

MITIGANDO FUTURAS CRISIS DE AGUA Y ALIMENTOS: RECICLAJE, DESALINIZACIÓN Y PLANES DE CONTINGENCIA ANTE SEQUÍAS

Hendrik J. Bruins

Resumen:

Aproximadamente, el 30% de la población mundial vive en tierras donde el agua es escasa y la sequía constituye un serio peligro natural. Extensas partes de África, el Norte de China, India, Oriente Medio, el área Mediterránea, el oeste de los Estados Unidos, así como algunas regiones de México, Perú, Chile Argentina y la mayor parte de Australia se caracterizan por la escasez de agua. La sequía y el hambre sufridas en parte de Etiopía durante el presente año 2000, demuestran la vulnerabilidad de las sociedades que carecen de un acceso técnico a sus reservas de agua así como de una capacidad estructurada para la producción de alimentos. No obstante, otros países tecnológicamente avanzados también se están aproximando lenta pero irremisiblemente a un peligroso nivel de vulnerabilidad, debido a que están agotando sus recursos hídricos por una gestión no sostenible de los mismos. Las reservas mundiales de alimento son muy pequeñas. En el caso de aparecer sequías severas y simultáneas tanto en las grandes llanuras centrales de Norte América (el área principal para la producción de reservas de grano para el mercado mundial), como en China e India (las dos naciones más pobladas de la Tierra), podría llegarse al agotamiento completo de las reservas mundiales de alimento, y producirse hambruna a gran escala en regiones que dependen para su mantenimiento de la importación de aquéllos. ¿Cómo puede aumentarse la seguridad en el abastecimiento de agua y alimentos a la luz de un escenario tan catastrófico como el presentado? En primer lugar y sobre todo, es necesario un cambio de política, y pasar de la actual sobreexplotación no sostenible de los recursos convencionales de agua a una gestión sostenible de los mismos. Una estructura tarifaria para el agua que refleje fielmente su valor económico real es un elemento crucial para un uso eficiente y sostenible de la misma. El desarrollo técnico de fuentes alternativas de recursos hídricos constituye otra estrategia importante. Los efluentes urbanos e industriales deben reciclarse de forma sostenible para preservar la calidad tanto del agua como del suelo, a la vez que posibilitan una nueva fuente de agua para la agricultura. La desalación de agua salobre y de mar puede suponer otra nueva fuente alternativa de agua para los sectores urbano e industrial, y posteriormente, también como agua reciclada para la agricultura. Finalmente, deben prepararse planes detallados de contingencia ante sequías a escala tanto nacional como local, con el fin de gestionar adecuadamente los periodos de escasez, de tal modo que éstos causen el menor daño posible a la economía y la sociedad.

Palabras clave: Gestión del Agua, Sostenibilidad, Sequías, Desalinización.

INTRODUCCIÓN

El uso general del agua, a escala global, se ha multiplicado por más de tres desde 1950. El mayor destinatario de agua es la agricultura, que recibe cerca del 70% de todos los suministros de agua

existentes en la actualidad. La importancia del riego en la agricultura está directamente relacionada con la cantidad de alimentos que ésta produce, particularmente en tierras con climas secos. La agricultura de regadío produce el 40% de toda la comida en el mundo, utilizando únicamente un 16% de

Ben-Gurion University of the Negev, Jacob Blaustein Institute for Desert Research,
Social Studies Unit, Department of Man in the Desert, Sede Boker Campus, 84990, Israel
Tel +972-7-6536863 Fax: +972-7-6536867 Email: hjbruins@bgumail.bgu.ac.il

Traducción: Ricardo Cobacho Jordan, Grupo de Mecánica de Fluidos ETSII, Dpto. de Ingeniería Hidráulica y M. Ambiente U.P.C.
rcobacho@gmf.upv.es

Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo siguiendo lo indicado en las "Instrucciones para autores". En el caso de ser aceptadas, éstas serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores.

las tierras destinadas a usos agrícolas (Postel, 1998). Sin embargo, la sobreexplotación con destino al riego de los recursos de agua convencionales, especialmente de las aguas subterráneas, conducirá probablemente a una crisis hídrica en numerosas regiones.

A medida que las aguas subterráneas destinadas a riego agrícola se van agotando, se produce una anegación y salinización de los suelos en las tierras de cultivo con niveles freáticos altos y problemas de drenaje. Estas características de la insostenibilidad en la gestión causarán con toda probabilidad una disminución en la producción de las tierras irrigadas. Y a su vez, ello conducirá a una escasez de alimentos en las regiones que de ellas dependen.

