3</sup>, con lo que quedan unos recursos poten-

ciales de 89.000 hm<sup>3</sup>. Con la regulación existente en la actualidad se puede disponer de unos 40.000 hm<sup>3</sup> en todo el Estado.

La demanda global actual es de unos 35.000 hm<sup>3</sup>, 68% corresponde a regadíos, 18% a abastecimiento urbano e industrial y un 14% a refrigeración de centrales térmicas de producción de energía. La distribución de los usos consuntivos se muestra en la figura 4.

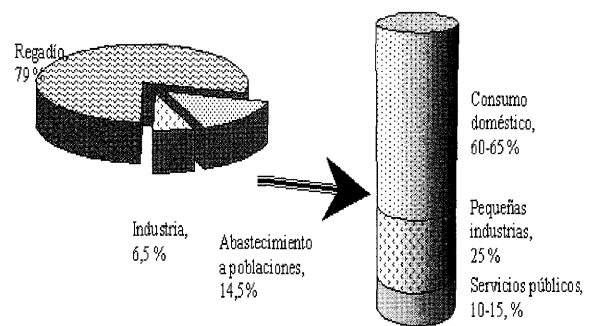


Figura 4. Distribución de los usos consuntivos de agua en España

Las demandas y los usos en las distintas cuencas y subcuencas son muy variables, por lo que se entiende que haya sistemas de explotación con escasez de recursos y otros con superávit respecto a sus necesidades actuales y futuras. Estas necesidades se han establecido en los correspondientes planes hidrológicos de cuenca, según los cuales:

- La cuenca del Segura es estructuralmente deficitaria, o sea, aún en el caso hipotético de máximo aprovechamiento de los recursos potenciales (los naturales más desalación y transferencias existentes) y máximo grado de reutilización, las demandas superan a los recursos.

- En las cuencas del Guadiana, Sur, Júcar y Ebro, hay también algunos sistemas de explotación con escasez estructural.

- La casi totalidad restante de las cuencas del Júcar y del Sur, y algunos sistemas del Guadalquivir, Ebro, Cataluña, Baleares y Canarias presentan escasez

coyuntural, normalmente asociada a periodos hidrológicos adversos.

– Las cuencas Norte, del Duero, del Ebro, y la cabecera y curso medio del Tajo son sistemas con superávit.

Un problema importante que dificulta el aprovechamiento es la falta de calidad requerida para los distintos usos posibles. Los vertidos urbanos e industriales, la contaminación difusa derivada del uso de fertilizantes y fitosanitarios y la contaminación de origen natural, conducen a un progresivo deterioro de los recursos, lo que reduce o inhabilita su aprovechamiento. Un claro y cercano ejemplo es la situación actual del río Segura en la Vega Baja. Un reflejo de la calidad de las aguas continentales en España se muestra en la figura 5 (Libro Blanco del Agua), en la que se muestra el Índice de Calidad General (calculado matemáticamente a partir de una fórmula de agregación que integra 23 parámetros de calidad de las aguas, 9 de ellos controlados en todos los casos y el resto usados en ciertas estaciones o períodos) que califica la calidad como excelente cuando se obtiene un índice entre 85 y 100, buena entre 75 y 85, regular entre 65 y 75, deficiente entre 50 y 65 y mala cuando es menor que 50.

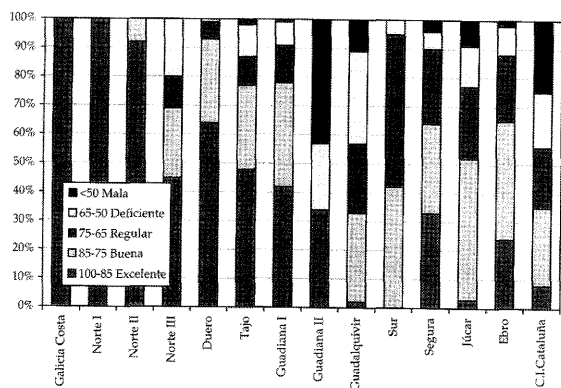


Figura 5. Situación de la calidad de las aguas superficiales expresada en porcentaje de longitud de la red fluvial según el Índice General de Calidad

En principio, un índice de calidad entre 50 y 0 implica prácticamente la imposibilidad de utilizar el agua para ningún uso y índices por debajo de 65 com-

prometen gravemente la mayor parte de los usos posibles. El resultado es que aproximadamente un tercio de la longitud de nuestra red fluvial presenta una calidad que no permite utilizar el agua para la mayoría de los usos. Por otra parte numerosos acuíferos presentan elevados grados de contaminación, fundamentalmente originados en la contaminación difusa derivada de usos de fertilizantes y fitosanitarios en agricultura. También hay muchas zonas del litoral con intrusión marina.

