

Manejo del Agua en Períodos de Sequía

Hendrik J. Bruins

*Seminario Internacional Agua de Riego: Aspectos para debate
Córdoba, España, 25-27 de Noviembre de 2002*

INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno pasivo y no se considera una catástrofe natural propiamente dicha, pero su impacto puede ser muy severo. La disminución resultante en las reservas de agua causa conflictos de intereses entre los usuarios. Los agricultores piensan en su medio de vida y en la futura viabilidad de sus negocios. Los alcaldes de las ciudades, por otro lado, están preocupados porque puede que no haya agua suficiente disponible para la población. La gente en las zonas urbanas odian ver que los grifos de sus casas se queden sin agua. Los ambientalistas se preocupan por las condiciones de los cauces naturales y de los lagos.

La agricultura de regadío produce alrededor del 40 % de todos los alimentos en el mundo, pero consume en ese proceso aproximadamente el 70 % de los recursos de agua dulce (Postel, 1997). Así pues, hay un vínculo entre la garantía de agua y de alimentos (Bruins, 2000a, 2000b). El consumo actual de agua en la agricultura no es sostenible en muchos casos. Millones de toneladas de grano se producen anualmente por medio de la sobreexplotación de acuíferos, particularmente en zonas secas. Los niveles de los acuíferos caen a una velocidad alarmante en algunas partes de la India, Pakistán, China, México, Oriente Medio y África del Norte. Algunos de esos países están muy poblados. En el siglo XXI puede darse una escasez de agua acompañada de una falta de alimentos como resultado predecible del desarrollo actual. Esto puede conducir a una hambruna en ciertas regiones, incluso a gran escala.

La sequía ha de ser tenida en cuenta muy gravemente. Es un desastre natural que puede azotar cualquier región climática, pero ocurre más frecuentemente en zonas secas, incluyendo España (Cabrera et al., 1999) y otros países Mediterráneos como Israel (Bruins, 1993, 1998, 1999, 2002b). La sequía avanza gradualmente como un efecto acumulativo de precipitaciones por debajo de la media en un área determinada durante un cierto período de tiempo. A pesar de su naturaleza no catastrófica, el impacto causado por la sequía puede ser desastroso. Afecta más a la gente que cualquier otro desastre natural (Wilhite, 2000). La sequía tiene a la vez dimensiones espaciales y temporales pero los límites pueden estar poco definidos. No es siempre fácil determinar el comienzo y el término de una sequía. A pesar de eso, la sequía debe ser claramente definida (Wilhite and Glantz, 1985), de otro modo, su manejo mediante planes gubernamentales no es posible. La caracterización de la sequía debería ser específica para cada región teniendo en cuenta su impacto y manejo.

La formación de reservas de agua es el elemento activo más importante para el manejo del agua en períodos de sequía. Estos son los tres caminos principales para almacenar agua en relación con el riego: (1) almacenamientos superficiales, (2) almacenamientos subterráneos y (3) cosecha de agua de lluvia. Otras fuentes de agua de riego adicionales pero no convencionales incluyen (4) el reciclaje de las aguas urbanas residuales y (5) la desalación de agua subterránea salinizada o del agua del mar. La viabilidad de las últimas opciones en el sector agrícola depende de los costes y beneficios. Pero el tratamiento de las aguas residuales urbanas es una necesidad si se quiere preservar la calidad de las aguas subterráneas, de las aguas fluviales y de las aguas marinas.

Ben-Gurion University of the Negev, Jacob Blaustein Institute for Desert Research.
Department Man in the Desert
Sede Boker Campus 84990, Israel
Tel: 972-8-659-6863 Fax: 972-8-659-6867
E-mail: hjbruins@bgumail.bgu.ac.il

Tabla 1. Recursos y usos de agua en países Mediterráneos.

País	Recursos hídricos renovables (109 m ³)	Uso de agua (109 m ³)	Recursos hídricos internos renovables (109 m ³)	Volumen fluvial importado de otros países (109 m ³)	Volumen fluvial exportado a otros países (109 m ³)	Recursos hídricos por cabeza (m ³)	Uso de agua por cabeza (m ³)
España	94.3	45.9	110.3	1.0	17.0	2840	1188
Francia	164.5	43.7	170.0	15.0	20.5	3300	778
Italia	187.0	56.2	179.4	7.6	0.0	3280	996
Grecia	55.7	7.0	45.2	13.5	3.0	5840	721
Turquía	124.1	23.8	186.1	7.0	69.0	3460	433
Israel	2.2	1.9	1.7	0.5	0.0	470	410
Egipto	58.1	56.4	2.6	55.5	0.0	1110	1028

Tabla 2. Tierras de secano y regadío en los países Mediterráneos. Fuente: Gleick, 1993; Correia, 1999.