Los ingenieros han desempeñado una función esencial en el proceso de satisfacer las siempre crecientes necesidades de agua por parte de la sociedad. Los grandes proyectos de ingeniería, a menudo subvencionados oficialmente, se han ocupado generalmente del diseño y construcción de presas para el almacenamiento de aguas superficiales (Micklin, 1996; Roos, 1998; del Moral y Giansante, 2000). El número de grandes presas ha aumentado, en todo el mundo, desde las 5.000 en 1950 hasta las 38.000 en 1995 (Goudie, 1993; Postel, 1997). Entre los mayores proyectos en este terreno se cuentan la presa de Sardar Sarovar en la India y la presa de las Tres Gargantas en China, habiéndose mantenido por otro lado amplios debates acerca de su conveniencia en términos de costes y beneficios (El-Bihbety y Lithwick, 1998).

La escasez seria de agua en muchos países con regiones secas impone el desarrollo de fuentes alternativas de recursos. Tanto la desalinización como el reciclaje de los efluentes urbanos pueden ciertamente ayudar a mitigar algunos de sus efectos negativos. Sin embargo, además de nuevos proyectos de ingeniería al respecto, resulta de la mayor importancia desarrollar planes de contingencia y mecanismos urgentes de gestión para tiempos de sequía y escasez de alimentos (Cabrera y col., 1998; Bruins, 1998, 2000a, 2000b; Wilhite, 2000).

LA ESCASEZ DE AGUA

Los resultados de un detallado estudio en 118 países sobre consumo de agua y recursos hídricos previstos para el primer cuarto del S. XXI resultan alarmantes (Seclker, Barker y Amarsinghe, 1999).

El estudio se basa en los datos actualmente disponibles en dichos países y en el cálculo de sus proyecciones a lo largo del periodo de 1990 a 2025. Aproximadamente, mil millones de personas se van a ver enfrentadas a unas condiciones de escasez absoluta de agua. Esta circunstancia se sitúa en las regiones secas del globo que no cuentan con suficientes recursos hídricos, incluyendo extensas zonas de la India y China. Otro grupo de 350 millones de personas quedará afectado por severas 'carencias económicas de agua' en regiones donde se requieren proyectos de desarrollo de un alto coste para acceder al potencial hídrico disponible. La escasez de agua conduce generalmente al deterioro de su calidad. Más aún, el incremento en la explotación de los recursos hídricos convencionales puede causar serios daños al medio ambiente.

Los países de la cuenca mediterránea se enfrentan igualmente a serias crisis hídricas y problemas ecológicos derivados de las actuales y pasadas prácticas en el riego agrícola; lo cual ha acentuado los estragos causados por las sequías y producido la erosión y salinización del suelo, esto es: la desertización. Los países del Oriente Próximo y el norte de África, que cuentan con los climas más secos dentro de toda el área mediterránea, sufren asimismo las déficits más severos (Bruins, 1998, 2000a). Sin embargo, Grecia, España (Cabrera y col., 1998; del Moral y Giansante, 2000) y algunas partes de Turquía sufren asimismo de estrés hídrico. Si la cantidad de agua disponible en un país cae por debajo de los 1000 m³ por habitante y año, se considera que éste sufre una situación de deficiencia hídrica. Los recursos hídricos renovables de Israel y Jordania se encuentran, en ambos casos, claramente por debajo de la cifra señalada, llegando a los 330 m³ y 190 m³ por habitante y año, respectivamente, según datos de 1992 (Postel, 1993).

Siria cuenta con 550 m³ por habitante y año como recursos propios, mientras que otros 250 m³ por habitante y año le llegan desde Turquía a través del río Éufrates. Turquía, dentro del marco del South-East Anatolia Project (GAP) construyó tres grandes presas en dicho río y tres más en la cabecera del río Tigris. Se espera que dicho proyecto genere para el año 2015 alrededor de un 20% de la electricidad consumida por todo el país, mientras que el agua acumulada en los lagos artificiales creados por las presas podría llegar a regar 20.000 km². Por otra parte, Turquía se ha comprometido unilateralmente a descargar 500 m³/s en el Éufrates con destino a Siria. A pesar de ello y aunque les resultó beneficioso durante la sequía que sufrieron en

1989, 1990 y 1991 (Bulloch y Darwish, 1993), tanto en Siria como en Irak existe una preocupación creciente por el hecho de que ahora Turquía es capaz de controlar el caudal de agua que a dichos países les llega, y por tanto sus reservas.