### Actuaciones posibles en cuencas deficitarias

En sistemas de explotación o cuencas en los que la demanda supere a los recursos disponibles, cabe dos tipos de actuaciones: reducir los consumos y/o incrementar los recursos. La reducción de consumos se puede conseguir mediante minimización de pérdidas y mediante optimización de usos. El incremento de recursos se puede lograr mediante trasvase desde sistemas con excedentes, mediante recuperación de calidad y reutilización de aguas residuales o mediante desalación de agua salobres o agua de mar. Se examina a continuación cada una de estas posibilidades comentando las principales dificultades asociadas.

### Reducción de consumos mediante minimización de pérdidas

La minimización de pérdidas de los recursos disponibles se puede conseguir mediante a) conservación, mantenimiento y modernización de las infraestructuras hidráulicas actuales (embalses, canales de riego, redes de abastecimiento urbano e industrial) y b) aumentando la capacidad de regulación

a) Conservación, mantenimiento y modernización de las infraestructuras hidráulicas actuales

– Más de 1.000 presas hay actualmente en servicio en España, con una capacidad total de embalse próxima a los 54.000 hm<sup>3</sup>. Además de la imprescind-

dible reparación de la presa en caso de fisuras o rotura, se debe mantener su capacidad de almacenamiento mediante el drenaje periódico de los sedimentos depositados. Esta actuación reduce además el riesgo de eutrofización, al evitar la movilización de nutrientes precipitados, lo que resulta fundamental en embalses que contengan agua de características prepotables para abastecimiento urbano. Las principales dificultades son los costes de la operación y el riesgo ambiental derivado de la deposición de los sedimentos extraídos.

– Muchas de las redes y canales de regadío son cauces de tierra sin revestimiento de impermeabilización, en algunos casos muy antiguas (el 70% con más de 20 años de antigüedad, de las que casi la mitad tienen más de un siglo), y frecuentemente muy deterioradas, lo que provoca pérdidas laterales además de filtraciones en el lecho (10 al 30%). Además, en los canales abiertos se produce evaporación y son susceptibles de recibir vertidos contaminantes sólidos o líquidos. En todos los casos se debe proceder a su rehabilitación y reparación y, cuando sea necesario, a su sustitución por tuberías cerradas e impermeables. Los problemas asociados a estas actuaciones son fundamentalmente los costes (en algunos casos las competencias para el control y ejecución de reformas es complejo debido a que en un mismo sistema de explotación pueden coexistir canales públicos junto con otros gestionados por comunidades de regantes).

– En el caso de redes de abastecimiento a poblaciones se dan también muy frecuentemente las situaciones de redes o tramos de redes muy antiguas y prácticamente obsoletas asociadas a pérdidas muy importantes en el suministro. En las redes de distribución dentro de poblaciones, debido a las múltiples ramificaciones y conexiones, cabría admitir hasta un 10 -15% de “pérdidas técnicas”; valores superiores deben ser evitados con la mejora y mantenimiento de las tuberías y con los apropiados medios técnicos que permitan detectar y cuantificar con rapidez la magnitud de las fugas. Recientes datos del Instituto Nacional de

Estadística (INE, 2000) derivados de una encuesta sobre 247 empresas abastecedoras de los principales núcleos urbanos, muestran que se pierde un 19,5% del agua distribuida. El principal problema se da sobre todo en pequeños municipios cuyos ingresos por el servicio son reducidos. Sin duda se debería plantear una adecuada política de tarifas que permita la conservación y mejora de las redes.

