

USO INTENSIVO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
ASPECTOS ÉTICOS, TECNOLÓGICOS Y ECONÓMICOS

Serie A, N°3

LA MANCHA HÚMEDA

**Explotación intensiva de las aguas subterráneas
en la cuenca alta del río Guadiana**

Joaquín Cruces de Abia

Luis Martínez Cortina

PAPELES DEL PROYECTO AGUAS SUBTERRÁNEAS

Joaquín Cruces de Abia

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Diplomado en Hidrogeología. Actividad investigadora centrada en el campo de las aplicaciones de la Física-Matemática a la ingeniería civil, concretamente en técnicas de simulación en las áreas de Hidráulica Subterránea, Hidrogeología, Hidrodinámica de estuarios, Conducción de calor y Termohidráulica. Ha participado en 17 proyectos de investigación, 10 de ellos financiados por organismos oficiales (5 de la Unión Europea y 5 de la C.I.C.Y.T.), siendo director de tres de ellos. Entre sus publicaciones se cuentan 4 libros, colaboración en otros 6, así como diversas monografías de carácter docente, y numerosos artículos de revistas, comunicaciones a Congresos, informes sobre trabajos de investigación y participación en estudios técnicos. Ha dirigido una tesina y cuatro tesis doctorales.

Luis Martínez Cortina

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de Cantabria. Ha trabajado en la elaboración de proyectos (principalmente estaciones depuradoras de aguas residuales), y desde 1993 su actividad se centra en temas hidrogeológicos, principalmente en la elaboración de modelos numéricos de flujo de agua subterránea, y en la realización de estudios hidrológicos dentro de la cuenca alta del Guadiana. Ha participado en los proyectos de investigación EFEDA y GRAPES financiados por la Unión Europea. Es coautor del libro «De la noria a la bomba», y de diversos artículos e informes relacionados con la Hidrogeología. Desde 1999 desarrolla su actividad en el Proyecto Aguas Subterráneas de la Fundación Marcelino Botín.

CONTENIDO

RESUMEN	5
SUMMARY	6
INTRODUCCIÓN	7
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLOGÍA GENERAL	9
CLIMATOLOGÍA	11
Pluviometría, 11	
Evaporación y evapotranspiración, 12	
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	14
HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	19
Características y parámetros hidrogeológicos, 19	
Datos piezométricos, 21	
Estimaciones de la recarga natural de los acuíferos, 26	
Funcionamiento del sistema hidrogeológico: modelo conceptual, 28	
Funcionamiento del sistema hidrogeológico: modelos numéricos, 30	
LOS HUMEDALES DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA «LA MANCHA HÚMEDA»	40
PRINCIPALES ACTUACIONES ANTRÓPICAS CON INFLUENCIA HIDROLÓGICA Y ECOLÓGICA	43
Cambios en el uso de la tierra, 43	
Extracciones de aguas subterráneas, 44	
Canalización de ríos y construcción de embalses, 46	

IMPACTOS PRODUCIDOS POR LAS ACTUACIONES ANTRÓPICAS	46
Alteración grave en los caudales circulantes por la cuenca, 46	
Desconexión acuífero – aguas superficiales, 49	
Modificación del esquema de flujo, 50	
Cambios en la posición de las zonas de descarga, 50	
Incremento de los recursos naturales renovables como consecuencia de la desecación de los humedales, 50	
Impactos ecológicos en los humedales de «La Mancha Húmeda», 51	
Impactos antrópicos en los humedales y situación hidrológica actual, 52	
Influencia de los trasvases del acueducto Tajo-Segura en los humedales del Alto Guadiana, 54	
CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	61
GLOSARIO	66

Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas

M. Ramón Llamas, Director

Edita : Fundación Marcelino Botín. Pedrueca, 1 (Santander)

ISBN: 84-95516-01-2 (obra completa)

ISBN: 84-95516-05-5 (serie A, nº 3)

Depósito legal: M. 18.124-2000

Impreso en REALIGRAF, S.A. Madrid, marzo de 2000

LA MANCHA HÚMEDA

Explotación intensiva de las aguas subterráneas en la cuenca alta del río Guadiana

RESUMEN

La cuenca alta del río Guadiana, hasta el embalse de El Vicario, ocupa 16.130 km². Tiene clima semiárido, con precipitación media de unos 400 mm/año y temperatura media de unos 14°C. Se caracteriza por su relieve suave y por la abundancia de formaciones geológicas permeables, entre las que predominan las calizas. Es probablemente la cuenca española de su tamaño con menor aportación fluvial en condiciones naturales. Existían algo más de un centenar de humedales de singular valor ecológico, que fueron declarados Reserva de la Biosfera por la UNESCO en 1981.

Desde los años setenta, especialmente en la zona central de la cuenca –la denominada Llanura Manchega Occidental– se inició un intenso bombeo para regadío, que ha permitido un notable progreso económico y social en la región. Sin embargo, esos bombeos, unidos a una larga secuencia climática seca (desde 1980 a 1995), han producido serios cambios en la hidrología de la cuenca. Estos cambios han tenido notable impacto ecológico en algunos humedales, especialmente en los situados sobre el acuífero de la Mancha Occidental y de modo singular en los humedales del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel y en los

Ojos del Guadiana. Esto ha dado lugar a conflictos entre los agricultores y los grupos conservacionistas.

Los resultados de nuestros trabajos indican: 1) que la actividad económica vinculada al regadío no tiene por qué terminar en un fracaso ni reducirse si se utilizan adecuadamente los recursos de la zona; 2) que gran parte de los humedales de la *Reserva de la Biosfera La Mancha Húmeda* pueden ser conservados sin conflictos con las actividades agrícolas; 3) que esto requiere un notable cambio de actitudes tanto por parte de la Administración hidráulica como por parte de los agricultores.

SUMMARY

The Upper Guadiana basin, till El Vicario reservoir, extends through 16,130 km². With a semiarid climate, the mean annual rainfall is about 400 mm/year and the mean temperature about 14° C. Its gentle landscape is made up with permeable materials mainly limestones. It is likely the Spanish basin of its size with lower runoff in natural conditions. More than a hundred wetlands of outstanding ecological value existed on it, being declared Reserve of the Biosphere by UNESCO in 1981.

From the 70's –specially in the central part of the basin named Llanura Manchega Occidental– began an intensive groundwater exploitation for irrigation. This has allowed an important economic and social progress in the area. However the pumping jointly with a long drought (from 1980 till 1995), have produced serious changes in the basin hydrology. The ecological impact in some wetlands (specially those placed in the La Mancha Occidental aquifer, like 'Las Tablas de Daimiel National Park' and 'Los Ojos del Guadiana') were notorious. This situation produced serious conflicts between the farmers and conservationist groups. Results from our work point out that: 1) the economic activity linked to irrigation will not collapse (even more, it does not need to be reduced) if the available water resources are used adequately; 2) most of the wetlands of 'La Mancha Húmeda' could be preserved

without conflict with the farmers; 3) the attitude of the hydraulic administration and the farmers needs important changes.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta tanto la problemática del desarrollo sostenible en la cuenca alta del Guadiana, como los resultados obtenidos en una serie de trabajos de investigación realizados conjuntamente por equipos de la Universidad de Cantabria (Departamento de Física Aplicada de la Escuela de Ingenieros de Caminos) y de la Universidad Complutense de Madrid (Departamento de Geodinámica de la Facultad de Ciencias Geológicas). Estos estudios han sido financiados por la Dirección General XII de la Comisión Europea (EFEDA-I, EFEDA-II y GRAPES) y por la CICYT en dos proyectos sobre los humedales de la Mancha.

La cuenca alta del Guadiana tiene un clima semiárido y es probablemente la cuenca española de tamaño similar con menos recursos fluviales. Éstos son del orden de 300 – 400 Mm³/año (equivalente a unos 20 – 25 mm/año). De todas formas, esta cifra media es engañosa. En efecto, pueden darse largas secuencias climáticas, de más de diez años de duración, en las que las aportaciones fluviales medias no alcanzan los 200 Mm³/año.

La cuenca alta del Guadiana se caracteriza por su relieve suave y la abundancia de terrenos acuíferos (casi todos calcáreos). Esto conduce a que la interrelación entre las aguas superficiales y subterráneas sea muy significativa. En esta cuenca y sus proximidades viven unas 400.000 – 500.000 personas. La actividad agrícola siempre fue relativamente importante. Se trataba de una agricultura casi exclusivamente de secano, con la vid y los cereales como cultivo predominante. En la cuenca existían algo más de un centenar de humedales de singular valor ecológico, conocidos como *La Mancha Húmeda*, que fueron declarados por la UNESCO, en el año 1981, *Reserva de la Biosfera*.

A partir de los años setenta, se inicia en la zona una profunda y positiva transformación socio-económica cuyo motor principal es el cambio de la agricultura de secano a la de regadío. En menos

de veinte años, los agricultores de la zona central de la cuenca, la denominada la Llanura Manchega Occidental (también Sistema Acuífero 23 o Unidad Hidrogeológica 04.04), perforan de diez mil a veinte mil pozos y ponen en regadío más de 1.000 km² de los 5.500 que tiene la Llanura Manchega Occidental. Los bombeos de aguas subterráneas llegan a ser del orden de 600 Mm³/año. Estas extracciones de aguas subterráneas, unidas a una secuencia climática seca entre los años 1980 y 1995, dieron origen a un descenso importante del nivel freático (unos 30 m como media, alcanzando en algunas zonas hasta 40 ó 50 m) que introduce profundos cambios en la hidrología general de la cuenca y, además, produce un fuerte impacto ecológico en algunos humedales de la Mancha Húmeda, especialmente en los ubicados sobre la U.H. 04.04. Entre estos impactos destacan la degradación de los humedales de Los Ojos del Guadiana y del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel. Estos impactos ecológicos desencadenan una intensa protesta de muchos grupos conservacionistas.

La cuenca alta del Guadiana se ha convertido en un caso emblemático, tanto en ámbito nacional como internacional. En ella se ha producido un intenso conflicto entre grupos sociales, principalmente entre los agricultores de regadíos con aguas subterráneas y los grupos conservacionistas. Es difícil encontrar en un nivel mundial casos parecidos debido fundamentalmente a las causas que a continuación se exponen

En algunos sitios, como California o Arizona, donde los bombeos para usos agrícolas fueron y son muy intensos, la destrucción de los humedales se produjo hace ya cuarenta o cincuenta años, cuando el movimiento conservacionista era muy débil. En otros países semiáridos, menos desarrollados que España, los bombeos son actualmente muy intensos y parecen estar impactando seriamente a ecosistemas acuáticos, pero la relevancia social de los grupos conservacionistas es muy inferior a la que tienen en nuestro país, y su tímida o nula protesta no se ha traducido todavía en conflictos sociales. Como un indicio de la conflictividad existente, cabe mencionar que en 1996 el Defensor del Pueblo tuvo que preparar un informe sobre la problemática de la legalización de las aguas subterráneas en esta cuenca; problema que todavía no se ha resuelto.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLOGÍA GENERAL

La cuenca alta del río Guadiana constituye una región natural que cubre una extensión de 16.130 km², en el nordeste de la submeseta sur castellana. Comprende el área drenada por el Guadiana hasta el embalse de El Vicario, próximo a Ciudad Real (Figura 1)



Figura 1. Mapa general de situación de la cuenca alta del Guadiana.