PRODUCCIÓN DE LOS REGADÍOS Y AGOTAMIENTO DE LAS RESERVAS SUBTERRÁNEAS

Una revolución más callada, dentro de la ingeniería hidráulica, ha sido el desarrollo de bombas más baratas y altamente fiables. La perforación de un pozo para acceder a reservas de agua subterránea y su subsiguiente explotación resulta una inversión menor comparada con la construcción de grandes presas. Equipos pequeños de bombas sumergidas se ajustan perfectamente a las necesidades de pequeños agricultores incluso en países del tercer mundo, lo cual ha causado una propagación explosiva del empleo de pozos por las tierras secas de todo el mundo (Postel, 1997).

Por ejemplo, en la India, la segunda nación más poblada del mundo, el área regada con aguas subterráneas a través de pozos es mayor que la suma de todas las demás áreas regadas de cualquier otro modo. En teoría, el riego con agua bombeada desde acuíferos puede considerarse como la forma de riego ideal, ya que en el subsuelo no se producen pérdidas por evaporación, al contrario de lo que ocurre con el agua almacenada en las grandes presas. Además, los lagos artificiales creados por éstas pueden resultar peligrosos en zonas tectónicamente activas, ya que las presas pueden romperse debido a los efectos provocados por un movimiento de tierras y descargar en el valle el agua acumulada en forma de una avalancha potencialmente letal. El uso de agua subterránea no presenta ninguno de esos inconvenientes. En combinación con la agricultura común, que depende exclusivamente de la lluvia, la incorporación de pozos al sistema agrícola aumenta notablemente su viabilidad. Los pozos permiten el acceso a reservas de agua que pueden utilizarse en periodos de sequía durante la estación lluviosa, al mismo tiempo que proporcionan agua durante la estación seca y permiten, de esta forma y con fiabilidad, la obtención de múltiples cosechas a lo largo del año. La utilización de pozos para el riego ha resultado ser un factor muy importante en la 'revolución verde' que han experimentado la India y otros países asiáticos (Seckler, Barker y Amarasinghe, 1999). El único problema que presenta este uso maravilloso de las aguas subterráneas estriba en

que su actual gestión es predominantemente insostenible; lo cual no es ciertamente un problema ingenieril, sino que está estrechamente relacionado con las políticas de actuación por parte de los sectores público y privado, la planificación y control de los recursos, la legislación y la tarificación del agua.

Muchos países están permitiendo, de alguna forma, la sobreexplotación de sus recursos hídricos convencionales y dejando los problemas a resolver para la siguiente generación. Las aguas subterráneas han venido siendo explotadas a un ritmo alarmante durante las pasadas dos o tres décadas en China, India, Pakistán, el Oriente Medio, el norte de África y México. Tal gestión insostenible del agua es tanto insensata como peligrosa, y probablemente tendrá consecuencias muy dolorosas. Los resultados pueden ser desastrosos, particularmente en China, India, Pakistán y México, que tienen grandes poblaciones. Así, es previsible un colapso del sistema agrícola cuando los niveles freáticos han disminuido tanto que el riego resulta imposible. Las ramificaciones de estos escenarios adversos probablemente se harán notar en todo el resto del mundo (Seckler, Barker y Amarasinghe, 1999).

Actualmente, el hecho es que millones de toneladas de grano se están produciendo cada año mediante un uso insostenible de las aguas subterráneas. Los países más poblados del mundo, China y la India, probablemente sufrirán en el futuro una mayor escasez de agua. Por debajo de extensas zonas agrícolas de regadío en las regiones secas del norte de China, los niveles freáticos están cayendo alrededor de un metro por año. En el caso de la India, en la región del Punjab, el descenso anual de dichos niveles se sitúa en torno a los 20 cm (Postel, 1998). La extracción de aguas subterráneas en la India excede su recarga natural por un factor de dos, o incluso más. Lagos y ríos se secan o pasan a tener un régimen estacional a medida que los niveles freáticos continúan su tendencia descendente. Recursos y suministros a ciudades se están viendo también negativamente afectados como resultado de todo ello. Eventualmente, el sistema completo puede colapsarse conforme los pozos vayan proporcionando menos y menos agua. La India podría perder más del 25% de su producción total de alimentos como resultado del agotamiento de sus aguas subterráneas (Seckler, Barker y Amarasinghe, 1999). El colapso de dicho sistema puede conducir a una hambruna regional a gran escala a lo largo del S. XXI y a una, entonces inevitable, inestabilidad política.