País	Tierras de cultivo totales (10 ³ hect.)	Tierras de secano (10 ³ hect.)	Tierras de regadío (10 ³ hect.)	Porcentaje de tierras de secano	Porcentaje de tierras de regadío
España	20345	16985	3360	84	17
Francia	19119	17959	1160	94	6
Italia	12033	8993	3100	74	26
Grecia	3924	2734	1190	70	30
Turquía	27885	25665	2220	92	8
Israel	433	219	214	51	49
Egipto	2585	0	2585	0	100

Uso del agua y de las tierras de cultivo en los países Mediterráneos

España es el mayor consumidor de agua por cabeza en Europa y en toda la región Mediterránea (Tabla 1). Aún así, el uso de agua en California, que también tiene un clima Mediterráneo, es mayor que en España. Este Estado consume unos 48 mil millones de metros cúbicos de agua por año (Roos, 1998), teniendo menos población que España. Los países europeos de clima templado pueden confiar más en una agricultura sólo abastecida por la lluvia o de secano y las necesidades de riego son mucho menores. La agricultura de regadío es la principal causa del mayor consumo de agua por cabeza en los países Mediterráneos debido a una menor aportación de lluvia en verano y a una mayor evapotranspiración anual comparado con el centro y noroeste de Europa.

España tiene la menor cantidad de agua por cabeza del norte de la cuenca Mediterránea. Además, los ríos originados en España aportan una cantidad media anual de 17 mil millones de m³ de agua a su vecina Portugal lo que supone el 16 % de los recursos hídricos internos anuales renovables (Tabla 1). De entre los países Mediterráneos, Turquía es la que exporta anualmente mayor cantidad de

agua a otras naciones, 69 mil millones de m³, lo que corresponde a alrededor del 37 % de sus recursos hídricos internos (Tabla 1). Turquía ha construido grandes presas en los últimos años enmarcados en el Proyecto Anatolia Sur-oriental con la finalidad de almacenar extraordinarias cantidades de agua superficial (Bruins, 2002a).

Israel cuenta, con mucho, con la menor cantidad de recursos hídricos por cabeza de los países mencionados en la Tabla 1. El uso de agua por cabeza es también menor en Israel aún cuando el porcentaje de tierras en regadío es mayor que en España, 49 y 17 % respectivamente (Tabla 2). Esto implica claramente que la aplicación de agua en la agricultura de regadío es más eficiente en Israel que en España. El riego por goteo se inventó en Israel y este país ha llegado a tener un gran prestigio gracias a sus sistemas de riego (Netafim, 2002). Aunque el manejo del agua de riego a escala de usuario está entre uno de los mejores del mundo, el realizado en el ámbito nacional es desafortunado pues Israel bombeó demasiada cantidad de su agua renovable anual. El país está soportando en la actualidad una crisis de agua ya que tanto sus aguas subterráneas como las superficiales del lago Kinneret están bajo mínimos (Bruins, 1993, 1998, 1999, 2002b).

En la Tabla 2 se puede apreciar que Italia y Grecia tienen un mayor porcentaje de tierras en regadío que España pero menos que Israel y Egipto. El mayor porcentaje de tierras de secano en la Tabla 2 corresponde a Francia, siendo del 94 %, lo cual está íntimamente unido al clima templado húmedo de la mayoría del país. El clima extremadamente árido de la mayor parte de Egipto hace que la agricultura de secano sea imposible. Por ello, Egipto tiene desde tiempo inmemorial el mayor porcentaje de tierras en regadío, esto es, el 100 %. Recibe prácticamente toda su agua de fuentes externas por medio del río Nilo. A pesar de su clima extremadamente árido, Egipto tiene el segundo mayor uso de agua por cabeza de entre los países Mediterráneos.

Almacenamiento de agua superficial

España tiene la infraestructura hidráulica más extensa en Europa. El almacenamiento de agua superficial por medio de la construcción de presas se ha convertido en la primera estrategia en España para crear reservas de agua como un colchón para su uso en el período de sequía estival, en años secos y para transvasar agua desde regiones más húmedas a otras más secas. De este modo, la superficie agrícola se expande y la producción se intensifica. Estas estrategias son también importantes en California.

De todas formas, España y California no llegan a ser inmunes a la sequía a pesar del gran incremento en almacenamientos de agua superficial. Los largos períodos de sequía en los 90 provocaron severas crisis de agua en España. El abastecimiento de agua urbana fue restringido en el período de 1991 a 1995, afectando a más de 11 millones de personas. Las ciudades del este y sur de España estuvieron particularmente afectadas debido a los cortes de suministro y a los problemas en la calidad del agua (Cabrera, 1997; Cabrera et al., 1999; del Moral Ituarte y Giansante, 2000).

Las pérdidas económicas en el sector de la agricultura debidas a la sequía se estimaron en 4363 millones de euros, unos 4.700 millones de US\$ (Consejo Económico y Social, 1996:22). Existía una amenaza real de que las escasas reservas de agua se terminarían en el verano de 1996, pero un invierno lluvioso mejoró esa situación desesperada

(Cabrera et al., 1999). Aun así, los extensos almacenamientos de aguas superficiales no hicieron que España fuera inmune al impacto de la sequía.

Lo mismo puede decirse de California, donde se construyeron 155 grandes reservas de agua superficial con una capacidad de almacenamiento total de 52 mil millones de metros cúbicos. Los sectores agrícolas y urbanos normalmente consumen aproximadamente 42 mil millones de metros cúbicos de agua por año en California, mientras que se necesitan otros 6 mil millones de metros cúbicos para que se cumplan los niveles de calidad del agua a la salida del delta de Sacramento-San Joaquín (Roos, 1998). La cantidad de agua superficial es sólo ligeramente superior a la media anual de agua demandada en ese Estado.