Sus límites naturales son la Sierra de Altomira en el Nordeste, los Llanos de Albacete en el Este, los Montes de Toledo en el Oeste y la llanura del Campo de Montiel en el Sur. La morfología de la zona corresponde a una gran llanura con suaves colinas, con una altitud comprendida entre 600 m en El Vicario y 770 m en el límite con la cuenca del Júcar, flanqueada por elevaciones más altas (del orden de los 1.000 m), tanto al norte como al sur.

El suave relieve de la cuenca, la ausencia de una red de drenaje bien definida, su abundancia en formaciones acuíferas y su complicada interrelación con los cauces superficiales, ocasionan la existencia de numerosas lagunas de diverso tamaño, génesis y funcionamiento hidráulico, que constituyen la llamada *Mancha Húmeda* (unas 25.000 ha) (Cruces et al., 1997b).

Desde el punto de vista hidrogeológico, se pueden definir cuatro sistemas acuíferos, que forman cinco Unidades Hidrogeológicas, según la terminología del SGOP-ITGE (1990):

- Sistema acuífero de la Sierra de Altomira (número 19)
Unidad Hidrogeológica 04.01.

- Sistema acuífero de La Mancha de Toledo (número 20)
Unidad Hidrogeológica 04.02: Lillo-Quintanar.
Unidad Hidrogeológica 04.03: Consuegra-Villacañas

- Sistema acuífero de La Mancha Occidental (número 23):
Unidad Hidrogeológica 04.04.

- Sistema acuífero del Campo de Montiel (número 24)
Unidad Hidrogeológica 04.06

Una descripción resumida de las características geológicas de cada sistema acuífero puede encontrarse en Barroso et al. (1994), Cruces et al. (1998) o más extensa en textos especializados (del ITGE o SGOP).

CLIMATOLOGÍA

El clima de la cuenca alta del Guadiana es de tipo mediterráneo continental, con unas temperaturas extremas; en invierno pueden alcanzarse los -10°C y en verano hasta 40°C . Se trata de una de las zonas más áridas de España.

Pluviometría

La precipitación media se encuentra alrededor de los 400 mm por año e incluso menos, en la parte meridional de la cuenca.

En la Figura 2 se presentan las desviaciones acumuladas de las precipitaciones respecto al valor medio en la cuenca alta del Guadiana durante 65 años. Los valores se han obtenido integrando las precipitaciones en más de 40 estaciones meteorológicas según el método de los polígonos de Thiessen.

Los valores de los años hidrológicos 1931/1932 al 1989/1990 han sido tomados de SGDGOH (1991), y el resto calculados directamente por el mismo procedimiento a partir de los datos del INM. También se han añadido las precipitaciones anuales, para comparación.

En dicha representación gráfica pueden apreciarse dos períodos secos desde 1940/1941 hasta 1957/1958 y desde 1978/1979 hasta 1994/1995, tras una larga serie húmeda desde 1958/1959 hasta 1970/1971. La máxima desviación en el período es del orden de 1.000 mm, dos veces y media el valor de la precipitación media en la cuenca durante el período considerado.

Idénticos gráficos realizados para estaciones individuales muestran una mayor variabilidad (Cruces et al., 1997b), dado el carácter tormentoso de las precipitaciones más abundantes en la zona, normalmente en primavera y otoño, y su carácter localizado geográficamente. No es infrecuente encontrarse valores de precipitaciones máximas en un mes en una estación y

casi nulas en otras de la zona en el mismo mes. Además, es importante resaltar las siguientes consideraciones:

- a) Las series secas son usualmente más largas que las húmedas.
- b) La diferencia entre la máxima desviación y la mínima puede ser hasta el triple del valor medio.
- c) Hay evidencia de que series secas como la ocurrida en los años 80 son usuales en tiempos recientes.
- d) Los períodos de sequía están distribuidos en la cuenca de manera irregular y con diferente intensidad según las zonas.

Evaporación y evapotranspiración

Las variables del balance hídrico más difíciles de medir en ámbito regional, y que tienen una transcendencia mayor en el conjunto del balance en climas semiáridos son: la recarga, la evaporación en las masas de agua superficiales y la evapotranspiración en las zonas húmedas. Para la estación de Toledo, los valores de evaporación medida en tanque clase A oscilan entre 1.977 y 1.495 mm/año (media de 1.242 mm/año), en el decenio 1982 –1992 (Fornés, 1994).

La evapotranspiración es uno de los parámetros que ha sido sistemáticamente subestimado en la mayoría de los balances realizados hasta la fecha. En zonas húmedas, la evapotranspiración puede exceder hasta dos veces la evaporación en lámina libre de agua (Calder, 1976).

Esta diferencia tiene dos orígenes. En primer lugar se trabaja con el concepto de evaporación neta (diferencia entre la evaporación real deducida en tanque A y la lluvia que ha precipitado). Este método es adecuado en superficies de agua libre pero no en las zonas con vegetación de los humedales. En segundo lugar, la adecuación del método anterior depende del

tipo de balance al que se aplique. Así, si el balance que se realiza corresponde a las aguas subterráneas de un acuífero, la precipitación que cae sobre los cauces y zonas encharcadas durante los meses más fríos, pasa a formar parte de la escorrentía superficial sin entrar en relación con el acuífero, por lo que habría que tenerlas en cuenta sólo en un balance de aguas superficiales.

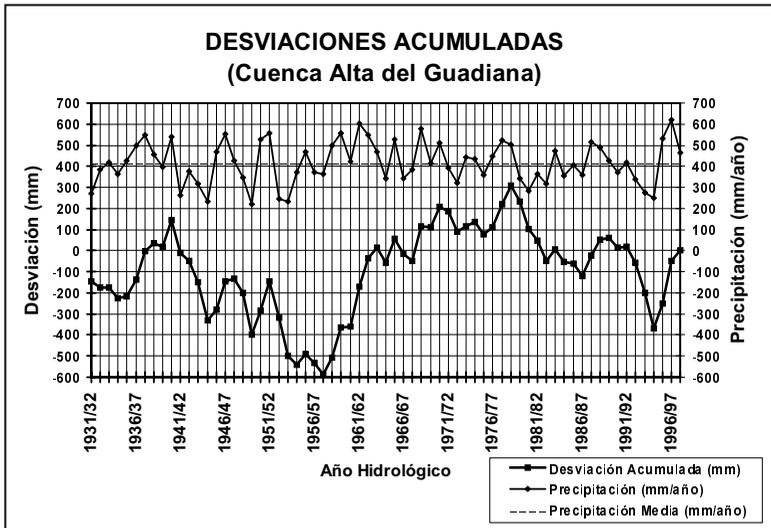


Figura 2. Desviaciones acumuladas de las precipitaciones respecto al valor medio en la cuenca alta del Guadiana (datos de SGDGOH, 1991 y elaboración propia)

En cambio, el agua evapotranspirada durante los meses más cálidos puede proceder de la infiltración producida en otras zonas del acuífero, y transmitida a las zonas más bajas de descarga en ríos y humedales, por lo que las pérdidas del acuífero corresponderían a la casi totalidad de la evapotranspiración y no a la evaporación neta (Cruces et al., 1997b).

Estimaciones de la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite tienden a subestimar los valores reales durante los meses de verano, produciendo valores anuales claramente menores que el método de Penman, que parece ajustarse mejor al clima mediterráneo. Estimaciones de la ETP según el método de Penman, realizadas para la zona experimental de Barrax en Albacete, oscilan entre 1.059 y 1.339 mm/año para una serie de 15 años entre 1975 y 1991, con un valor medio de 1.242 mm/año y una desviación estándar de 63 mm/año.

Este valor es relativamente estable comparado con otros parámetros meteorológicos de la zona y coincide con los valores de evaporación obtenidos para la estación de Toledo en la misma época procedentes de datos de evaporación en tanque A. Los valores obtenidos según el método de Thornthwaite utilizando los mismos datos meteorológicos parecen encontrarse en el rango de 700 – 900 mm/año.

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Los ríos de esta cuenca han tenido una gran interrelación con los acuíferos, siendo ganadores o perdedores en distintos tramos del mismo río y modificando su comportamiento según nos encontremos en un período seco o húmedo. Esta situación, por tanto, no es estática, sino que está sujeta a cambios climáticos y antrópicos. Los tres principales ríos que aportan caudales al Guadiana en su cuenca alta son el Cigüela, el Záncara y el propio Guadiana (unos 100 Mm³/año, cada uno). El río Cigüela, y en menor medida el río Záncara, tienen cuencas poco permeables en general, con caudales muy irregulares que responden con gran rapidez a los regímenes de lluvias. Por el contrario el Guadiana Alto nace en el Campo de Montiel de un acuífero kárstico.

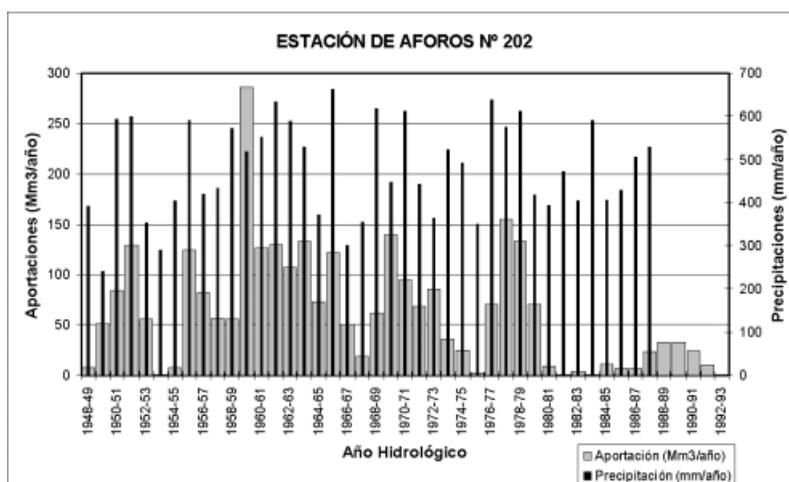
La salida neta de toda la cuenca alta del Guadiana en El Vicario ha sido estimada en unos 400 Mm³/año para el período 1931/1971 por SGOP (1982), o para el período 1943/1974 por Bromley et al. (1996). De éstos, una media de 300 Mm³/año son aportados como flujo base por los acuíferos, aunque con gran variabilidad de unos años a otros, oscilando entre los 68 Mm³ y los 864 Mm³ por año. Incluso en el mismo año existe también una gran variabilidad de una estación a otra, contrastando con la idea habitual que se tiene de un flujo base mantenido durante todo el año, con fluctuaciones suaves de un año a otro. Los análisis de datos de aforo muestran claramente períodos de agotamiento del orden de meses e incluso semanas, pudiendo llegar en algunos períodos secos casi al agotamiento, como por otra parte, es habitual en las subcuencas de la mayoría de los afluentes del Guadiana Alto. Una explicación a este comportamiento puede encontrarse en la alta transmisividad de la zona de descarga de la U.H. 04.04, que hace responder con gran rapidez a los cambios de nivel aguas arriba, evacuando rápidamente cualquier exceso sobre el nivel de salida. Como muestra de la evolución en las aportaciones anuales puede verse la Figura 3, correspondiente a la estación de aforos número 202, Cigüela en Villafranca. En la misma se han incluido también las precipitaciones. Puede verse la disminución de caudales en la década de los 80, que no parece justificada únicamente por la sequía, a pesar de que esta subcuenca no se ha visto tan afectada por los bombeos para regadío.