#### b) Incremento de la capacidad de regulación

– Teóricamente es posible estudiar si las cuencas deficitarias admiten más capacidad de regulación, logrando de esta forma la acumulación de caudales en periodos favorables para usarlos durante los periodos con escasez. Aparte de los costes, dos problemas importantes presenta esta alternativa. Por una parte, la necesidad de mantener caudales ecológicos durante todo el tiempo y por otra parte las fuertes evaporaciones que se producen en los embalses, (en las cuencas excedentarias la climatología suele ser de ambiente seco y altas temperaturas que favorecen la evaporación). En el Anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional (PNH), que se dio a conocer al Consejo Nacional del Agua el pasado 5 de noviembre, se prevé una inversión de unos 500.000 M. ptas para obras de regulación.

#### ***Reducción de consumos mediante optimización de usos***

Para poder reducir los consumos de agua en sus diferentes usos se debe optimizar su aplicación (regadío, abastecimiento urbano, uso industrial) para la consecución de los objetivos correspondientes con el mínimo consumo.

– En el caso de regadío se debe procurar la máxima eficiencia de aplicación al cultivo, empleando los volúmenes de agua apropiados (para que no se afecte la salinización del suelo y los caudales de aguas subterráneas) mediante técnicas de riego localizado, que consiguen una significativa reducción de los caudales empleados (el riego por goteo puede ahorrar hasta un 25%



respecto al de aspersión y hasta el 50% respecto al de gravedad). Nuevamente el principal problema para la transformación de regadíos es el coste de las reformas. El proyectado PHN prevé una inversión de unos 950.000 M. ptas para modernización de regadíos. Complementariamente hay otras medidas de ahorro como la sustitución de cultivos o el regar en horas de nula o baja insolación, siempre que la disponibilidad del agua lo permita. También se debería gestionar apropiadamente la tarificación del agua introduciendo el volumen consumido en el importe de la tarifa. Finalmente sería positivo arbitrar mecanismos para la formación y asistencia técnica para los regantes, con el fin de poner al alcance de los mismos los mecanismos de mejora de gestión en usos de agua, fertilizantes y fitosanitarios.

– En el caso de abastecimiento urbano resulta imprescindible el evitar el derroche de los distintos usos del agua. Para el empleo domiciliario (aseo personal, limpieza, colada, etc.) se debe proceder a la adecuada concienciación ciudadana en el sentido que el relativamente reducido coste del recurso no justifica su despilfarro. Además se deben equipar equipos interiores como grifos, cisternas de descarga, etc., con dispositivos de ahorro apropiados. Para ello, además de la concienciación ciudadana y, como la problemática del agua previsiblemente no se resolverá a corto ni medio plazo, esta información debería empezar en las primeras etapas de formación escolar. Respecto a los usos municipales, puede ser importante la adecuada selección de los cultivos ornamentales de las zonas verdes y vías públicas.

– Los consumos de agua en la industria son en muchos casos muy importantes. En ocasiones es posible elegir entre distintos procesos que conducen a mismo resultado (productivo o transformador). Evidentemente se deben seleccionar aquellos con mínimo consumo de agua y energía. Obviamente para industrias ya en funcionamiento, las modificaciones serán parciales y en relación con las disponibilidades económicas. Además y siempre que sea factible, se debe optar por el reciclaje del agua empleada en los procesos.

### *Incremento de recursos mediante trasvase desde sistemas con excedentes*

Con los actuales niveles de demanda y razonables previsiones de demanda futura existen sistemas de explotación con excedentes, es decir aquellos en los que los recursos son mayores que las necesidades. Entonces es posible conducir parte de los caudales excedentes hasta sistemas deficitarios. Según el área geográfica implicada, los trasvases pueden ser en el interior de una única cuenca (por ejemplo el proyectado Júcar-Vinalopó en la cuenca del Júcar) o intercuenas (por ejemplo el Tajo-Segura). El PHN contempla la posibilidad de una serie de trasvases intercuenas, Alto Duero-Bolarque, Bajo Duero-Bolarque, Tiétar-La Roda, Bajo Ebro-Llobregat, Noguera Pallaresa-Llobregat, Ródano-Barcelona y Ebro-Júcar-Segura: en general los trasvases implican una serie de problemas importantes como son:

– Evaluación de necesidades reales (sobre todo las futuras).