La sequía que tuvo lugar entre 1987 y 1992 puso en evidencia los límites de la capacidad de respuesta del almacenamiento. La escasez se empezó a notar a partir del cuarto año de sequía, 1990, y particularmente en el quinto, 1991, cuando se agotó la mayor parte de la reserva de agua superficial útil. Sin embargo, las lluvias extraordinariamente copiosas de Marzo de 1991 “convirtieron una situación desesperada en una manejable” (Roos, 1998:290).

Almacenamiento de aguas subterráneas.

Los planes para mitigar la sequía requieren flexibilidad en los sistemas de almacenamiento de agua. La combinación apropiada de almacenamiento de agua superficial con almacenamiento de agua subterránea añadirá seguridad al abastecimiento de agua en caso de una sequía prolongada. En España queda aún mucho por hacer en cuanto a investigación sobre aguas subterráneas y a su aplicación para abastecer a los sectores agrícola y urbano, así como para su apropiada integración con el almacenamiento de aguas superficiales. Sin embargo, la sobreexplotación de las aguas subterráneas en Israel y en otros países pone de manifiesto que será difícil de mantener una reserva suficiente de agua subterránea para su uso en tiempos de sequía si no se lleva a cabo una política de aguas eficiente a escala nacional.

Tabla 3. Cantidades almacenadas en las 155 grandes embalses superficiales en California el 1 de Octubre, al principio de la campaña.

Agua superficial	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
m ³ x 10 ⁶	33.00	23.34	18.29	20.62	16.74	17.00	15.63
% de la media histórica	119	84	66	74	60	61	56

Nota: No se trata de años naturales sino de lluvia anual recogida de Octubre a Septiembre. Por ejemplo, el año 1987 va desde el 1 de Octubre del 86 hasta el 30 de Septiembre del 87. Fuente: Roos, 1998.

Tabla 4. Uso medio anual de agua según el tipo de fuente en España e Israel

Fuente	España (106 m ³ /año)	España %	Israel (106 m ³ /año)	Israel %
Aguas subterráneas	5532	12,3	1000	50
Aguas de reciclaje*	230	0.5	250	12
Desalación	94	0.2	5	0.002
Reservas	39175	87	750	37
TOTAL	45034	100	2005	99

*Sólo aguas recicladas directamente. La reutilización de caudales de retorno no se contempla.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 1998:205, citado por Vergés, 1999; Schwarz, 1990; Bruins, 1998, Water Commission, 1998. (Las reservas en Israel incluyen el lago Kinneret, las aguas superficiales del río Jordan y unos 160 millones de m³/año de presas en corrientes efímeras).

Varios países han optado por soluciones rápidas para suministro de agua a corto plazo por medio de las aguas subterráneas durante las últimas dos o tres décadas del siglo XX. En las zonas secas del norte de China, el nivel de las aguas subterráneas está cayendo aproximadamente un metro cada año en las grandes áreas agrícolas de regadío. En la mayor parte de la región de Punjab en India, que es la principal suministradora de alimentos de la nación, los niveles de las aguas subterráneas están bajando 20 cm cada año (Postel, 1997). La extracción de agua de los acuíferos subterráneos en India excede en más del doble la recarga natural por lluvia. Los lagos y ríos se secan a medida que continúan disminuyendo los niveles de las aguas subterráneas, mientras el suministro de agua al sector urbano se ve afectado negativamente. Eventualmente, a medida que los pozos producen cada vez menos agua, los costes de explotación han aumentado de tal forma que el sistema entero puede derrumbarse. La India podría perder más de 25% de su producción total de alimentos como resultado de continuar con las prácticas actuales (Seckler, Barker y Amarasinghe, 1999). Un colapso del sistema de esa magnitud podría tener repercusiones en la seguridad de los recursos de agua y alimenticios. El hambre a gran escala que se desarrollaría en el siglo XXI podría conllevar una gran inestabilidad política (Bruins, 2000a, 2000b).

Israel tiene un clima más seco que España. El potencial de almacenamiento de agua superficial en Israel es, por consiguiente, considerablemente más pequeño. Las aguas subterráneas han sido la principal vía de aprovisionamiento de agua en Israel, aunque el agua del Lago Kinneret también tiene un papel importante. El agua del lago se bombea al sur del país a través del Sistema Nacional de Conducción de Aguas (Schwartz, 1990; Bruins, 1998, 1999).

El desarrollo único en Israel de un sistema de suministro de agua centralizado controlado por el gobierno no previno la sobreexplotación de los recursos

de agua (Bruins, 2002b). La superficie regada aumentó de 17.000 ha en 1948 a aproximadamente 205.700 ha en 1990. Se extrajo demasiada agua de los recursos subterráneos durante los años setenta y ochenta, particularmente para su uso en el sector agrícola. Hay razones políticas para esta tendencia ya que el Ministro de Agricultura es el que por ley tomaba las decisiones relativas a asuntos de aguas. Las reservas de agua en los acuíferos se agotaron gradualmente ya que la extracción era mayor que la recarga natural y artificial. El declive en los niveles de agua en los dos principales acuíferos se vio acompañado de un deterioro en la calidad del agua.