En la cuenca alta del río Guadiana, existen 8 estaciones de aforos importantes: una en el río Guadiana (número 04004), dos en el río Azuer (números 04101 y 04102), tres en el río Cigüela (números 04201, 04202 y 04203) y dos en el río Záncara (números 04205 y 04204/04224). La estación número 7 fue suprimida en 1960 al construirse el embalse de El Vicario.

En el río *Záncara* se observa que existe un incremento de la aportación entre ambas estaciones. Es importante señalar que a partir del año hidrológico 1980/1981 la aportación disminuye drásticamente en ambas estaciones de aforos (los últimos cinco años presentan una aportación nula). Esta reducción de la aportación, desde comienzos de los años 80, no parece ser con-

secuencia de una disminución en las precipitaciones, que correspondieron a una secuencia seca.

En el río *Cigüela*, principal tributario del Guadiana por su margen derecha, existen tres estaciones de aforos permanentes. Las dos primeras estaciones se encuentran situadas en el sistema acuífero de La Mancha de Toledo, mientras que la estación número 203 está ubicada en el acuífero de la Mancha



Occidental, unos 40 km aguas arriba del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel.

Figura 3. Aportaciones anuales en la estación de aforos No. 202, Cigüela en Villafranca.

Además, existe otra estación de aforos unos 10 km aguas arriba de la zona encharcada del Parque Nacional (número 204 en la actualidad, antes número 904) próxima a la localidad de Villarrubia de los Ojos, que presenta un registro de datos muy breve, pues comprende los períodos 1920 –1930 y 1942 –1946. En 1993 se construyó una nueva estación de aforos que sustituye a la anterior, dentro del plan SAICA (Sistema de Alerta e Información de Calidad de Aguas).

Comparando los valores medios de las aportaciones del río Cigüela en las estaciones de aforos números 201 y 202, se ob-

serva un incremento de éstas aguas abajo. Hay que tener en cuenta que la estación de Villafranca de los Caballeros (número 202) recoge las aguas del río Cigüela y de su afluente, el Riansares, ya que la confluencia se produce unos 10 km aguas arriba. La superficie de la cuenca drenada es de 3.367 km², unas tres veces mayor que la drenada en la estación número 201 (995 km²). Sin embargo, a partir del año hidrológico 1980/1981, inicio de un largo período seco, esta situación se invierte de tal manera que el río Cigüela, en la estación de aforos número 202, presenta una menor aportación que en la estación número 201. En otras palabras, el río Cigüela pierde agua en el camino que recorre entre ambas estaciones (Fornés, 1994). Este hecho ha podido ser comprobado en detalle durante la derivación de caudales del trasvase Tajo–Segura con destino al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel. El río Cigüela, por tanto, se comporta como *perdedor* entre las estaciones 201 y 202 durante el periodo seco que comenzó en el año 1980/1981, debido a que el nivel freático se encontraba por debajo del cauce del río. Esta situación se produjo, en parte, debido a la secuencia climática seca y, en parte, a los regadíos efectuados principalmente en la vega de Villa de Don Fadrique (Fornés, 1994). El período seco que comenzó con la década de los 80 se prolongó hasta el año 1994/95.

La estación de aforos número 203 (río Cigüela en Buena-vista) se encuentra ubicada en el acuífero de La Mancha Occidental. Un poco antes de llegar a este punto, el río Cigüela ha recibido las aguas del Amarguillo, por su margen derecha, y del río Záncara, por su margen izquierda. Entre las estaciones de aforos números 202 y 203, la evolución de las aportaciones parece indicar que, en ese tramo, el río es perdedor. Esta relación río–acuífero parece haber sido la misma incluso cuando las extracciones de agua subterránea en este acuífero eran moderadas y la superficie freática no había sido deprimida 20–30 m (Esnaola, 1991).

En el río *Azuer* la aportación media es mayor en la estación de aforos número 101, que en la estación número 102. Algunos autores (Esnaola, 1991) atribuyen este hecho al carácter *perdedor* de este río. Este comportamiento del río Azuer se puede

explicar a partir de las características geológicas de su cuenca, ya que, durante la mayor parte de su recorrido discurre por materiales de baja permeabilidad (arcillas arenosas de abanicos aluviales) lo que comportaría una rápida respuesta a las precipitaciones. En las proximidades de Daimiel, el río circularía por las calizas terciarias del acuífero de la Mancha Occidental, produciéndose la máxima infiltración de todo su recorrido. En este río también se manifiestan las consecuencias del período seco que comenzó con la década de los 80 y se prolongó hasta mediados de los años 90.

El río *Guadiana* nace en la Fuente del Ojuelo, al NE de Viveros (Albacete). Recibe el nombre de río *Pinilla* hasta alcanzar las Lagunas de Ruidera. Aguas abajo, cruzaba transversalmente el acuífero de La Mancha Occidental y se unía con el río Cigüela un poco antes de la estación de aforos número 203 (Buenavista). En este recorrido a través del acuífero, el río era de carácter perdedor; la mayor parte de su caudal se infiltraba en el acuífero de La Mancha Occidental, llegando incluso a desaparecer antes de su confluencia con el río Cigüela.

Tradicionalmente se decía que este río desaparecía (al atravesar el acuífero de La Mancha Occidental) y volvía a aparecer en los Ojos del Guadiana, situados unos 30 km al SO de la confluencia con el Cigüela.

Estos *ojos* eran un conjunto de manantiales que, junto con las Tablas de Daimiel, eran la principal zona de descarga del acuífero de la Mancha Occidental. Desde 1983, debido a los intensos bombeos de aguas subterráneas producidos en este acuífero de La Mancha Occidental, el río Guadiana ya no surge en los Ojos. La aportación de este río, nula desde ese año, era de unos 80 –100 Mm³/año (García y Llamas, 1993a). A partir de los Ojos del Guadiana recupera su denominación de río Guadiana, confluyendo con el Cigüela en Las Tablas de Daimiel. A la altura de El Vicario existió una estación de aforos en Torreblanca hasta la construcción del embalse. Actualmente las aportaciones de la cuenca alta del Guadiana deben calcularse por diferencia entre las estaciones número 8 y número 103.

HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

Características y parámetros hidrogeológicos

Una descripción resumida de las características y parámetros hidrogeológicos de cada sistema acuifero puede encontrarse en Cruces et al. (1998) o más extensa en textos especializados (informes del ITGE o SGOP).

El acuífero de la Sierra de Altomira presenta una gran complejidad estructural, lo que da lugar a la existencia de diversas capas libres, semiconfinadas, confinadas, acuíferos colgados, que guardan entre sí unas relaciones también complejas. De esta forma el Sistema acuifero de Altomira está formado en realidad por numerosas unidades acuiferas, de muy distintas características y parámetros hidráulicos muy diversos. Los principales acuíferos son mesozoicos (Jurásico y Cretácico), teniendo también cierta importancia los ubicados en el Terciario y Cuaternario.

El acuífero de La Mancha de Toledo se desarrolla a ambos lados de la divisoria de cuencas Tajo–Guadiana, aunque las unidades 04.02 y 04.03, que son las que se encuentran en la cuenca del Guadiana, ocupan la mayor parte de la superficie (3.550 km² de los 4.500 totales). En la cuenca del Guadiana se pueden diferenciar en el sistema tres niveles acuiferos, todos de escasa entidad, formados por calizas cámbricas, por materiales detríticos (triásicos, miocenos y pliocuaternarios) o por sedimentos calcáreos miopliocenos. Se trata de acuíferos interconectados que muy frecuentemente se comportan como semipermeables, entre los que pueden existir tramos más permeables que actúan como acuíferos libres o confinados. El sentido de circulación del agua en los acuíferos triásico y mioceno tiene una clara componente hacia los ríos Riansares y Cigüela. En el acuífero cámbrico la circulación es hacia el norte, con drenaje hacia el río Amarguillo en la línea de Urda–Consuegra–Madrirdejos.

El acuífero de la Mancha Occidental es el más importante de cuantos constituyen la cuenca alta del Guadiana. Se pueden distinguir en él un acuífero superior terciario, un acuífero inferior de materiales mesozoicos (Cretácico y Jurásico), y entre ambos un nivel intermedio detrítico que actúa a modo de acuitardo. El más importante es el acuífero mioceno, en el que se realiza más del 80 % de la extracción de agua subterránea. Su transmisividad depende de la proporción de margas y calizas existentes. El máximo componente calcáreo se localiza en la zona central del sistema acuífero, lo que unido a su mayor espesor, con potencias máximas de hasta 200 metros da como resultado transmisividades muy altas de hasta 20.000 m²/día (IGME, 1979). El coeficiente de almacenamiento medio puede cifrarse en un 1.5% (Niñerola et al., 1976). El acuífero inferior Cretácico–Jurásico, extendido bajo los sedimentos terciarios como se ha dicho, presenta parámetros hidráulicos muy heterogéneos por estar constituido por varios niveles calcáreos separados por materiales más o menos permeables que actúan como acuitardos.

En líneas generales el tramo calizo oolítico del Jurásico Medio es el que posee la mayor transmisividad: del orden de 6.000 m²/día y un espesor saturado medio de unos 60 metros. La transmisividad de los otros tramos calcáreos puede oscilar entre 200 y 5.000 m²/día, tanto en las calizas del Cretácico Superior como en el tramo calcáreo–dolomítico del Jurásico Inferior, pudiendo estimarse unos espesores saturados medios de 25 y 80 metros respectivamente. Para el coeficiente de almacenamiento, dadas las características de todos estos acuíferos se puede estimar un valor medio de 10⁻³–10⁻⁴ (IGME, 1979).

El acuífero del Campo de Montiel es un acuífero libre en el que la única entrada natural es la recarga de la lluvia y cuya descarga pasa casi globalmente al acuífero de la Llanura Manchega. Las medidas de transmisividad en el Campo de Montiel realizadas a partir de ensayos de bombeo, dan resultados muy dispares. Este amplio margen en la variación del parámetro se debe a que se trata de un acuífero kárstico, en el que la dirección de las fracturas condiciona el comportamiento del flujo subterráneo. En líneas generales puede decirse que la transmi-

sividad oscila entre 50 y 1.500 m²/día (según Niñerola et al., en Montero, 1994). Las áreas más transmisivas son aquellas localizadas en el centro del acuífero, aguas arriba de las Lagunas de Ruidera. Otros estudios coinciden en esta variabilidad. Montero (1994) indica que las transmisividades más altas se dan en la cabecera de las Lagunas de Ruidera y al sudeste del Campo de Montiel, con valores de 500 a 2.000 m²/día, pudiendo alcanzar los 6.000 y 7.000 m²/día en algún punto, mientras que en las zonas norte, oeste y sudoeste del acuífero se dan transmisividades mucho menores, entre 10 y 100 m²/día. El valor del coeficiente de almacenamiento estimado para el acuífero libre del Campo de Montiel está en torno al 5% (según Montero et al., en de la Hera, 1993). Algunos estudios más recientes parecen poner de manifiesto que este valor quizás sea ligeramente alto para la media de todo el acuífero. El ITGE (en Montero, 1994) estimaba un valor entre el 1% y el 5%.