– Priorización de necesidades en función de beneficio social y económico.

– Evaluación de caudales ecológicos. A modo de ejemplo, el previsible impacto que sobre el Delta del Ebro o sobre la intrusión marina puede producir el trasvase de 1.000 hm<sup>3</sup>/año que propone el proyecto de PHN.

– Impacto ambiental de las obras sobre el medio físico. A modo de ejemplo también se puede citar que el trasvase del Ebro hasta Barcelona y Almería, podría atravesar hasta 14 espacios naturales protegidos.

– Consumo energético de ejecución y operación.

– Costes de ejecución y mantenimiento. Citando nuevamente el trasvase del Ebro hasta Barcelona y Almería, su coste se estima en 700.000 M. ptas.

– Oposición de sectores sociales.

– Oposición de sectores políticos.

### Incremento de recursos mediante reutilización

Las aguas se contaminan durante su uso, inhabilitándose para ser empleadas nuevamente en el mismo u otros usos. Las aguas de regadío pueden constituir una excepción por la propia dinámica de aplicación, ya que las aguas sobrantes que drenan los suelos pueden retornar a cauces a través de canales o azarbes y, diluidas con las aguas del cauce, emplearse nuevamente para regadío; también es posible que alcancen acuíferos que se empleen posteriormente incluso para abastecimiento a poblaciones. En estos casos se puede producir una progresiva contaminación donde se acumulan los contaminantes. En general, tras un tratamiento apropiado, las aguas residuales urbanas e industriales pueden aplicarse a distintos usos, tal como se indica en la Tabla 2.

El tratamiento de las aguas residuales se realiza mediante una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que reducen los contaminantes y donde se genera una corriente de lodos que contiene la mayoría de los contaminantes separados del agua, tal como se muestra en la figura 6.

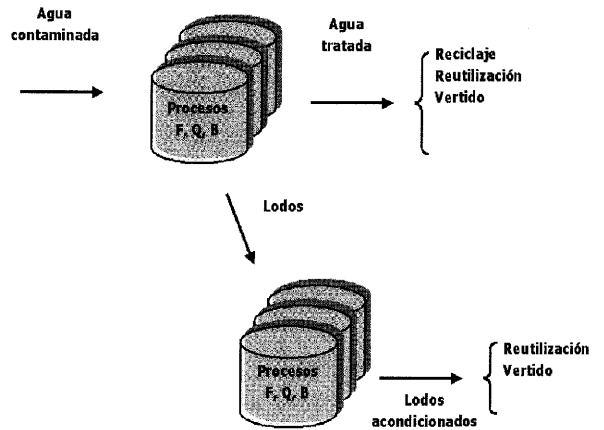


Figura 6. Representación esquemática del tratamiento de aguas

El tratamiento debe realizarse con el diseño apropiado que permita alcanzar los objetivos de calidad de agua tratada para cumplir la normativa de vertido o, en caso de reutilización, la requerida en relación con el nuevo uso.

Según el informe sobre el estado de la depuración en España (Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de Aguas) en 1994 la carga contaminante generada en España era de

**Tabla 2**  
**Posibilidades de reutilización de aguas**

Tipo de uso previo	Posibilidades de reutilización	Problemas asociados
Regadío	Nuevo regadío aguas abajo Infiltración en acuífero	Acumulación de contaminantes (sales del suelo, fertilizantes, fitosanitarios)
Abastecimiento urbano	Regadíos Caudales ecológicos Usos municipales Recarga acuíferos	Tratamiento apropiado (contaminantes orgánicos e inorgánicos) Riesgo sanitario Costes tratamiento Infraestructuras almacenamiento
Uso industrial	Reciclaje Reutilización en la propia instalación	Aguas muy contaminadas Ubicación (vertido a redes municipales) Costes tratamiento

85 millones de habitantes equivalentes, 45% originada por la población de hecho, 14% por la población estacional y 41% por la industria y ganadería.

Las aguas residuales generadas deben tratarse de forma apropiada para proteger las zonas de vertido. El tipo de tratamiento para cada una de las zonas viene establecido en la Directiva 91/271/CEE, donde también se establecen los criterios para la calificación de las zonas y los plazos para la progresiva implantación del tratamiento en función del número de habitantes equivalentes de cada población.