LA PRODUCCIÓN DE LOS REGADÍOS Y LA SALINIZACIÓN

Mientras los niveles freáticos descienden en algunas áreas como consecuencia de la sobreexplotación de los pozos, otras zonas de regadío se ven amenazadas por la subida de los mismos. Muchas áreas de poca pendiente presentan problemas de drenaje, que el riego de las mismas agrava. Cuando la subida del nivel freático es una consecuencia como la comentada, la aparición de la salinización puede convertir una zona agrícola en un erial. La salinización del suelo en regiones subhúmedas, subáridas y semiáridas, como consecuencia del desarrollo de los riegos, es uno de los más claros ejemplos de desertización debida a las actividades humanas. Si los niveles freáticos llegan a menos de 2 ó 3 m del la superficie del suelo, el agua emergerá por encima de la misma debido a las fuerzas de capilaridad. Y entonces, a medida que el agua aflorada se evapore dejando atrás las sales que llevaba disuelta, se producirá la salinización del suelo.

Continentes	País	Superficie afectada por la salinización (%)
Asia	Chipre	25
	India	27
	Irán	30
	Irak	50
	Israel	13
	Jordania	16
	Pakistán	40
	Siria	35
África	Sri Lanka	13
	Argenia	15
	Egipto	40
	Senegal	15
	Sudán	20
América del Norte	E.E.U.U.	20
América del Sur	Colombia	20
	Perú	12

Tabla 1. Proporción de las tierras irrigadas afectadas por la salinización en diversos países (Wellens y Millington, 1992, pág. 248)

Grandes áreas irrigadas han sufrido la salinización comentada en muchos países de Asia, África, América del Norte, América del Sur y Australia (Tabla 1). Irak y Pakistán son los más afectados. Los problemas de salinización son el resultado del impacto conjunto de la agricultura de regadío sobre el medio ambiente, debido al efecto acumulativo de las acciones por parte de los agricultores individuales y las políticas de los sectores público y privado.

La cuenca de Murray-Darling en el sudeste de Australia supone un claro ejemplo de una nueva zona irrigada en un país desarrollado, que se ha visto afectada por la anegación y salinización causadas por el hombre. Los problemas ya comenzaron en el último cuarto del S. XIX, en los distritos de regadío al norte del estado de Victoria, tal y como describe Powell (1998). Un exceso sin control en la cantidad de agua destinada al riego fue sospechado entonces como la causa de los primeros problemas de anegación. Durante el periodo de 1880 a 1890, el nivel freático en una zona determinada había subido desde los 9 m hasta sólo 4 m por debajo de la superficie del suelo. Las condiciones estaban entonces dispuestas para la ya inevitable salinización. La primera gran aparición de sal fue detectada a principios de la década de los veinte. Durante los años treinta, varios centenares de miles de hectáreas ya se habían visto severamente degradadas, con la ayuda de gestores de recursos. "Muy frecuentemente, las decisiones de gestión reflejaban factores políticos muy localizados y la más que pobre comprensión que entonces se tenía de las intrincadas relaciones entre las variaciones geográficas de la presión en las aguas subterráneas y de los patrones paleohidrológicos subterráneos. Algunas de las respuestas menos satisfactorias vinieron de los regantes que habían presionado con éxito a sus representantes en el parlamento para conseguir mayores asignaciones de agua: el mismo riego se empleó como la solución a los problemas que había causado" (Powell, 1998, pág 63-64). Esta compleja interrelación entre la gestión de los regadíos y la política parece seguir hoy día un derrotero familiar en muchos lugares, confirmando el hecho de que el factor humano es más fuerte que todos los indicadores físicos.

El desarrollo de las regiones áridas en general, y de la planificación y gestión de los riegos en particular, son tareas delicadas. Una apropiada planificación preventiva, así como una gestión interactiva deben ser capaces de anticipar y solucionar problemas potenciales tanto medioambientales como socioeconómicos, proporcionando modos genéricos de actuación y mecanismos de ajuste que puedan desarrollarse tan específicamente como se desee en cada caso (Bruins y Lithwick, 1998; Shanan, 1998). La monitorización del medio ambiente y la legislación tienen una importancia crucial a este respecto, pero no hay que olvidar que el factor humano, en forma de política del gobierno y estrategias del sector privado, puede prevalecer sobre acciones juiciosas de la gestión y arruinar posibles soluciones.