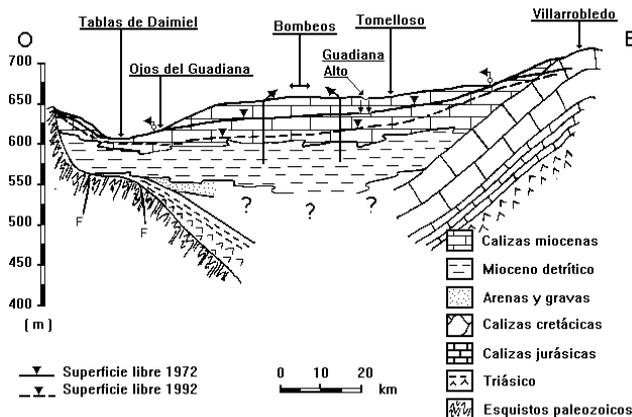
Datos piezométricos

La mayoría de las extracciones de la cuenca (más del 90%) se producen en el acuífero de La Mancha Occidental, que controla la descarga total de la misma. Todos los restantes sistemas realizan su descarga a La Mancha Occidental, bien a través de los ríos o bien mediante transferencia subterránea. La importancia de este acuífero, no sólo desde un punto de vista hidrogeológico, sino también socioeconómico, ha hecho que la red piezométrica existente sea mucho más densa que en los restantes acuíferos, especialmente desde que hacia 1973 se detectó el descenso generalizado de niveles que se estaba produciendo.

Las extracciones de agua subterránea para abastecimiento y especialmente para regadío estaban ya muy generalizadas en aquella fecha, con un volumen anual de unos 150 Mm³, que incluso fueron en aumento de una manera desproporcionada, alcanzando en 1988 una cifra cercana a los 600 Mm³.

Si a ello le unimos que estas extracciones coinciden con un período importante de sequía, tenemos como consecuencia el

fuerte descenso de niveles que se produce en el sistema acuífero número 23. Los niveles en este sistema, antes de que comenzaran los descensos, aumentaban gradualmente de Oeste a Este, empezando a unos 600 metros en las cercanías del embalse de El Vicario hasta unos 700 metros en el extremo oriental de la cuenca. Un perfil longitudinal puede verse en la Figura 4. Pue-



de considerarse que la situación anterior, representativa de un estado *no perturbado*, dura hasta 1974, aunque el esquema general de flujo se mantiene hasta el comienzo de los años 80 (ver Figura 5).

Figura 4. Perfil longitudinal (SO-NE) del sistema acuífero de la Mancha Occidental (unidad 04.04, acuífero 23). Según García Rodríguez y Llamas (1992).

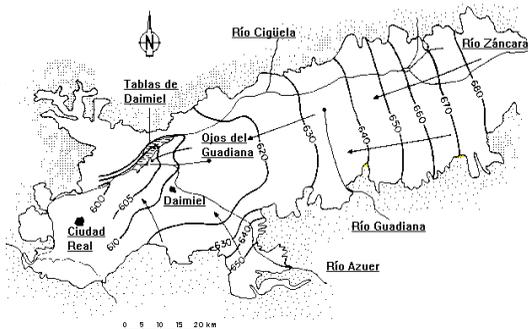


Figura 5. Isopiezas en la U. H. 04.04 en Septiembre, 1980
(de SGDGOH, 1991).

Hasta esa fecha los descensos habían sido de menor cuantía. Se tienen datos, por ejemplo, de una perforación realizada en 1930 para unas pruebas con trazadores (fluoresceína) en Venta Quedada (situada 15 km al norte de Manzanares y 12 km al este de los Ojos del Guadiana). Existe un descenso en dicho punto entre 1930 y 1974 de unos 5 metros (Almagro, 1995).

En 1974 el nivel freático estaba, en general, muy próximo a la superficie en las zonas de descarga, y en la mayoría de los casos existía una clara conexión hidráulica entre el acuífero y los ríos y humedales. En 1984 las isopiezas del acuífero mostraban ya la formación de conos de bombeo en aquellas zonas donde las extracciones eran más fuertes. En esta primera década los bombeos más importantes se localizaban en la zona de Daimiel y al norte de Manzanares. En dicha zona se registran en esta fecha descensos de nivel de hasta 20 metros. En la parte oriental del acuífero los descensos eran mucho menores, no superando normalmente los 5–6 metros.

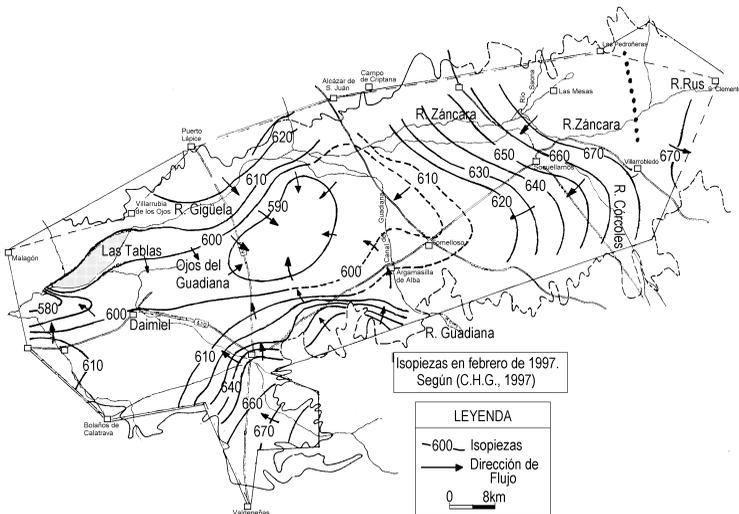


Figura 6. Isopiezas del sistema acuifero de La Mancha Occidental (U.H.04.04) en febrero de 1997. Modificado de C.H.G. (1997)

En 1990 los conos de bombeo se habían extendido considerablemente. En esta época se habían registrado las mayores extracciones de agua subterránea, que tocaron techo, como se dijo antes, en 1988. Asimismo, la localización de los bombeos fue aumentando de importancia hacia la zona oriental, hasta entonces menos explotada. Se registran descensos próximos a 45 metros en la zona situada entre Villarta y Tomelloso, mientras que en la zona oriental los descensos más normales están entre 10 –15 metros. A partir de 1988 las extracciones de agua subterránea parecen haberse ido reduciendo, mientras que los niveles han seguido descendiendo, a un ritmo sólo ligeramente menor. En líneas generales puede hablarse de un descenso medio de 2 m/año en la zona central del acuifero, y de aproximadamente 1 m/año en la zona oriental. Este ritmo varía bastante de unos sitios a otros, probablemente en relación con la importancia de los bombeos próximos y con la transmisividad de la zona.

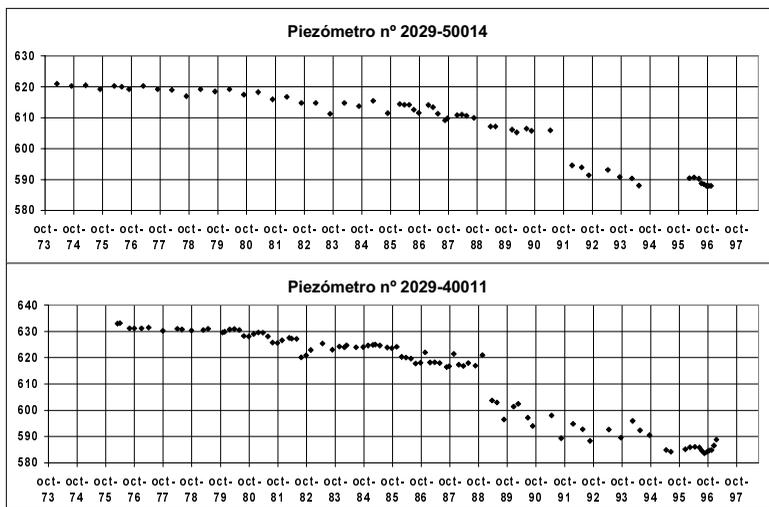


Figura 7. Evolución piezométrica en dos piezómetros de

la Llanura Manchega

No obstante, conviene recordar que las oscilaciones de nivel piezométrico en un punto vienen condicionadas, en buena parte, por el funcionamiento hidrológico del conjunto del sistema y no sólo por lo que ocurre (bombeos, transmisividad, recarga) en la zona inmediata.

La situación de niveles más bajos se registraba a finales de 1995, con zonas con descensos superiores a los 50 metros. Las fuertes precipitaciones registradas en los meses posteriores, que se repitieron en los dos años siguientes, han provocado una cierta recuperación de los niveles, que en términos generales puede cifrarse en unos cinco metros de media sobre todo el acuífero. La situación correspondiente al mes de febrero de 1997 puede verse en la Figura 6. La evolución piezométrica en la U.H. 04.04, puede observarse en los dos piezómetros de la Figura 7, situados en la zona central del acuífero.

En el acuífero del Campo de Montiel la piezometría está condicionada de forma clara por sus características esencialmente kársticas. Debido a ello los niveles piezométricos presentan una gran sensibilidad ante episodios de sequías o de fuertes lluvias. De acuerdo con lo anterior, los estudios de evolución piezométrica permiten concluir que existe una acusada influencia del régimen pluviométrico en la oscilación de los niveles, con ascensos generalizados en períodos de precipitación alta y descensos en la época de estiaje. Por otra parte, la influencia de las extracciones para abastecimiento y regadío siempre ha estado bastante localizada y con valores no excesivamente altos. Sólo en alguna zona concreta, como en los alrededores de La Solana, muy cerca del acuífero número 23, parece haber existido una clara relación entre las extracciones y el descenso de niveles. Las fuertes precipitaciones producidas en el otoño e invierno de 1995/1996 han puesto claramente de manifiesto lo anterior, produciéndose un gran ascenso de niveles en el acuífero, con efectos tan espectaculares como la recuperación de las Lagunas de Ruidera. Todo esto ha contribuido a poner de manifiesto lo discutible, cuanto menos, de la decisión adoptada en su día de declarar sobreexplotado el acuífero del Campo de Montiel.

Estimaciones de la recarga natural de los acuíferos

La recarga natural puede considerarse que es el parámetro fundamental para el establecimiento de planes de gestión y desarrollo sostenible de los acuíferos. Por otro lado, es posiblemente uno de los parámetros más difíciles de estimar, ya que su medida directa es prácticamente imposible. Este hecho se ve complicado por el alto grado de incertidumbre que suele acompañar la determinación de otros parámetros hidráulicos que permitirían obtener medidas de recarga por métodos indirectos: aforos y evapotranspiración fundamentalmente, de los que ya se ha hablado.