Cosecha de agua de lluvia

La superficie de agricultura de secano es muy importante en muchos países mediterráneos (Tabla 2). Aproximadamente el 84 % de todas las tierras de cultivo en España son de secano. Además del uso de aguas superficiales y subterráneas para aumentar el suministro de agua en años de sequía, hay técnicas que pueden usarse a menudo a escala de finca para captar el agua de lluvia local, es decir, la cosecha de agua de lluvia. Ese agua puede almacenarse directamente en el perfil del suelo, particularmente si los suelos son suficientemente profundos y con una textura arcillosa, o en cisternas o depósitos. Los árboles frutales pueden formar un sistema radicular profundo para utilizar este agua almacenada en el subsuelo en tiempos de sequía. Pero también otros cultivos se pueden beneficiar enormemente de la incorporación, además de la lluvia directa, de agua de escorrentía al suelo.

En el sudeste de España, la cosecha de agua de lluvia se ha usado tradicionalmente en áreas con poca lluvia, caracterizadas por una precipitación anual entre 200 y 300 mm. Tres sistemas principales pueden distinguirse (Giráldez et al., 1988): (1) cañada, (2) boquera, (3) acequia de cañón. Aunque muchas de esas fincas han sido abandonadas debido a los cambios socio-económicos, el principio de cosecha

de agua de lluvia todavía es válido y puede usarse como una aproximación moderna para el manejo de la sequía basado en el aumento del suministro de agua a partir de múltiples recursos hídricos.

En el desierto de Negev en Israel, la cosecha de agua de lluvia se desarrolló hace ya 3000 años en un área con una media anual de precipitaciones de sólo 100 mm. Todos los sistemas de recolección de agua se caracterizan por un área de producción de escorrentía y otro área que recibe dicha escorrentía con suelos aceptables para la agricultura. Estudios recientes han aportado un considerable conocimiento sobre la recolección de agua de lluvia en el Negev (Evenari et al., 1971). Es posible distinguir cinco sistemas diferentes (Bruins et al., 1986): (1) sistema de micro-cuencas, (2) sistema de terrazas de cauce seco (wadi), (3) sistema de canalización de ladera, (4) sistema Liman, (5) sistema de derivación.

Las micro-cuencas son aquellas que tienen una trayectoria del flujo de escorrentía de menos de 100 m desde la cuenca productora de escorrentía hasta el área de recepción de dicha escorrentía (Bowers y Ben-Asher, 1982). Son posibles distintos tipos de diseño de micro-cuencas, dependiendo de la geomorfología del paisaje. Tales sistemas se encuentran en paisajes bastante llanos con formas de cuadrados, rectángulos, semi-circulares o terrazas longitudinales siguiendo las curvas de nivel (Bruins et al., 1986). Una ventaja significativa de las micro-cuencas es la alta producción de escorrentía específica comparada con otras cuencas mayores (Shanan y Tadmor, 1976).

El sistema de terrazas de cauce seco consiste en un canal seco con suelos francos apropiadas para cultivar en el que se han construido una serie de diques de contención. El canal seco está a menudo dispuesto en terrazas de longitud considerable, mientras las pendientes producen el agua de escorrentía durante los sucesos de lluvia. Cada terraza se llenará del agua de escorrentía hasta la altura del vertedero en el dique de contención. Como consecuencia, el agua se infiltra y se almacena en el perfil del suelo usado por las raíces de la planta. Se pueden usar cauces pequeños y medianos con este método, porque los que son demasiado grandes sufren inundaciones importantes que normalmente arrastran grava y erosionan los profundos suelos francos.

El sistema de canalización de ladera tiene su origen en el Negev donde las laderas son bastante largas en tanto que las rocas y las características del suelo de las pendientes hacen que se infiltre una

gran cantidad de agua de escorrentía. Este agua no llega al valle en el que están las terrazas de cultivo. La construcción de canalizaciones en las laderas de las colinas, dispuestas próximas unas a otras, posibilita la recolección de más agua de escorrentía de dichas laderas y la dirige hacia los campos en el valle. La explicación hidrológica para este sistema se basa en que la escorrentía normalmente se produce a una baja velocidad mientras que con las canalizaciones el flujo es mucho más rápido. Las canalizaciones en las laderas recolectan la escorrentía y la convierten en un caudal canalizado, de este modo, llega más agua a los campos (Bruins et al., 1986).

El sistema Liman ha sido desarrollado recientemente en el Negev y normalmente se diseña en valles anchos con suelos de textura franca y profundos. Se construye un dique de tierra, de aproximadamente un metro de alto, alrededor de una superficie llana de tierra a la que un pequeño cauce seco llevará el agua de escorrentía durante las precipitaciones. Un vertedero, normalmente de hormigón, forma parte del dique para regular el exceso de agua. El apelativo "Liman" viene de la palabra griega "limne" que significa lago. De hecho, un sistema Liman parece como un pequeño lago después de un período de lluvias con escorrentía. El agua se infiltra en el subsuelo después de unos días donde permanecerá almacenada durante mucho tiempo y podrá ser usada por las raíces de la planta.