EL PARADIGMA HIDRÁULICO EN ESPAÑA Y LA FALTA DE PLANES DE CONTINGENCIA ANTE SEQUÍAS Y GESTIÓN DE CRISIS

El desarrollo de la gestión de los recursos hídricos en regiones secas mediante grandes proyectos de ingeniería puede ser necesario y positivo para mejorar la disponibilidad de agua en términos espaciales y temporales. Sin embargo, la ingeniería no puede reemplazar la necesidad de planes de contingencia y mecanismos para la gestión de crisis, con el fin de afrontar periodos recurrentes de sequía (Cabrera y col., 1998). El clima en las regiones secas no puede cambiarse, pero la ingeniería sí puede alejar el umbral de la vulnerabilidad a la sequía mediante el incremento de la capacidad de agua utilizada como amortiguador en un sistema de distribución de agua. No debe olvidarse el hecho de que, mientras la frecuencia del impacto de una posible sequía puede reducirse, la vulnerabilidad del sistema no puede ser completamente eliminada.

Durante todo el S. XX, se ha construido en España una extensa infraestructura hidráulica, principalmente destinada al almacenamiento de aguas superficiales mediante el diseño y construcción de presas. Dicha infraestructura debe corregir las irregularidades, tanto espaciales como temporales debidas a clima y geografía, que presenta la disponibilidad de los recursos hídricos españoles. Este complejo logro ingenieril es la realización del Paradigma Hidráulico, que constituye un elemento fundamental en la historia de España (López-Gunn, 1996; Swyngendouw, 1999; del Moral, 1999; del Moral y Giansante, 2000). El paradigma hidráulico tradicional presenta aspectos técnicos, económicos, socio-políticos y culturales. La sequía llegó a ser percibida como el déficit estructural entre la demanda de agua y su capacidad de regulación. "Esta conceptualización de la sequía condujo primeramente a una respuesta estructural, mientras se ignoraba la necesidad de una estimación del riesgo de sequía y de reglas para la gestión de crisis. El paradigma hidráulico tradicional puede, paradójicamente, ser considerado como una de las mayores restricciones al desarrollo de planes de contingencia y gestión de sequías" (del Moral y Giansante, 2000, pág. 93).

La gestión del agua en España se basa principalmente en el almacenamiento de la misma en embalses, que totalizan una capacidad de 39.145 hm³. La capacidad de su regulación se aproxima de forma determinista, mientras que la incertidumbre debida a la sequía no es evaluada de una manera real.

Esta extensa infraestructura no previno la ocurrencia de severas crisis de escasez de agua en España durante el periodo de sequía entre 1991 y 1995. Más de 11 millones de personas sufrieron restricciones en la cantidad de agua y problemas con su calidad, especialmente en ciudades situadas al este y sur del país. El sector agrícola sufrió, por su parte, unas pérdidas estimadas en 736.000 millones de pesetas (del Moral y Giansante, 2000).

Las crisis debidas a la sequía son consideradas como parte de la irregularidad climática general, que deben afrontarse mediante mayores desarrollos de la infraestructura hidráulica. El sistema de gestión del agua en España carece de estrategias detalladas preparadas para su puesta en práctica en años de sequía (Bruins, 1998, 2000a, 2000b; Wilhite, 2000). Además, la gestión del agua se basa en un aumento continuo de la oferta, caracterizada por altas subvenciones, y una atención mínima a la eficiencia de su utilización (del Moral y Giansante, 2000). Por ejemplo, las tarifas cubren en general sólo un 0,2% del valor de renovación de las obras financiadas públicamente (Vergés, 1999).

En conclusión, el paradigma hidráulico tradicional, que ciertamente tiene también elementos positivos, debería ser considerado sólo como una primera fase hacia un suministro y gestión fiable y sostenible del agua en toda España. Puedo añadir siete recomendaciones básicas para alcanzar tal fin:

1. Ajustes en el precio del agua para reflejar su valor económico real.
2. Uso sostenible de las aguas subterráneas como reserva para complementar el suministro cuando la cantidad de aguas superficiales disminuye debido a la sequía.
3. Depuración de los efluentes urbanos para proteger la calidad de las aguas subterráneas y marinas.
4. Utilización de aguas depuradas como nueva fuente de agua de riego para la agricultura.
5. Desalación del agua de mar para suministros urbanos e industriales en regiones con una severa escasez de agua.
6. Desarrollo de planes de emergencia preventivos ante sequías para cada región, incluyendo planes más detallados para los distintos usuarios y actividades económicas, y basados en definiciones precisas de sequía que incluyan distintos niveles de severidad y frecuencia.
7. Activación de dichos planes durante periodos de sequía con el fin de mitigar sus efectos y regular las asignaciones y usos del agua entre los sec-

tores agrícola, urbano e industrial durante los periodos en que la escasez presente una severidad mayor.