Las estimaciones históricas que se han venido haciendo podrían resumirse en lo siguiente. Los primeros informes del SGOP de finales de los 70 plantean una estimación de la recarga basada en fórmulas experimentales a partir de la precipitación, completándolo con las cifras de los balances globales teniendo en cuenta los datos de aforo. Así en el informe SGOP (1979) se estima una recarga media de 50 mm/año para el acuífero 23, aunque se advierte que hay años con recarga nula y que en 10 de los 30 años analizados la recarga estimada es inferior a 10 mm/año.

En IGME (1981) se calcula la recarga media de los sistemas acuíferos 19, 20, 23 y 24 mediante el método del balance. Se estima una recarga de 35 mm/año para el sistema acuífero de La Mancha de Toledo, 18 mm/año para el sistema acuífero de la Sierra de Altomira, 52 mm/año para el sistema acuífero del Campo de Montiel y 42 mm/año para el sistema acuífero de la Mancha Occidental. En MOPT y MINER (1994) se hace una estimación media también de unos 50 mm/año para el conjunto de los tres acuíferos principales: Mancha Occidental, Montiel y Altomira.

Las estimaciones de la recarga que se han realizado en el Campo de Montiel, dado que es un acuífero kárstico, se han basado fundamentalmente en la aplicación de una serie de coeficientes empíricos de infiltración a los datos de precipitación. De esta forma se ha estimado que la recarga podría ser de unos

87 mm/año, (SGOP, 1988). Montero (1994) estima la recarga media en el Campo de Montiel, analizando datos de aportaciones de ríos y manantiales. Obtiene un valor de 107 mm/año para este acuífero.

Más recientemente, dentro del proyecto europeo EFEDA, se ha estimado la recarga por diferentes procedimientos en tres parcelas experimentales, dos de ellas localizadas en la cuenca del Guadiana, ver Figura 1 (Belmonte y Tomelloso), y otra (Barrax) en las proximidades de la misma y en condiciones climáticas y geológicas muy similares. Los valores obtenidos pueden consultarse en Cruces et al. (1998). Los resultados obtenidos muestran que la recarga varía mucho en el espacio y en el tiempo, y podría estar comprendida entre un valor negativo de 10 mm/año y más de 200 mm/año. Se realizaron medidas directas de recarga en la zona de Barrax durante el período 1993 –1995 utilizando tensiómetros profundos (hasta 10 metros de profundidad), tensiómetros transductores y bloques de yeso. Detalles del trabajo realizado y de la metodología utilizada pueden consultarse en Casado (1996) y Casado et al. (1997). Se estimaron unos valores de recarga para la zona de estudio (Barrax) que oscilan entre los 40 y 90 mm/año en una parcela de regadío, mientras que los valores obtenidos para la recarga en una parcela de secano oscilarían entre 10 y 20 mm/año. Hay que tener en cuenta que las medidas fueron tomadas durante un período especialmente seco.

Cruces, en Llamas et al. (1996a), ha realizado una serie de estimaciones de la recarga mediante un modelo digital unidimensional de flujo no saturado (REM: Recharge EFEDA Model) con diferentes hipótesis de condiciones ambientales y de contorno. El modelo utiliza datos de suelos obtenidos de las parcelas de Barrax y especialmente de un sondeo de 12 m de profundidad. Los valores obtenidos pueden verse en Cruces et al. (1997a). Como principal conclusión puede señalarse la gran variabilidad de la misma, con valores que oscilan entre un valor negativo de 10 mm/año y 220 mm/año. Asimismo hay que resaltar el hecho de que los años secos afectan proporcionalmente más a la recarga que los años húmedos. Esto también ha sido

puesto claramente de manifiesto por el modelo, al simular una serie real de quince años. Los valores obtenidos han sido siempre menores que los obtenidos simulando una serie de años medios hasta alcanzar la estabilización. La recarga con la serie real es un 70–80 % de la obtenida con año medio, cuando se supone drenaje libre en el fondo de la columna (superficie libre suficientemente profunda), y un 30–40% cuando existe una superficie libre en el fondo del perfil (como el caso simulado en Barrax). Igualmente la existencia de una superficie freática incluso relativamente profunda, puede afectar mucho al comportamiento del proceso, así como la distribución e intensidad de las lluvias a lo largo del año.

Funcionamiento del sistema hidrogeológico: modelo conceptual

Aunque el sistema acuífero número 23 (U.H.04.04) ha sido uno de los más estudiados en España en los últimos años, aún queda mucha incertidumbre en cuanto al conocimiento de sus características, incluyendo propiedades físicas e hidrológicas como sus mismos límites, espesor y permeabilidad de los materiales permeables, recarga natural y la distribución espacial de todas ellas. El comportamiento del acuífero es complicado por las interacciones con los acuíferos limítrofes (U.H. 04.01 y 04.06) y la existencia de un borde abierto con la cuenca del Júcar. Parte de la información acumulada en los últimos años se refiere a zonas locales, como Las Tablas de Daimiel, aunque con repercusión para el resto de la cuenca, ya que estas últimas constituyen la salida natural de descarga del acuífero. No existe hasta el presente ningún estudio global que incluya todos los sistemas implicados y sus interacciones. Un primer intento ha sido recientemente realizado por el equipo firmante dentro del proyecto EFEDA II, financiado por la Unión Europea, y ha sido continuado por otro proyecto también de la UE, el GRAPES, recientemente finalizado. A pesar de ello, los principales aspectos de los mecanismos de flujo del acuífero sí parecen claramente establecidos. En régimen natural el sistema acuífero número 23 puede ser descrito como un

gran embalse subterráneo cerrado por materiales impermeables en su extremo sudoeste. El afloramiento del zócalo rocoso en la zona de El Vicario cierra el paso a las aguas que circulan por el acuífero forzándolas a aflorar en los lugares topográficamente más bajos, donde la superficie freática corta a la topográfica, en forma de manantiales kársticos, lagunas y humedales, como los ya mencionados (SGOP, 1989). La recarga natural del acuífero procede de la lluvia, otros acuíferos con niveles más altos y pérdidas de los ríos. Todas estas cifras son difíciles de medir o estimar y son susceptibles de grandes errores, como se puede observar en las diferentes cifras dadas a lo largo de los años, incluso por el mismo organismo.

Las pérdidas del sistema por evapotranspiración son muy difíciles de calcular dada la gran variabilidad de zonas encharcadas a lo largo del año y la ausencia de medidas directas de evapotranspiración. Desde nuestro punto de vista la mayoría de los cálculos parecen subestimar su valor. En la Figura 4 puede verse un perfil longitudinal del acuífero 23, desde las zonas de descarga en el SO a las de recarga en el NE. La superficie libre dibujada para 1972 puede representar aproximadamente el estado natural del sistema. Los ríos cuyo cauce quedaba por encima del nivel freático solían infiltrarse, como el Guadiana Alto y el Azuer, mientras que donde la superficie freática corta a la topográfica se producen manantiales como los señalados en los Ojos del Guadiana y al oeste de Villarrobledo. En general, el nivel freático solía estar bastante profundo en la mayoría de la zona, lo que causaba el aspecto normalmente seco de los campos de la Mancha, dedicados a cultivos de secano. Las únicas excepciones eran los lugares topográficamente más bajos, donde las aguas superficiales o las subterráneas, o ambas, permitían mantener zonas encharcadas permanentes o estacionales. La descarga principal del acuífero se producía bien de forma concentrada en los Ojos del Guadiana y en las Tablas de Daimiel, o distribuida a lo largo de los cauces de los ríos y zonas húmedas.

El relieve muy llano permite que el acuífero y las zonas húmedas conectadas actúen como un *mecanismo natural de autorregulación*. Además de la capacidad de regulación como embalse plurianual y el correspondiente efecto de retardo respecto a las

precipitaciones, la gran variabilidad de la extensión de las zonas encharcadas permitía al acuífero una descarga natural por evapotranspiración muy variable de unos años a otros, según la posición relativa de los niveles en el acuífero y en las zonas húmedas. Por ejemplo, Las Tablas podían tener una extensión que variaba habitualmente entre 1.000 y 2.000 ha. El mínimo valor registrado fue en diciembre de 1990 con sólo 75 ha, si bien no en condiciones naturales. Un período húmedo de varios años producía una subida de los niveles freáticos en el acuífero, incrementando el flujo de base a los ríos y la extensión del área inundada y por consiguiente la evapotranspiración. La conjunción de estos efectos contribuía a mantener los niveles del acuífero próximos a sus valores medios. Por el contrario, una serie de años secos producía el efecto inverso. La reducción de zonas inundadas le permitía al acuífero disminuir sus pérdidas, y el descenso de los niveles freáticos también reducía la aportación a los ríos, favoreciendo la infiltración de los mismos en aquellos tramos que quedaban descolgados. En conjunto, la reducción de pérdidas permitía al acuífero mantener sus niveles, al mismo tiempo que sus aportaciones a la mayoría de lagunas y zonas húmedas.

Funcionamiento del sistema hidrogeológico: modelos numéricos

El modelo *EFEDA*

Para tratar de reproducir el funcionamiento hidrológico descrito en el apartado anterior, se llevó a cabo un modelo numérico bidimensional de una sola capa de todos los sistemas acuíferos incluidos en la cuenca alta del Guadiana. El principal objetivo de un modelo de estas características es tratar de obtener a grandes rasgos el balance hídrico del sistema, más que intentar reproducir de cerca la evolución de niveles en cada punto. Una vez correctamente calibrado, el modelo puede suministrar información importante sobre la previsible evolución de niveles regionales, volúmenes desembalsados, caudales aportados o recibidos por los ríos, teniendo en cuenta las diferentes estrategias de

explotación planteadas. Para la realización del modelo se eligió un programa conocido y aceptado universalmente, el MODFLOW, como software básico de cálculo numérico, así como el programa de pre y postprocesado, PROCESSING MODFLOW for WINDOWS (PM-WIN). MODFLOW es un programa de cálculo de flujo de agua subterránea en diferencias finitas que incluye un módulo de relaciones acuífero-río, el *STREAM package*, que permite realizar un seguimiento del balance hídrico en el río, tramo por tramo y celda a celda, lo que es especialmente importante en un caso como la cuenca alta del Guadiana, donde las interrelaciones entre las aguas superficiales y subterráneas juegan un papel primordial. Una limitación a tener en cuenta en la interpretación de los resultados del modelo y su comparación con los datos de aforos, es que el modelo únicamente puede considerar el agua que circula por los acuíferos, por lo que los resultados obtenidos están en relación con los caudales de base de los ríos, una vez descontada la escorrentía superficial, lo que a veces no es fácil de estimar.

El modelo incluye los principales sistemas acuíferos de la cuenca (números 19, 20, 23 y 24 en la nomenclatura antigua ó 04.01, 04.02, 04.03, 04.04 y 04.06 en la nueva).

En la actualidad se acaba de terminar dentro del proyecto GRAPES otro modelo más detallado (celdas de 2.5 x 2.5 km², en lugar de 5 x 5 km² y tres capas en las zonas donde existen). Los principales resultados del modelo EFEDA pueden consultarse en Cruces et al. (1997a) y Cruces et al. (1998).