El sistema de derivación se usa en áreas donde el cauce seco se corta justo por debajo del nivel de la llanura del valle adyacente. El canal de desviación se diseña con una pendiente menor que la existente en el cauce seco y en el valle. La toma del canal de derivación se toma por debajo del nivel del lecho del cauce. Desde este punto el canal de desviación desciende con una pendiente menor que la del cauce del arroyo y alcanzará la superficie del valle de forma gradual después de una cierta distancia, por simple trigonometría. A partir de este punto, se pueden diseñar los campos en el valle con terrazas y vertederos para usar los caudales de inundación derivados por medio del canal para fines de riego. Otra posible opción a escala de parcela usada en el norte de Israel es almacenar el agua del canal de derivación en canchales de superficie relativamente grandes. En Kfar Yehoshua, por ejemplo, hay tres balsas que pueden retener un millón de metros cúbicos de agua derivada. Este agua se usa en modernos sistemas de riego por aspersión y goteo. Incluso en años de sequía la cantidad de agua derivada puede ser significativa, permitiendo el riego mediante el agua almacenada localmente.

Reciclaje de aguas residuales urbanas

El desarrollo urbano lleva cada vez más a la producción de aguas residuales domésticas. El suministro de agua a las ciudades por medio de conducciones cerradas normalmente continúa incluso en los períodos de sequía. Por ello, las aguas residuales tienden a ser un recurso fiable incluso en años secos. Los gestores del agua deben considerar las aguas residuales como un recurso real que no debe ser desperdiciado.

La importancia del tratamiento y purificación de las aguas residuales urbanas puede explicarse por cuatro razones:

- Las aguas residuales urbanas necesitan ser almacenadas y purificadas por razones de salud pública.
- No se debe permitir que las aguas de alcantarillado urbano fluyan libremente a la superficie, contaminando arroyos, aguas superficiales, aguas subterráneas y el mar.
- Las aguas residuales urbanas tratadas pueden usarse con éxito en la agricultura.
- Las aguas residuales urbanas pueden considerarse como un recurso fiable para ser utilizado como agua de riego en épocas de sequía.

El reciclado de aguas residuales urbanas se lleva normalmente a cabo por medio de balsas de oxidación, para eliminar y purificar los desechos biológicos. El agua tratada se puede usar entonces en la agricultura. Sin embargo, las sales y otros productos químicos no son eliminados por este método. Existe la creciente preocupación de que el uso continuado de tales aguas purificadas parcialmente podría causar salinización y contaminación de suelos agrícolas. Es por ello que son requeridos a menudo métodos más completos para purificar y reciclar el agua de una manera sostenible, usando membranas y técnicas similares a la desalación por ósmosis inversa.

La necesidad de purificar las aguas residuales urbanas es más que la mera búsqueda de una fuente alternativa de agua para riego. Es una necesidad vital para el manejo ambiental.

Desalación de agua de mar para el sector urbano. Aporte indirecto de aguas residuales urbanas recicladas a la agricultura

El precio del agua de mar desalada es normalmente demasiado alto para su uso agrícola. El sector urbano en la mayoría los países desarrollados puede pagar fácilmente el precio del agua más caro. Por lo que se refiere al manejo de la sequía, sería una política excelente incentivar cada vez más el uso de agua de mar desalada para el sector urbano. Parece haber varias ventajas significativas:

- El agua del mar es un recurso ilimitado de agua también durante períodos intensos de sequía.
- El sector urbano no necesita sufrir restricciones de agua en años de sequía si el agua requerida puede proporcionarse por medio del agua de mar desalinizada.
- Los depósitos de agua superficial y subterránea pueden mantenerse con niveles más altos si la demanda del sector urbano se reduce como resultado de la desalación de agua de mar.
- Las grandes reservas de agua convencionales aumentarán la seguridad de suministro de agua para el sector agrícola en años de sequía, ya que habrá más agua disponible para riego.
- Finalmente, el agua de mar desalada usada por el sector urbano, podrá estar también disponible para el sector agrícola en forma de aguas residuales tratadas.

Manejo del agua en períodos de sequía: discusión y conclusiones

Sicilia y otras partes de Italia sufrieron problemas de agua durante el verano de 2002, lo cual se debió en parte a la sequía. Los agricultores sicilianos estaban muy enfadados y bloquearon los caminos, mientras los residentes de Palermo llevaron a cabo protestas después de que se quedaran sin agua en sus casas durante días (D'Emilio, 2002). Este caso pone de manifiesto la complejidad de las causas y efectos en el manejo del agua. Por un lado, la repetida sequía y la disminución de precipitaciones en Italia en los últimos 10 años se toman como las principales causas de los problemas de suministro de agua. Por otro lado, muchas de las tuberías de agua en Italia, que datan de los años veinte, están perdiendo agua y no se han actualizado. Se estima que aproximadamente 40% del agua conducida por sistemas de tuberías para los sectores urbano y agrícola, se pierden por fugas. Se culpa a la corrupción, mala administración e infiltración de la Mafia en los trabajos públicos (D'Emilio, 2002).