RECICLAJE DE LOS EFLUENTES Y DESALACIÓN

El incremento de la escasez de agua y la sobreexplotación de las reservas hídricas convencionales, requieren la exploración de nuevas fuentes alternativas de agua, que incluyen las aguas residuales, salobres y marinas. A medida que las poblaciones urbanas continúan aumentando en todo el mundo, se incrementa también la cantidad de aguas residuales que aquéllas generan. El reciclaje o depuración de los efluentes urbanos se realiza generalmente mediante lagunas de oxidación para depurar y eliminar los residuos biológicos, y el agua tratada se utiliza después en la agricultura. Sin embargo, las sales y otros compuestos químicos no son eliminados por este método. Existe una preocupación creciente por la posibilidad de que la utilización de este agua sólo parcialmente depurada pueda producir la salinización y contaminación de los suelos agrícolas. Por ello se necesitan mejores métodos sostenibles de depuración y reciclaje, tales como los que utilizan membranas o las técnicas similares a la desalación por ósmosis inversa.

La depuración de las aguas residuales, así como la desalación de agua de mar son procesos similares hasta cierto punto. Sin embargo, la necesidad de depurar las primeras constituye algo más que la mera exploración de una nueva fuente alternativa de agua, ya que se trata de algo necesario para proteger el medio ambiente en general, incluyendo el mar, y las aguas subterráneas en particular. La desalación, por otro lado, se realiza esencialmente con el único fin de obtener cantidades adicionales de agua a partir de las propias aguas salobres o marinas.

En 1993 existían unas 7.500 plantas de desalación operativas en todo el mundo. Alrededor del 60% de las que actualmente existen se encuentran localizadas en el Oriente Medio. Este desarrollo es la consecuencia de la severa escasez de agua que se da en muchas partes de dicho área, en combinación con la relativa abundancia en la zona de petróleo y combustibles fósiles. La mayor planta de desalación que existe está situada en Arabia Saudí y produce un total de 484 millones de litros diarios. Sólo un 12% del agua desalada se produce en América, principalmente en la zona del Caribe y Florida (California Coastal Commission, 1993).

El impacto que tuvo la sequía de seis años de

duración sufrida en California durante la década de los ochenta, combinado con el continuo aumento de la contaminación, alertó a la opinión pública de aquel estado sobre la escasez de agua (Roos, 1998). Estas preocupaciones condujeron a diversas comunidades e industrias a proponer la construcción de plantas desaladoras para la obtención de agua a partir de tres fuentes de agua salina:

1. El agua de mar.
2. Las aguas subterráneas salobres.
3. Los efluentes urbanos tratados.

Los siguientes municipios en el sur de California han invertido en plantas desaladoras para aumentar las cantidades de agua de que disponen: San Diego, Irvine, Los Ángeles y Santa Bárbara. Los entes municipales y las compañías privadas en California consideran dos tecnologías de desalación distintas para el tratamiento del agua de mar (California Coastal Commission, 1993):

1. Ósmosis inversa (OI).
2. Destilación.

El método más comúnmente utilizado en la desalación ha sido el uso de calor para separar, mediante evaporación y condensación, el agua de las sales. Este proceso de destilación requiere grandes cantidades de energía, pero la tecnología de que precisa es relativamente simple y fiable. Además, los métodos térmicos son especialmente adecuados para las aguas con altas salinidades tales como el agua de mar (Générale des Eaux, 1999). Los métodos térmicos más comunes incluyen (California Coastal Commission, 1993):

1. Evaporación Súbita en Múltiples Etapas (ESME). Con este tratamiento se calienta el agua salina al tiempo que se disminuye la presión, lo que causa su evaporación casi instantánea. Este proceso se repite una serie de veces, teniendo lugar cada vez a una presión menor.
2. Destilación en Múltiples Efectos (DME). En este método el agua salina pasa a través de un número determinado de evaporadores dispuestos en series. El vapor que se obtiene de una serie es después utilizado para evaporar el agua salina de la siguiente serie.
3. Compresión de Vapor (CV). Este proceso implica la evaporación del agua salina, seguida de una compresión del vapor obtenido. El calor generado por el vapor así comprimido se utiliza para evaporar nuevas cantidades de agua salina.

Las grandes empresas, tales como Générale des Eaux (1999) y USFilter (1999), prevén que futuras innovaciones en las técnicas de desalación permitan doblar el tamaño del mercado global actual hasta los 70.000 millones de dólares durante las dos primeras décadas del S. XXI. Los nuevos proyectos de desalación, valorados ya en 10.000 millones de dólares, estarán preparados para entrar en funcionamiento durante los próximos cinco años, produciendo 5,3 hm³ diarios de agua.