El modelo *GRAPES*

Partiendo del modelo EFEDA, se ha mejorado la definición geométrica en el acuífero de la Mancha Occidental (U.H.04.04) con los datos obtenidos por J.M. Esnaola para su tesis doctoral utilizando los datos de más de 1000 columnas de sondeo (pendiente de terminación, comunicación personal). En general coinciden de manera aceptable con los datos usados en el modelo EFEDA.

Diseño de la malla

Dadas las dimensiones de la cuenca a modelar, la elección del tamaño de malla es crítico, dado que es necesario disminuirlo tanto como sea posible para mejorar la precisión y convergencia del modelo, sin dar lugar a un número excesivo de celdas que harían el modelo poco manejable, aparte de no guardar relación con la escasez de datos existente. Finalmente se decidió usar una malla con celdas cuadradas de 2.5 km de lado, que permite utilizar fácilmente los datos ya recopilados en el modelo anterior (cada celda se divide en cuatro). El tamaño del modelo se ha incrementado también para cubrir todas la zonas incluidas en la divisoria de aguas superficiales, en coordinación con otros grupos de trabajo del proyecto, aunque lógicamente la superficie de acuíferos siga siendo la misma. El modelo definitivo cuenta con 76 x 76 celdas de las que son activas en la primera capa unas 1.800.

Representación numérica del modelo conceptual de la cuenca alta del Guadiana

La intención inicial consistía en desarrollar un modelo de tres capas, atendiendo a la geología de la zona. La capa superior representaría los acuíferos libres del Terciario superior. La segunda capa podría representar las capas semipermeables del Terciario medio e inferior y del Cretácico, que separa las formaciones acuíferas anteriores de las calizas y dolomías del Jurásico de gran permeabilidad (ver Figura 8A).

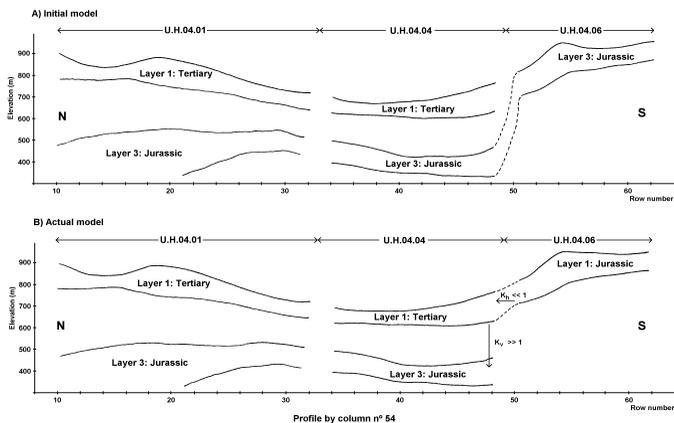


Figura 8. Modelos conceptuales de la cuenca alta del Guadiana. De esta forma la primera capa existiría en la U.H.04.04, así como en el acuífero de Lillo–Quintanar (U.H.04.02) y en el acuífero de Consuegra–Villacañas (U.H.04.03). En el acuífero del Campo de Montiel (U.H.04.06) las calizas jurásicas afloran como acuífero libre, por lo que las capas 1 y 2 no existirían. Las calizas jurásicas se prolongan bajo el acuífero de la Mancha Occidental y vuelven a aflorar en algunos plegamientos en el norte en el acuífero de Altomira (U.H.04.01). Los valles de este último acuífero estarían rellenos de materiales terciarios separados de las calizas jurásicas por materiales semipermeables, que representarían los numerosos acuíferos colgados existentes en el mismo.

Los problemas de convergencia debidos a las grandes diferencias de nivel en celdas adyacentes entre las calizas jurásicas de La Mancha y Montiel, llevaron a modificar la representación de las distintas formaciones en el modelo. Se decidió definir las capas atendiendo más a la topografía que a los materiales geológicos. Así la primera capa será siempre la que está en superficie. En el Campo de Montiel sólo habrá una capa, que representará las calizas jurásicas, así como en las U.H.04.02 y 03, donde en cambio representaría las formaciones terciarias. En La Mancha Occidental la primera capa representará las calizas terciarias y la tercera, las jurásicas. La conexión hidráulica existente entre las calizas jurásicas de Montiel en la primera capa y las de La Mancha (en la tercera) se garantiza con una alta conductancia vertical en la zona de contacto, mientras que el afloramiento de los materiales semipermeables en el contacto entre ambos acuíferos se representa mediante una banda de celdas de baja permeabilidad en la primera capa.

Modelo numérico de la cuenca alta del Guadiana

El modelo EFEDA únicamente permitía representar el agua infiltrada en los acuíferos procedente de la lluvia. El agua drenada por los ríos podía reinfiltrarse aguas abajo, pero la escorrentía directa no se podía tener en cuenta en el modelo. Este

será el denominado esquema de flujo base, ya que sólo tiene en cuenta el agua procedente de los acuíferos. Dada la incertidumbre existente sobre datos históricos y algunas componentes del balance hidráulico, se diseñó una compleja estrategia de calibración.

Estado estacionario y modelos en régimen transitorio

Uno de los problemas con que nos enfrentamos en la cuenca alta del Guadiana es la inexistencia de un régimen natural, no perturbado. Las interferencias humanas en el ciclo del agua con influencia significativa comenzaron en tiempos de los árabes. Las primeras campañas de toma de datos piezométricos con mapas de isopiezas datan de principios de los setenta, cuando ya la extracción de aguas subterráneas era el 25% de la máxima histórica, y del orden de la mitad de la estimación que se tiene de los recursos renovables de la cuenca. La construcción de varias presas para regadío a finales de los cincuenta, complica aún más el problema. La situación previa a estos años puede considerarse como estacionaria (aunque perturbada) con un regadío tradicional con norias (estimado en 40–60 Mm³/año), pero los datos de esta época sobre piezometría son casi inexistentes y de precisión dudosa. En consecuencia se decidió construir los siguientes modelos:

- **Modelo en régimen permanente.** Representaría la situación durante la primera mitad del presente siglo. La única información disponible son datos de aforo en estaciones de cauce natural, y algunos datos aislados de piezometría.
- **Primer transitorio.** Comprendería el período desde octubre 1959 (puesta en servicio de la presa de Peñarroya, utilización de bombas de gasolina, etc.) hasta septiembre 1974. Sus resultados pueden calibrarse

con los primeros datos existentes de piezometría.

- Segundo transitorio. De octubre 1974 a septiembre 1984. Período de calibración en régimen transitorio. Representa el período de puesta en regadío por la iniciativa privada del acuífero de la Mancha Occidental, y comienzan a producirse los primeros efectos ecológicos graves. Al final de este período, los Ojos del Guadiana dejan de manar definitivamente.
- Tercer transitorio. Desde octubre 1984 hasta septiembre 1996. En este período se alcanzan los máximos históricos de bombeo (1988 y 1989), en torno a $600 \text{ Mm}^3/\text{año}$ en la Mancha Occidental. Usado como período de validación.

Modelos de flujo base y de flujo total

La imposibilidad de los modelos de flujo base de tener en cuenta la posible infiltración de la escorrentía superficial, así como la inexistencia de estimación de flujos base en las cuencas parciales (debido a su carácter estacional) nos llevó al diseño de los llamados *modelos de flujo total*. La red fluvial se divide en segmentos usando las estaciones de aforo existentes. El caudal medido en cada estación de aforos se inyecta en cabecera de cada segmento. Al final de cada segmento, el caudal dado por el modelo se compara con el medido en la siguiente estación. La diferencia debe ser justificada por la escorrentía superficial en la subcuenca considerada. El inconveniente es que seguimos sin tener estimaciones en cada subcuenca del reparto entre la escorrentía superficial y el flujo de base. Pero al menos tenemos otro dato independiente que permite controlar el funcionamiento del modelo.

Calibración de la recarga

La recarga es uno de los principales componentes del balance hidráulico, y su valor presenta una de las mayores incertidumbres en la cuenca. El dato principal con que se cuenta para calibrar la recarga total en la cuenca es la estimación realizada por A. Young en Bromley et al. (1996). Al principio se utilizó una recarga estimada a partir de los flujos base como en el modelo EFEDA. Los valores de recarga eran variables año a año pero constantes dentro de cada año hidrológico. Esta hipótesis producía unos caudales que variaban suavemente, no reproduciendo las fuertes variaciones estacionales medidas en las estaciones de aforos (incluso con caudales nulos en algunos meses de verano en El Vicario).

Modelo integrado para la recarga y los caudales

Como consecuencia de los problemas apuntados, se diseñó finalmente una estrategia para utilizar una distribución de recarga tanto espacial como temporalmente obtenida mediante el modelo conceptual distribuido SIMPA (Estrela y Quintas, 1996), realizado por el Centro de Estudios Hidrográficos en el proyecto.

Dado que este modelo se ajusta con los valores de caudales, realmente representa una *recarga neta*, por lo que ésta tiene que ser corregida para tener en cuenta la evaporación que puede producirse en la cuenca antes del punto de aforo, así como la lluvia sobre las zonas húmedas, incluidos los ríos.

El análisis de los datos de aforo en valores mensuales puso de manifiesto la existencia de caudales muy bajos, incluso al final de la cuenca (en El Vicario, ver Figura 9), lo que sugiere que los acuíferos de la cuenca tienen un período de respuesta muy rápido, del orden de meses, lo que obligó a considerar la recarga con una distribución al menos estacional. Con ella el modelo fue capaz de representar los caudales de estiaje extremadamente bajos que se producen en la cuenca.

Dado que no hay estaciones de aforo en todos los cierres de subcuenca, y que los valores de recarga se calibraron con los caudales conocidos, se decidió finalmente utilizar un modelo de

flujo total (dividido en un estacionario y tres transitorios, como se explicó con anterioridad) con los valores de recarga y caudales en los puntos de control (que incluyen todas las estaciones de aforos más las subcuencas que no las tienen) obtenidos por

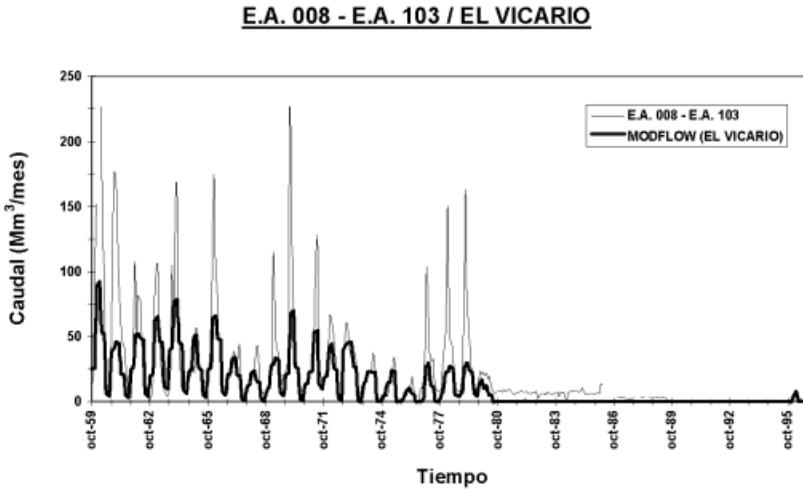


Figura 9. Hidrograma de caudales mensuales en El Vicario

el SIMPA, que al menos son consistentes entre sí. Como excepción fueron utilizadas directamente las medidas de las estaciones de aforo situadas en el interior de la U.H. de la Mancha Occidental, donde el SIMPA no da buenos resultados debido a su incapacidad para representar los flujos subterráneos.