En España, la distribución de carga contaminante por zonas de vertido es de 69,5% en zonas “normales”, 9,0% en zonas “sensibles” y 21,5% en zonas “menos sensibles”.

El estado de la depuración de acuerdo a la Directiva y su evolución, se muestra en la figura 7. Se puede observar que en 1997 un porcentaje muy elevado de aguas residuales no recibía tratamiento conforme a la Directiva, tanto a escala global, como en las comunidades de Valencia y Murcia.

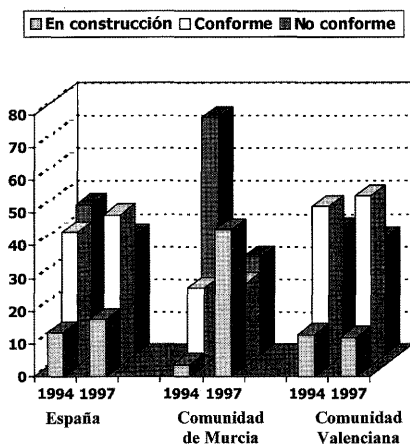


Figura 7. Evolución del tratamiento de aguas residuales en función de lo establecido en la Directiva 91/271/CEE.

Uno de los problemas más importantes es para la completa solución al tratamiento de aguas residuales son los vertidos de origen industrial. Hay más de 270.000 industrias que vierten a las distintas cuencas con necesidad de regularización, agrupadas en 11 sectores industriales, que precisan una inversión total

superior a 470.000 M. ptas (media ponderada de 12 M. ptas). Además se producen gran cantidad de vertidos al alcantarillado urbano, lo que dificulta o impide el tratamiento apropiado para obtener efluentes de calidad.

Es muy importante indicar que en absoluto todas las aguas depuradas de acuerdo a la Directiva son aptas para su reutilización. La calidad del efluente es la que determina los posibles usos posibles y esta calidad está directamente relacionada con las características del agua residual y con su tratamiento. Es muy deseable que se apruebe lo antes posible una normativa que establezca la calidad requerida de las aguas tratadas para poder ser reutilizadas en cada posible uso.

#### ***Incremento de recursos mediante desalación***

El avance científico en las técnicas para la desalación y el constante incremento de instalaciones en todo el mundo, permiten que cada vez sea más fiable y económicamente atractivo la obtención de caudales de agua dulce a partir de agua salobre y agua de mar.

A escala mundial se producen actualmente unos 30 hm<sup>3</sup>/día de agua dulce (14 hm<sup>3</sup>/día desde agua salobre y 16 hm<sup>3</sup>/día desde agua de mar). Cuando la procedencia es agua de mar el uso es como abastecimiento, mientras que cuando procede de agua salobre el coste de producción es mucho menor y se emplea para abastecimiento y regadío. La evolución de la producción hasta 1996 se muestra en la figura 8 (Medina San Juan, 1999).

Los principales productores se muestran en la figura 9.

Es significativo que la mayor producción se encuentre en Arabia Saudita con un 26,8% del total, seguida de Estados Unidos con el 15,7%, Emiratos Arabes con el 11,1% y Kuwait con el 8,1%, países productores de petróleo, por tanto con unos costes energéticos muy bajos, y tres de ellos muy áridos. En los paí-

ses árabes se trata fundamentalmente de plantas de agua de mar para abastecimientos urbanos. En EE.UU., que no tiene en general tantos problemas de aridez, las instalaciones son preferentemente de agua salobre y tanto para usos urbanos como industriales. Así pues, en países con una escasez importante de agua y con importantes recursos energéticos, la desalación se ha implantado extensamente como fuente de abastecimiento de agua (por ejemplo en Bahrain, Kuwait, Qatar o Emiratos Arabes este suministro supone más de 600 L/hab. día.