Los altos costes asociados a las tecnologías de desalación constituyeron en principio una barrera para su desarrollo, pero los costes han ido bajando con el tiempo y el desarrollo de la destilación térmica, así como de la combinación de dicha tecnología con la filtración a través de membranas. Los últimos sistemas combinados que se han desarrollado incluyen (Desalination online, 1999):

- Sistemas de Desalación Híbridos. Estos sistemas combinan la ósmosis inversa con un proceso térmico en el que el agua de mar, usada como refrigerante se calienta como resultado del mismo. Este agua, una vez calentada, se utiliza para alimentar la planta de ósmosis inversa, lo que redundará en una disminución del consumo de energía.

- Sistemas de Membrana Integrada. Estos sistemas utilizan una microfiltración o ultrafiltración como pretratamiento (que reemplaza a los pretratamientos convencionales) para la ósmosis inversa.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES PARA UNA POLÍTICA DE GESTIÓN

El uso no sostenible de los recursos hídricos convencionales es un proceso peligroso aunque presente en muchas partes del mundo. Mas de 1000 millones de personas se verán afectadas por la creciente escasez de agua en el futuro, al tiempo que disminuirá la garantía de producción de alimentos. Los recursos hídricos están siendo agotados en algunas regiones debido a una explotación agrícola insostenible. Por ello, las futuras cosechas en estas regiones probablemente tendrán unos rendimientos menores que los actuales. Esto probablemente conducirá a hambrunas regionales a gran escala durante el S. XXI, en un mundo con sólo una pequeña cantidad de reservas de alimento; y ello, unido a las periódicas sequías, a la aparición de conflictos generalizados. Por lo tanto, resulta de gran importancia para los sectores público y privado imponer un cambio en sus políticas de actuación para pasar de una sobreexplotación de los recursos hídricos con-

vencionales a una gestión sostenible de los mismos, acompañada del desarrollo de la depuración y desalación. A continuación se incluyen una serie de directrices que pueden recomendarse en este contexto, similares a las hechas antes para el caso de España pero ahora en términos más amplios:

- Tanto la gestión sostenible del agua como la eficiencia en su utilización requieren una tarificación adecuada de la misma que refleje el valor económico real de los diferentes tipos de agua.

- La gestión sostenible de los recursos hídricos convencionales debe suponer un desafío para encontrar la combinación adecuada en el uso de aguas superficiales y subterráneas, de modo que una de esas fuentes puede ser utilizada como amortiguador del uso de la otra cuando éste se viese afectado por un periodo de sequía.

- El reciclaje y depuración sostenibles de los efluentes urbanos e industriales resulta esencial para proteger la calidad de las aguas subterráneas y marinas.

- El reciclaje de las aguas residuales debe ser una nueva fuente de agua para el riego agrícola. Sin embargo, su uso sostenible exige unos niveles suficientes de desalación para eliminar sales y compuestos químicos aún presentes tras un primer tratamiento de las aguas residuales, con el fin de preservar la calidad del suelo y las tierras regadas.

- La desalación de aguas salobres y marinas para el suministro urbano e industrial es esencial en regiones que deben afrontar una escasez de recursos hídricos. Así, la desalación de estas fuentes de agua alternativas constituye una estrategia excelente para mitigar el impacto de las sequías periódicas sin tener que recurrir a las fuentes convencionales.

- Es preciso desarrollar planes de contingencia ante sequías a escala local, provincial y nacional, de modo que puedan afrontarse las mismas reduciendo al mínimo sus efectos sobre la economía y la sociedad. Estos planes deberán regular las asignaciones y usos del agua con detalle, entre sus distintos demandantes, en función de la severidad de la sequía.

- Es necesario contar con definiciones detalladas de sequía para ser eficientemente utilizadas en la planificación y la legislación, ya que de ello dependerá fundamentalmente la activación con éxito de dichos planes de contingencia por parte de las autoridades.