El caso anterior acentúa la gran importancia de un gobierno adecuado para que el manejo del agua sea acertado. Es más, el agua debe tener el precio correcto en relación a su valor. El mantenimiento de tuberías de alta calidad y la conservación de reservas de agua suficientes para los períodos de sequía se relaciona obviamente con el precio de agua. Sin embargo, uno tiene que ser realista y entender que hay realmente limitaciones en el manejo del agua en los períodos de sequía, particularmente en la agricultura de secano. Aproximadamente el 74% de la agricultura en Italia es de secano y el 84% en España. El impacto de la sequía en la agricultura de secano es difícil de evitar con un manejo sostenible del agua, ya que es imposible proporcionar el agua de riego a todas estas áreas agrícolas de secano. Simplemente, no es posible un almacenamiento de agua suficiente en las áreas semiáridas y sub-húmedas para proporcionar los riegos de apoyo en todas las tierras de secano. Es necesario tener una reserva de dinero y alimentos en estos casos para mitigar los efectos de la sequía.

La sequía en Texas durante la campaña del 2002 causó un severo daño en la agricultura, teniendo como resultado unas pérdidas económicas estimadas en 316 millones de \$. Las lluvias en el sur de Texas durante el período crítico desde marzo a mayo fueron solamente el 27 % de la precipitación media. Se vieron particularmente afectados los productores de trigo, que perdieron 110 millones de \$. Los daños económicos a otros cultivos incluyen el algodón (95 millones), maíz (20 millones), sorgo (60 millones) y pastizales (15 millones). La mayoría de estos cultivos son de secano, porque el agua de riego está limitada, ya que las reservas estaban a un nivel muy bajo. El poco agua disponible para riego se usó en cultivos de más alto valor económico como la caña de azúcar y los cítricos (Fannin, 2002).

Australia adoptó un Plan de Sequía Nacional en 1992 que se reafirmó en 1994 y fue revisado en 1997 (White y Karssies, 1999). Por un lado, el plan incentiva a los agricultores y a los ganaderos para que adopten sus propias medidas en el manejo de la sequía. Esto incluye por ejemplo, la recolección de agua de lluvia en sus campos. Por otro lado, aporta a los agricultores una especie de seguro en forma de apoyo económico en casos de condiciones de sequía severas y prolongadas. El Ministro de Agricultura, Pesca y Bosques de la Commonwealth tiene que declarar oficialmente que algunas áreas están experimentando circunstancias excepcionales de sequía (CES). En ese momento, los agricultores pueden recibir ayudas económicas.

Los criterios para aplicar las CES incluyen las condiciones meteorológicas, agronómicas, ganaderas y ambientales, el suministro de agua y la importancia del evento, así como el ingreso neto de la explotación. La atención en el marco de la Política de Sequía Nacional se está enfocando ahora en formar a los agricultores para lograr que aumenten su autoconfianza a través de un manejo mejorado más arriesgado. Los Sistemas Informáticos de Apoyo a la toma de Decisiones forman parte de las herramientas para ayudar a los agricultores (White y Karssies, 1999).

Los planes de manejo integrados, racionales y efectivos de la sequía con la ayuda de Sistemas de Apoyo de Decisión son también recomendados en Atenas, la capital de Grecia (Karavitis, 1999). El suministro de agua en Atenas se hace gracias a una serie de embalses situados a unos 190 km al oeste de la ciudad. Grecia se vio afectada por una severa sequía entre 1990 y 1993. La situación se tornó tan desesperada que en agosto de 1993 se anunció que las reservas de agua para Atenas sólo durarían hasta el 3 de octubre. "El mayor problema en el caso de Atenas no ha sido la falta de técnicas específicas para el manejo y planificación de la sequía, sino la falta de estrategias integrales a través de las cuales la toma de decisiones se hiciera de forma más efectiva y socialmente justa" (Karavitis, 1999:10). Para abordar racionalmente el manejo del agua en períodos de sequía, este autor defiende el desarrollo e incorporación de un sistema experto de manejo de la sequía que incluya Sistemas de Apoyo de Decisión basados en algoritmos informáticos y técnicas de simulación.

De hecho, es necesario el análisis del sistema para integrar todas las reservas de agua y todos los usuarios en un modelo que dé una apreciación global y útil con fines de manejo y planificación. La cooperación entre el sector urbano y agrícola en cuanto cómo compartir los recursos de agua limitados en los períodos de sequía es importante. Tales mecanismos deben funcionar de mutuo acuerdo y deben ponerse en común por adelantado mediante planes para la sequía (Bruins y Lithwick, 1998). Moral Ituarte y Giansante (2000) mencionan en un estudio acerca del área de Sevilla (España) que la reasignación de agua del sector agrícola al sector urbano durante los períodos de sequía es una opción posible. Estos autores consideran tal estrategia flexible, económicamente eficiente y ambientalmente acertada. En una investigación realizada por Sumpsi et al. (1998) se sugiere que los agricultores estarían de acuerdo en cambiar su estrategia productiva y liberar recursos de agua para su uso urbano con una compensación de 0.036 euro/m³.