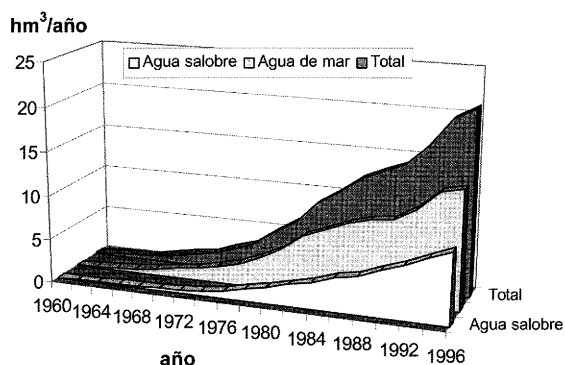


Figura 8. Producción de agua dulce a partir de agua salobre y agua de mar en el mundo.

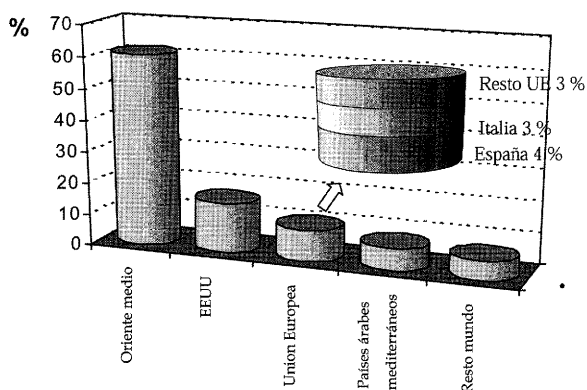


Figura 9. Principales productores.

Hasta hace pocos años la historia de la desalación en España ha estado directamente relacionada con las necesidades y desarrollo turístico de Canarias, concentrándose allí casi todas las instalaciones de agua de mar (también las primeras instalaciones de desalinización

de aguas salobres para la agricultura se montaron allí). En años recientes el crecimiento ha sido muy importante en la península, fundamentalmente en el Sureste y Baleares. En la figura 10 se muestra la evolución hasta 1997 (Medina San Juan, 1999), en la que se puede observar los elevados caudales que se destinan a la industria, así como la expansión que se viene produciendo en las aplicaciones a la agricultura.

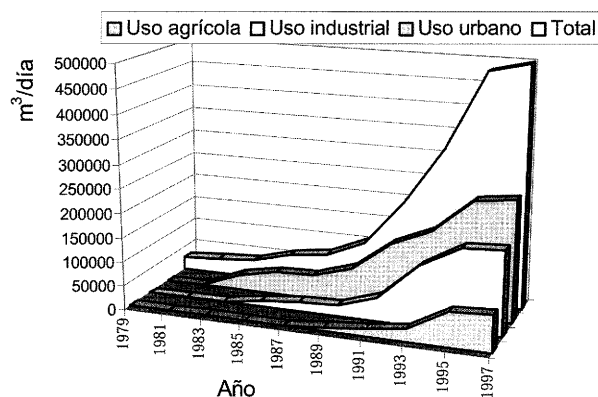


Figura 10. Evolución y usos del agua desalada en España.

En conjunto la utilización de aguas salobres y de mar supone actualmente en nuestro país una aportación al ciclo hidrológico de más de 200 hm³/año, de los que el 40% provienen de agua del mar y el resto de aguas salobres. Con las previsiones de actualmente previstas, en los próximos 2 ó 3 años se alcanzarán aproximadamente los 275 hm³/año, de los que 200 hm³ se extraerán de agua de mar.

Respecto a los trasvases para incrementar los recursos de agua, la utilización de aguas salobres o agua de mar presenta ventajas e inconvenientes. Las principales ventajas son:

- Excelente y constante calidad del agua dulce obtenida.
- Recurso ilimitado en el caso de agua de mar.
- Gestión local del recurso.

Los principales problemas son los costes, el consumo de energía y el impacto ambiental provocado por la



eliminación de la corriente de rechazo (salmuera) que se genera en el proceso de desalación:

– Respecto a los costes, éstos dependen de la calidad del agua a utilizar (salinidad y otros contaminantes como materia orgánica, microorganismos o metales), de la tecnología empleada (en las condiciones de España y para instalaciones de obtención de agua potable la tecnología más apropiada es la ósmosis inversa), de la calidad requerida para el agua dulce (potable, para regadío, etc.) y del tamaño de la instalación (las instalaciones grandes se benefician de la economía de escala). Así por ejemplo (Prats, 2000), en una instalación para la producción de unos 20.000 m<sup>3</sup>/día de agua potable a partir de agua de mar empleando la tecnología de ósmosis inversa, se obtendría el agua en planta a un coste de unas 100 a 130 ptas/m<sup>3</sup>, de las que aproximadamente el 40% corresponderían a la amortización y más de un 30% a la energía empleada. En el caso de partir de aguas salobres de unos 5 g/L de sales, los costes se reducen sustancialmente, obteniéndose el agua dulce a unas 30 a 40 ptas/m<sup>3</sup>.