REFERENCIAS

- Bruins, H.J. (1998) Gestión de sequías de suministro de agua en Israel. In E. Cabrera y J. García-Serra (eds.) *Gestión de Sequías en Abastecimientos Urbanos*. Universidad Politécnica de Valencia, Grupo Mecánica de Fluidos, Valencia, págs. 353-380.
- Bruins, H.J. (2000a) Drought hazards in Israel and Jordan: policy recommendations for disaster mitigation, en D.A. Wilhite (Ed.) *Drought: A Global Assessment*, Volumen II, Routledge, London, Hazards and Disasters Series, Capítulo 42, págs. 178-193.
- Bruins, H.J. (2000b) Proactive Contingency Planning vis-à-vis Declining Water Security in the 21st Century. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, Volumen 8, Número 2, June, págs. 63-72.
- Bulloch, J. y Darwish, A. (1993) *Water Wars - Coming Conflicts in the Middle East*. Victor Gollancz, London.
- Cabrera, E., Espert, V. y López, P.A. (1998) El suministro de agua potable en épocas de sequía: El caso de España. En E. Cabrera y J. García-Serra (eds.) *Gestión de Sequías en Abastecimientos Urbanos*. Universidad Politécnica de Valencia, Grupo Mecánica de Fluidos, Valencia.
- California Coastal Commission (1993) *Seawater Desalination in California*.
<http://ceres.ca.gov/coastalcomm/desalrpt/dtitle.html>
- Desalination online (1999) <http://www2.hawaii.edu/~nabil/>
- El-Bihbety, H. y Lithwick, H. (1998) 'Cost-Benefit Analysis of Water Management Mega-Projects in India and China', en Bruins, H.J. and Lithwick, H. (Eds.), *The Arid Frontier: Interactive Management of Environment and Development*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Capítulo 1, págs. 295-317.
- Générale des Eaux (1999) *Desalination systems*.
<http://www.eau.generale-des-eaux.com>
- Goudie, A. (1993) *The Human Impact on the Natural Environment* 4th edition, Blackwell, Oxford.
- López-Gunn, E. (1996), 'Spanish water supply and demand management: the case of water transfers', en Howsam, P & Carter, R.C. (Eds.) *Water Policy: Allocation and management in practice*, E & FN Spon, págs. 78-86.
- Micklin, P.P. (1996) Man and the water cycle: challenges for the 21st century. *GeoJournal*. Volumen 39, Número 3, págs. 285-298
- Moral, L. del, (1999), 'Social and political conflict in the re-definition of the water management model in Spain', en *Conference on Sustainability, Risk and Nature: the Political Ecology of Water in Advanced Societies*, University of Oxford, School of Geography, Oxford, págs. 82-93.
- Moral, L. del, y Saurí, D. (1999), 'Changing Course. Water Policy in Spain', *Environment*, Volumen 41, Número 6, July-August, págs. 12-36.
- Moral, L. del, y C. Giansante (2000) *Journal of Contingencies and Crisis Management*, Volumen 8, Número 2, June, págs. 93-102.
- Postel, S. (1993) Facing Water Scarcity, in *State of the World 1993*, Worldwatch Institute Report, W.W. Norton, New York, págs. 22-41.
- Postel, S. (1997) *Last Oasis: Facing Water Scarcity* (2nd edition), *Worldwatch Institute*, Washington, D.C.
- Postel, S. (1998) Dividing the Waters: Food Security, Ecosystem Health, and the New Politics of Scarcity, *Worldwatch Papers 132*, Washington, D.C.
- Powell, J.M. (1998) Interregional environmental policy in Australia's Murray-Darling Basin, en Bruins, H.J. y Lithwick, H. (Eds.), *The Arid Frontier: Interactive Management of Environment and Development*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Capítulo 3, págs. 55-73.
- Roos, M. (1998) 'Drought and Water Management in California', en Bruins, H.J. y Lithwick, H. (Eds.), *The Arid Frontier: Interactive Management of Environment and Development*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Capítulo 14, págs. 277-293.
- Seckler, D., Barker, R. y Amarasinghe, U. (1999) Water scarcity in the twenty-first century, *International Journal of Water Resources Development*, Volumen 15. Número 1-2, March, págs. 29-42.
- Shanan, L. (1998) 'Irrigation Development and Environmental Control: Proactive Planning and Interactive Management', en Bruins, H.J. y Lithwick, H. (Eds.), *The Arid Frontier: Interactive Management of Environment and Development*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Capítulo 13, págs. 251-276.
- Swyngedouw, E. (1999), 'Modernity and Hybridity: Regenerationism, the Production of nature and the Spanish Waterscape, 1890-1930', *Annals of the Association of American Geographers*, Volumen 89, Número 3, págs. 443-465.
- USFilter (1999) *Desalination systems*.
<http://www.usfilter.com>
- Vergés, J. (1999), 'Full Cost Pricing of Water in Spain'. *Hydropôle 99, La Politique Européenne de l'Eau*, 17 June 1999, Marseille (France).
- Wellens, J. y A.C. Millington (1992) Desertification, en A.M. Mannion y S.R. Rowlby (Eds.) *Environmental Issues in the 1990s*, John Wiley, Chichester, págs. 245-261.
- Wilhite, D.A. (2000) Preparing for drought: a methodology, en D.A. Wilhite (Ed.) *Drought: A Global Assessment*, Volumen II, Routledge, London, Hazards and Disasters Series, Capítulo 42, págs. 89-104.