A través de técnicas más eficaces son posibles ahorros de agua significativos en los sectores agrícolas, industriales y urbanos. Las necesidades de agua de riego a escala de explotación agraria podrían ser recortadas en un 10-50 %, las industrias podrían ahorrar un 40-90 % y las ciudades aproximadamente un 30 % sin afectar a la economía o a la calidad de vida (Postel, 1997). En Israel se desarrollaron técnicas de riego por goteo muy eficientes que permitieron a los agricultores ahorrar un 30% agua a la vez que aumentaban los rendimientos de la cosecha.

El "riego responsable" era el tema del primer congreso de la Asociación Europea de Riego (AER), celebrado en Sevilla en 1999. El ahorro de agua y energía en el riego fue uno de los puntos más importantes tratados en la conferencia. Incluso el riego por goteo subterráneo puede usarse cuando el agua es escasa. Esta técnica también es importante para aplicar las aguas residuales parcialmente tratadas (Netafim, 2002). La AER ha desarrollado un Código de Ética del Riego que sería útil en el manejo de agua de riego, también durante los períodos de sequía.

Para concluir, puede decirse que los ingredientes más importantes para el manejo de agua en los períodos de sequía abarcan la integración de una planificación previa con un manejo interactivo (Bruins y Lithwick, 1998). Dado que seguramente se producirá un período de sequía, se requiere una planificación previa para contar con las reservas de agua necesarias y diversificar el uso de los recursos hídricos: (1) almacenamiento de agua superficial, (2) almacenamiento subterráneo, (3) cosecha del agua de lluvia, (4) reciclaje y purificación de aguas residuales, (5) desalación de agua de mar. El manejo interactivo requiere mecanismos administrativos adecuados para mantener los sistemas de distribución de agua y dividir el agua disponible entre los diferentes usuarios de una manera inteligente y éticamente apropiada. A este respecto, los Sistemas de Apoyo de Decisión basados en las técnicas de simulación por ordenador pueden ser muy útiles.

Wilhite (2000) desarrolló una metodología para la planificación de la sequía a escala nacional. Los períodos de sequía severos pueden requerir mecanismos de emergencia de manejo de aguas que necesitan ser desarrollados también por adelantado dentro del contexto gubernamental apropiado (Bruins y Lithwick, 1998). Se necesita una entidad para coordinar la planificación y manejo de la sequía con claros poderes ejecutivos en términos so-

ciológicos y gubernamentales. Por otra parte, las competencias y luchas entre los Ministerios y usuarios pueden llevar a la paralización de las acciones (Bruins, 2002b). Por consiguiente, será necesario formar un cuerpo administrativo supremo para la planificación y manejo de la sequía incluido en la Oficina del Presidente, Primer Ministro, Gobernador o Alcalde.

Para terminar, existe la tendencia en el planteamiento económico moderno de exprimir al máximo la agricultura en general y la agricultura de regadío en particular. Es cierto que las necesidades urbanas de agua han crecido y las reservas de agua van a menudo muy justas. No obstante, cada gobierno debe ser consciente de que la agricultura no es sólo otro sector comercial industrial. La agricultura produce alimentos y los alimentos tienen un valor intrínseco que va más allá de su aportación económica al producto nacional bruto de un país. Los alimentos y el agua son esenciales. Las reservas mundiales de alimentos son muy reducidas y los alimentos no pueden ser puestos a la venta en el mercado mundial en cantidades suficientes en tiempos de una crisis grave. Por consiguiente, la agricultura local también juega un papel importante en la política para asegurar los alimentos dejando aparte las consideraciones agrícolas y financieras. También puede ayudar a conservar los paisajes agrícolas deseables. Pero los efectos negativos contaminantes de la agricultura de regadío deben ser contenidos mediante un manejo ambiental sostenible a largo plazo para mejorar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

BIBLIOGRAFÍA

- Boers, Th.M. y Ben-Asher, J. (1982) A review of rainwater harvesting. *Agricultural Water Management* 5:145-158.
- Bruins, H.J. (1993) Drought risk and water management in Israel: Planning for the future. En Wilhite, D.A. (Ed.) *Drought Assessment, Management and Planning: Theory and Case Studies*. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 133-155.
- Bruins, H.J. (1998) Gestión de sequías de suministro de agua en Israel. En Cabrera, E. y García-Serra, J. (Eds.) *Gestión de Sequías en Abastecimientos Urbanos*. Universidad Politécnica de Valencia, Grupo Mecánica de Fluidos, Valencia, pp. 353-380.
- Bruins, H.J. (1999) Drought Management and Water Supply Systems in Israel. En Cabrera, E. y García-Serra, J. (Eds.) *Drought Management Planning in Water Supply Systems*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 299-321.