Asimismo las zonas de cabecera de algunos ríos, que suelen estar alimentadas por pequeños acuíferos colgados desconectados del nivel regional y que descargan directamente al río mediante manantiales, se sustituyeron por los caudales obtenidos por el SIMPA. De esta manera el modelo GRAPES permite tener en cuenta los caudales que realmente circulan por los ríos, lo que puede ser muy importante, especialmente en años húme-

dos (como los pasados 1995/1998, probablemente la serie de tres años más húmeda desde 1930).

Resultados del modelo GRAPES

Aunque pendiente de la edición del informe final del proyecto, se pueden adelantar algunas conclusiones obtenidas con los resultados del modelo. Una vez calibrado, se procedió a la realización de una serie de ejecuciones sobre posibles escenarios. Se consideraron unos escenarios de explotación y otros basados en las estimaciones de variabilidad climática realizadas a partir de modelos meteorológicos de circulación general.

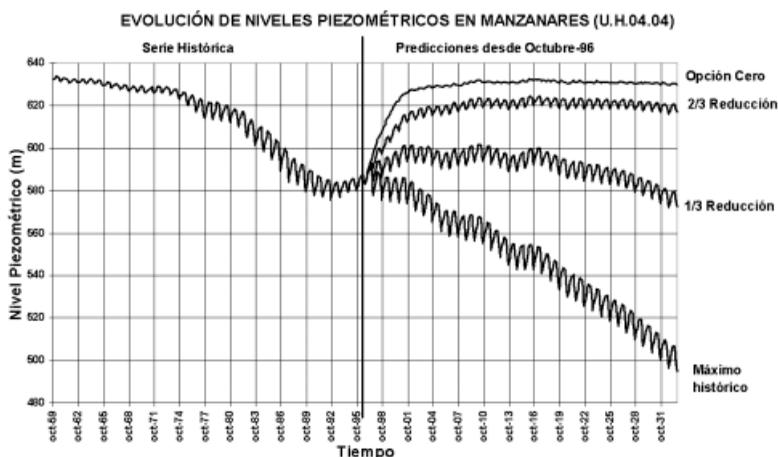


Figura 10. Evolución piezométrica en Manzanares en las diferentes hipótesis de explotación

Se definieron cuatro hipótesis de explotación, en relación con la máxima histórica (unos $600 \text{ Mm}^3/\text{año}$ en el acuífero de la Mancha Occidental): la máxima, una reducción de 1/3, de 2/3 y prohibición de bombear. Asimismo se definieron tres tipos de secuencias climáticas, basadas en datos históricos: una seca correspondiente al período 1984–1996 (12 años), una húmeda (1959–1974, 15 años) y la serie histórica utilizada en el período

de calibración y validación (1959 –1996, 37 años) que en conjunto representa una secuencia media.

El resultado de la evolución de los niveles piezométricos para las diferentes hipótesis de explotación puede verse en la Figura 10. Corresponde a un punto de la zona central del acuífero, al norte de Manzanares. Se presentan los datos correspondientes al esquema de flujo total con la secuencia climática histórica, donde se han añadido para comparación los resultados del período histórico (1959/1996). En todos los casos con los modelos de flujos base y total. A modo de conclusión puede decirse que para bombeos inferiores a un tercio del máximo histórico el sistema tiende a recuperarse, con mayor rapidez obviamente cuanto menor sea el bombeo y más húmeda sea la secuencia climática. A título indicativo, con la secuencia húmeda de los años 60, los Ojos del Guadiana podrían recuperarse en sólo 3 ó 4 años si no se bombease nada.

De hecho, los años hidrológicos 1995/1996 a 1997/1998 han sido muy similares a los 1961/1962 a 1963/1964, con la misma desviación acumulada conjunta sobre la media, con lo que de haberse producido esta circunstancia, podría la zona de los Ojos tener un nivel piezométrico próximo a la superficie. No obstante en los años 60 siguió la época húmeda otros tres años, cosa que no se ha dado en el año 1998.

De igual forma, con bombeos superiores a $2/3$ del máximo, el sistema prosigue el descenso de niveles en cualquier caso, mientras que se mantiene en cotas similares a las actuales para bombeos entre $1/3$ y $2/3$. Los resultados del modelo coinciden con los ascensos medidos en estos años (unos 15 m en la zona de los Ojos del Guadiana) para una explotación entre $1/3$ y $2/3$ de la máxima.

En cuanto a los modelos climáticos, los resultados no parecen indicar modificaciones sustanciales respecto a los descritos, si bien hay que tener en cuenta que existe una gran dispersión en las estimaciones de los diferentes escenarios que se manejan y los modelos aplicados.

LOS HUMEDALES DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA «LA MANCHA HÚMEDA»

La Reserva de la Biosfera de «La Mancha Húmeda» constituye un espacio físico cuyos límites de contorno han sido definidos oficialmente de forma poco precisa (Segura Castro, 1994). Se reconoce como tal una porción del territorio situado dentro de la cuenca alta del río Guadiana formado por 25.000 ha de terrenos encharcados formando lagunas, cuando se trata de zonas inundadas con cubeta y límite de contorno netamente diferenciados, o tablas, cuando se trata de extensas vegas inundadas. Hasta hace relativamente poco tiempo, no se conocía con exactitud el número de humedales, y la estimación de su extensión era meramente orientativa. Recientemente la DGOH (1996) está elaborando un inventario de humedales en base a los datos aportados por inventarios, catálogos, y trabajos previos, y en base al análisis de la información gráfica existente (mapas topográficos y fotografías aéreas). Este trabajo constituye una actualización de la información precedente, muy importante por su carácter compilador, y los resultados que a continuación exponemos proceden en buena parte de esta fuente.

Según los datos de este inventario y considerando que La Mancha Húmeda se integra dentro de los límites de la cuenca alta del río Guadiana drenante al embalse de El Vicario (ver Figura 11), existe un total de 113 humedales inventariados en este área, la mayoría de carácter temporal. Todos ellos tienen en común el encontrarse en una zona de clima semiárido, con precipitaciones inferiores a los 450 mm/año. La alta densidad de humedales que existe en esta cabecera de cuenca hidrográfica –probablemente la más seca de España entre las de su tamaño– obedece a una interrelación aguas superficiales-aguas subterráneas como consecuencia de la abundancia de terrenos acuíferos, que representan un 80–90 % de su superficie, y de su suave relieve. Los humedales de esta Reserva de la Biosfera

presentan características de diversa índole: biológicas, ecológicas, faunísticas, botánicas, etc.

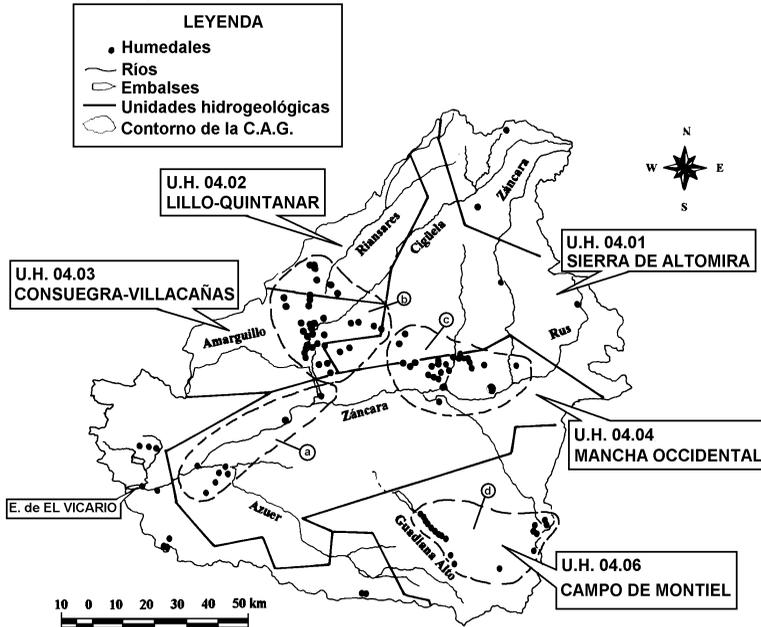


Figura 11. Distribución de humedales de La Mancha Húmeda en la cuenca alta del Guadiana.

Todo parece indicar que los humedales de la cuenca alta del río Guadiana en la primera mitad de siglo no habían sufrido apenas cambios antrópicos (Esparvel, 1995; Basanta Reyes, 1989; Montes, 1995). La superficie inundada en los años sesenta se estima alrededor de las 25.000 ha. Actualmente sólo persisten inundadas unas 7.000 ha, de las que aproximadamente una

quinta parte corresponden al Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel.

Además, una proporción notable de estas 7.000 ha están también en proceso de degradación. Unos humedales se han secado, y otros, o reciben menos entradas de las que recibían en años anteriores, o reciben, con frecuencia, las entradas de agua contaminadas, como el propio Parque Nacional de las Tablas de Daimiel. No todos los humedales han evolucionado del mismo modo. Distintos factores que han intervenido en su dinámica, han provocado un tipo de respuesta diferente.

La ubicación de cada humedal dentro de la cuenca y el tipo de impacto a que se ha visto sometido, son los principales factores que han conducido a los humedales a su situación actual. Durante las dos o tres últimas décadas estas grandes extensiones de encharcados han sufrido grandes cambios cuyas principales causas podríamos catalogar en dos grupos: (1) naturales, por efecto de la secuencia climática seca del periodo 1980–1995; y (2) antrópicas, por efecto de la inadecuada gestión de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, que se ha realizado en este territorio.

Por lo que respecta a las aguas superficiales, la acción negativa principal se debe a las obras de drenaje, rectificación o profundización de los cauces de los ríos Cigüela, Záncara y Guadiana. Estas obras, realizadas en gran parte en las décadas de los sesenta y setenta, tuvieron como objetivo transformar en zonas arables o cultivables las zonas pantanosas de las llanuras de inundación de estos ríos

En cuanto a las aguas subterráneas, su explotación intensiva unida a la sequía llevó a provocar un notable descenso (de hasta 30 – 40 m hasta 1995/1996) de la superficie freática. Este descenso ha alterado notablemente las relaciones naturales entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas. Así, en zonas de descarga de aguas subterráneas, donde los humedales se alimentaban total o significativamente con estos aportes hídricos, este descenso ha supuesto la degradación o incluso la desecación total de los humedales. En algunas zonas en que

había turbas, éstas, al desecarse, han sufrido una combustión espontánea llegando a ser irreparablemente destruidas.