– El consumo de energía varía en función de la técnica empleada y de la calidad del agua a tratar. En el caso de ósmosis inversa oscila entre unos 5 kWh/m<sup>3</sup> para agua de mar y unos 1,5 kWh/m<sup>3</sup> para agua salobre de unos 5 g/L de sales disueltas. La importancia relativa de estos consumos puede relacionarse con los consumos de energía que también son necesarios para la disposición de todos los otros bienes como alimentos, vestidos, vivienda, calefacción y refrigeración, educación, transporte, ocio, etc. Así, si toda el agua que se consume en una vivienda familiar de 4 personas tiene su origen en el mar, el consumo eléctrico asociado a la desalación será de unos 3 kWh/día, (5 kWh/m<sup>3</sup>) (0,15 m<sup>3</sup>/persona.día) (4 personas), lo que equivale por ejemplo a 2 horas de funcionamiento de un radiador de 1.500 w. Por otra parte hay que considerar que si la opción para incrementar los recursos de agua es un trasvase, se consume energía para realizar las elevaciones y cubrir las

pérdidas de energía en las conducciones. También en el caso de reutilización de aguas residuales, los distintos tratamientos para acondicionar el agua consumen energía.

– El rechazo o salmuera que contiene las sales que se han separado el proceso de obtención de agua dulce debe ser convenientemente evacuado. En el caso de salmueras de agua de mar esta corriente puede contener hasta 70 g/L de sales (el agua de mar contiene 39 g/L). Hay que indicar que se trata fundamentalmente de las mismas sales que hay en el mar, no de otros agentes tóxicos o contaminantes como puede haber en efluentes de depuradoras que también deben ser evacuados al mar o en el agua de los ríos en su desembocadura. Por tanto su vertido al mar únicamente va a tener afección en la concentración de sales en las proximidades del punto de evacuación, donde habrá unas zonas, de mayor o menor extensión en función de las condiciones fluidodinámicas existentes, en las que la concentración de sales será mayor que la media del mar (un efecto contrario respecto a la salinidad se producen el vertido a través de emisarios de aguas residuales o en las desembocaduras de los ríos). Los efectos negativos son pues de afección local a la salinidad, lo que puede tener incidencias negativas sobre el bentos hasta que se produzca la dilución apropiada de los vertidos. Son necesarios estudios científicos para cuantificar dichos efectos y para decidir la mejor forma de evacuación (mezcla con agua residual, múltiples difusores, etc.). En el caso de efluentes de aguas salobres la incidencia es menor. En algunos casos es posible, disponer los vertidos en acuíferos profundos que ya están muy salinizados. Esta opción puede ser una buena alternativa para plantas situadas muy lejos de la línea de costa.

### **Bibliografía**

Igor A. Shiklomanov “World water resources at the beginning of the 21st century”. Monografía del

Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO. State Hydrological Institute, St. Petersburg, Rusia, 1999. (<http://espejo.unesco.org.uy/index.html>).

Ministerio de Medio Ambiente. Libro Blanco del Agua, 1999. (<http://www.mma.es:8088/GENERAL/seac/librob/sintesisdic4.htm>).

Medina San Juan, José Antonio. “Desalación de aguas salobres y agua del mar. Ósmosis Inversa”. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid 1999.

Prats, D. “Desalinización de aguas salobres y de mar como alternativa de abastecimiento”. *Alquibla*, 6, 59-76, 2000.

Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de Aguas. ([http://www.mma.es/docs/hidra\\_calagua/coca/icg.ht](http://www.mma.es/docs/hidra_calagua/coca/icg.ht)).

Instituto Nacional de Estadística. Notas de Prensa, 1999.