- Bruins, H.J. (2000a) Proactive contingency planning vis-à-vis declining water security in the 21st century. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 8:63-72.
- Bruins, H.J. (2000b) Mitigando futuras crisis de agua y alimentos: Reciclaje, desalinización y planes de contingencia. *Ingeniería del Agua* 7(4):367-374.
- Bruins, H.J. (2000c) La eficiencia en la gestión del agua en Israel y la ciudad de Beersheba. En A. Estevan y V. Viñuales (eds.) *La Eficiencia del Agua en las Ciudades*. Bakeaz, Bilbao y Fundación Ecología y Desarrollo, Zaragoza, pp. 205-234.
- Bruins, H.J. (2002a) Regional Water System Development in Israel and the Middle East. En E. Cabrera, R. Cobacho y J.R. Lund (eds.) *Regional Water System Management: Water Conservation, Water Supply and System Integration*. Balkema, Lisse, pp. 23-43.
- Bruins, H.J. (2002b) Institutional and Legal Framework for Managing Regional Water Resources in Israel. En E. Cabrera, R. Cobacho y J.R. Lund (eds.) *Regional Water System Management: Water Conservation, Water Supply and System Integration*. Balkema, Lisse, pp. 191-205.
- Bruins, H.J., Evenari, M. y Nessler, U. (1986) Rainwater-harvesting agriculture for food production in arid zones: the challenge of the African famine. *Applied Geography* 6:13-32.
- Bruins, H.J. y Lithwick, H. (1998) Proactive Planning and Interactive Management in Arid Frontier Development. En H.J. Bruins y H. Lithwick (eds.) *The Arid Frontier - Interactive Management of Environment and Development*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Chapter 1, pp. 3-29.
- Cabrera, E. (1997) La gestión del agua en España. Necesidad de planificar un futuro mejor. Ponencias de XXIII Reunión de Estudios Regionales. *Revista Valenciana de Estudios Autonomicos*. Generalitat Valencia, pp. 187-211.
- Cabrera, E., Espert, V. y López, P.A. (1999) Water supply systems in drought periods – The case of Spain. En Cabrera, E. y García-Serra, J. (Eds.) *Drought Management Planning in Water Supply Systems*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 1-21.
- Consejo Económico y Social (1998) Dictamen sobre el Anteproyecto de Ley de Reforma de la Ley 29/1985, de 2 de Agosto de Aguas, CES, Madrid.
- Correia, F.N. (1999) Water resources in the Mediterranean region. *Water International* 24(1):22-30.
- D'Emilio, F. (2002) Dry faucets enrage Italians. *Associated Press*, July 13, 2002.
- Evenari, M., Shanan, L. y Tadmor, N.H. (1971) *The Negev: The Challenge of a Desert*. Harvard University Press, Cambridge MA (Segunda edición revisada, 1982).
- Fannin, B. (2002) Drought returns to Texas agriculture, resulting in \$316 million in losses. *AgNews*, Texas A&M University Agriculture Program, June 12, 2002. <http://agnews.tamu.edu/dailynews/stories/DRGHT/June1202a.htm>.
- Giráldez, J.V., Ayuso, J.L., Garcia, A., López, J.G. y Roldán, J. (1988) Water harvesting strategies in the semiarid climate of southeastern Spain. *Agricultural Water Management* 14:253-263.
- Gleick, P. (ed.) (1993) *Water in Crisis – A Guide to the World's Fresh Water Resources*. Oxford University Press, Oxford.
- Karavitis, C.A. (1999) Decision support systems for drought management strategies in metropolitan Athens. *Water International* 24(1):10-21.
- Moral Ituarte, L. del, y C. Giansante (2000) *Journal of Contingencies and Crisis Management*, Volume 8, Number 2, June, pp. 93-102.
- Netafim (2002) Netafim Company of Irrigation Equipment: http://www.netafim.com/netafim/door_jis.dll/Serve/level/English/1.4.htm, <http://www.regaber.com/regaber/regaber.htm>.
- Postel, S. (1997) *Last Oasis: Facing Water Scarcity* (2nd edition), Worldwatch Institute, Washington, D.C.
- 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, Chapter 14, pp. 277-293.
- Shanan, L. y Tadmor, N.H. (1976) *Micro-catchment Systems for Arid Zone Development: A Handbook for Design and Construction*. Ministry of Agriculture, Centre for International Agricultural Cooperation, Rehovot. (Segunda Edición, 1979).
- Sumpsi Viñas, J.M., Garrido Colmenoro, A., Blanco Fonseca, M., Varela Ortega, C. y Iglesias Martínez, E. (1998), *Economía y Política de Gestión del Agua en la Agricultura*, Mundi-Prensa, Madrid.
- Vergés, J. (1999), Full Cost Pricing of Water in Spain. *Hydropôle 99, La Politique Européenne de l'Eau*, 17 June 1999, Marseille (France).
- Water Commission (1998) *Water in Israel: Use and Production 1996*. Ministry of National Infrastructure, Water Commission, Tel Aviv (en Hebreo).
- White, D.H. y Karssies, L. (1999) Australia's national drought policy: aims, analyses and implementation. *Water International* 24(1):2-9.
- Wilhite, D.A. (Ed.) (2000) *Drought: A Global Assessment, Volume I & II*, Routledge, London, Hazards and Disasters Series.
- Wilhite, D.A. y Glantz, M.H. (1985) 'Understanding the drought phenomenon: the role of definitions', *Water International*, Volume 10, Number 3, pp. 111-120.
- WRI (1994) *World Resources: A Guide to the Global Environment*. World Resources Institute, Oxford University Press, Oxford.