PRINCIPALES ACTUACIONES ANTRÓPICAS CON INFLUENCIA HIDROLÓGICA Y ECOLÓGICA

El hombre ha actuado siempre sobre la naturaleza de modo que salvo en la Antártida y en pocos sitios más, puede decirse que todos los paisajes han sido humanizados o cultivados por el hombre. Un ejemplo típico son las dehesas de Castilla-La Mancha y de Extremadura, hoy considerados paisajes típicos y que, sin duda, han sido *fabricados* por el hombre. La actuación del hombre supone siempre, en mayor o menor medida, una alteración del medio natural. Desde la segunda mitad de este siglo, el influjo en el medio natural o físico del hombre a través de la nueva tecnología ha cambiado, por decirlo así, al menos en un orden de magnitud.

En este apartado vamos a describir, también de modo breve, las principales actuaciones antrópicas, especialmente en cuanto han afectado a la hidrología y a la ecología de la cuenca alta del río Guadiana. Las acciones que parecen haber tenido más influencia en las profundas modificaciones que ha sufrido la hidrología general de la cuenca alta del Guadiana, se detallan a continuación, para poder entender las consecuencias que se han derivado de estos cambios.

Cambios en el uso de la tierra

Sin duda, el cambio más importante producido en las dos o tres últimas décadas ha sido el aumento espectacular de los cultivos de regadío. A principios de siglo se regaban unas diez o veinte mil hectáreas, que se localizaban fundamentalmente en las zonas de descarga del sistema acuífero de la Mancha Occidental y, principalmente, en las proximidades de Daimiel.

A partir de los años setenta (Viladomiu y Rosell, 1996; Morgan y Kaule, 1995) se inicia la gran transformación en regadíos.

En 1989 eran al menos regadas 130.000 hectáreas, de las cuales, más del 90 % se localizaban sobre el sistema acuífero de la Mancha Occidental. Hoy en día las hectáreas regadas parecen haber disminuido debido a las subvenciones que la Unión Europea establece para no regar.

Pero dicha disminución podría ser más aparente que real, ya que el número de hectáreas que realmente son regadas en la actualidad podría verse falseado por el fraude por parte de algunos regantes. La superficie *ilegal* regada puede ser muy alta, del orden de 50.000 ha.

Extracciones de aguas subterráneas

Estas extracciones son claramente las principales causantes de las profundas modificaciones que ha sufrido la hidrología de la cuenca alta del Guadiana. La explotación de los acuíferos de la cuenca en los dos últimos decenios ha supuesto una alteración del balance hídrico de tal magnitud que es prácticamente imposible de la situación actual deducir cuál era la situación inicial.

Los balances más antiguos conocidos corresponden al período 66 -76 (SGOP, 1979), con una estimación de bombeos de 150 Mm³/año, lo que supone casi la mitad de los recursos anuales renovables.

Difícilmente puede considerarse este estado como no perturbado. En la Figura 12 puede verse la evolución de las extracciones de aguas subterráneas con destino al regadío en el acuífero de la Llanura Manchega, según diferentes autores. Los datos procedentes de unas y otras fuentes son relativamente parecidos pero, lógicamente, no coinciden.

La máxima extracción se registra alrededor del año 1988 con unos 600 Mm³. Las extracciones han decrecido a partir de esa fecha como consecuencia de la declaración de sobreexplotación de los acuíferos 23 y 24, y de la reducción voluntaria de caudales extraídos por parte de los usuarios, al acogerse al Plan de Compensación de Rentas.

Se han representado también las previsiones realizadas en SGOP (1978) para el año 2000. Obsérvese como fueron ya superadas en el año 87. Si bien las reducciones, al menos las oficiales, de los últimos años son significativas, el estado actual de algunos acuíferos y la cuantía de las extracciones no permiten ser optimistas respecto a una recuperación de los mismos hasta niveles próximos a su estado natural.

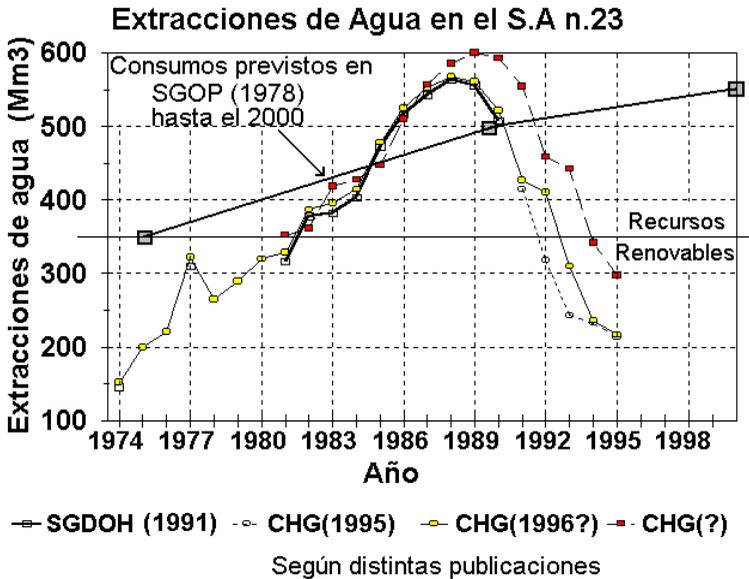


Figura 12. Extracciones en el sistema acuífero de la Mancha Occidental, según diversos autores. Se muestran también la previsión de extracciones según SGOP(1978), y los recursos renovables medios.

Las estimaciones sobre consumo de reservas desde 1974 hasta 1995 ascienden a más de 3.000 Mm³. La explotación en los restantes sistemas acuíferos es mucho menor, aunque con tendencia a aumentar.

Canalización de ríos y construcción de embalses

Otra actuación típica de la ingeniería hidráulica que puede afectar a la hidrología de una cuenca es la construcción de presas para la creación de embalses con diversos fines (regulación, regadío, abastecimiento, producción de energía)

En la cuenca alta del Guadiana existen en la actualidad cinco presas: la de Peñarroya (1959; 47,5 Mm³) en el Guadiana Alto; Gasset (1957; 42,5 Mm³) en el arroyo de los Molinos (afluente del río Bañuelos); El Vicario (1985; 31,7 Mm³), en el Guadiana, cerrando la cuenca alta; Vallehermoso (1990; 6,9 Mm³) en la cabecera del Azuer, dedicadas al suministro de sus respectivas zonas regables; y Puente Navarro que tiene como única misión cerrar Las Tablas de Daimiel para incrementar el encharcamiento. La mayor parte de los embalses (excepto Peñarroya) se encuentran al final de la cuenca, por lo que sólo pueden influir localmente en la hidrología de sus respectivas zonas. De hecho la cuenca alta del Guadiana no ha tenido que ser prácticamente regulada, dada la propia regulación natural que sus sistemas acuíferos y zonas encharcables proporcionan.

IMPACTOS PRODUCIDOS POR LAS ACTUACIONES ANTRÓPICAS

Las actuaciones del hombre brevemente descritas hasta aquí y especialmente el incremento de las extracciones de aguas subterráneas, han producido una profunda modificación en la hidrología de la cuenca alta del río Guadiana hasta el embalse de El Vicario. Se podrían resumir de la siguiente forma:

Alteración grave en los caudales circulantes por la

cuenca

Prácticamente todos los caudales tanto de aguas superficiales como subterráneas se han visto afectados por las actuaciones llevadas a cabo en las últimas décadas. Una de las modificaciones más visibles actualmente en la hidrología general de la zona es la progresiva reducción de los caudales de aguas superficiales, llegando en muchos casos a su desaparición. El caso más llamativo es el del río Guadiana en su tramo alto, como consecuencia en primer lugar de la construcción del embalse de Peñarroya. Aunque los regadíos que se abastecen con las aguas de este embalse tienen relativamente poca importancia (unas 7.000 ha que están casi en su totalidad en la zona de Argamasilla de Alba), suponen casi el 70% del caudal del tramo superior del río Guadiana que antes iba a infiltrarse en el sistema acuífero número 23 para reaparecer después en los Ojos del Guadiana.

En 1983 los Ojos del Guadiana dejaron de manar y en la actualidad son un campo de cultivo. El Záncara, que era otro de los principales contribuyentes a las Tablas, está prácticamente seco durante gran parte del año. En verano sus aguas no llegan siquiera hasta El Provencio, en el sistema acuífero número 23, como consecuencia de las extracciones en su cuenca alta. El Cigüela apenas lleva agua salvo después de las tormentas y cuando se descarga del A.T.S.

La descarga de aguas superficiales a partir de las Tablas es nula. La presa de Puente Navarro, construida para retener las aguas de las Tablas, no se había llenado desde su construcción, hasta que en 1997 dos años consecutivos de fuertes lluvias permitieron la recuperación de unos ciertos caudales (vertiendo unos 80 Mm³). Con anterioridad sólo se habían vertido caudales por ella para desaguar las Tablas de aguas contaminadas. El embalse de El Vicario únicamente recoge las aguas del arroyo Bañuelos y otros pequeños arroyos. Cabe señalar que entre 1931 y 1971 la aportación media de toda la cuenca en El Vicario era de unos 400 Mm³/año. Esta cantidad se redujo a cero prácticamente a mediados de la década de los años 90.

Las aportaciones subterráneas del acuífero número 23 a los ríos del sistema en las condiciones existentes a principios de los años setenta, han sido estimadas, por medio de un modelo, en unos 130 Mm³/año. La escorrentía subterránea a los ríos no sólo ha desaparecido, sino que ahora se ha invertido el esquema de funcionamiento. Los ríos y Las Tablas contribuyen ahora a la recarga del acuífero. Además, otra fuente de recarga son ahora los retornos del regadío, que se han estimado en un 10% y 25% para los riegos por aspersión y a pie respectivamente. La hidrología superficial y subterránea han quedado profundamente alteradas.

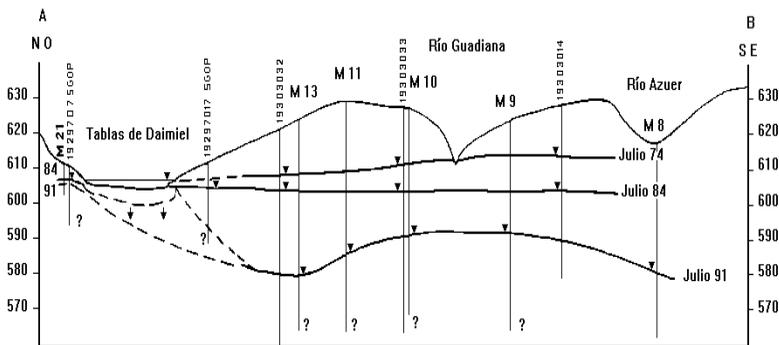
Los inviernos de los años hidrológicos 1995/1996 y 1996/1997, fueron especialmente húmedos, lo que ha permitido observar por primera vez desde el inicio de la explotación masiva de aguas subterráneas el fenómeno de la recarga indirecta de los acuíferos a través de los cauces de los ríos. La CHG ha realizado algunos estudios para tratar de cuantificar esta recarga, pero de momento sus resultados no han sido publicados. Únicamente tenemos noticia de unas declaraciones del presidente de la Confederación en *Las Tablas de Daimiel*, (septiembre de 1997), donde estima en 800 Mm³ la recarga recibida por el sistema acuífero número 23, pero no se indica cómo se ha obtenido dicha cifra ni a qué período corresponde. Asimismo, aprovechando el llenado de las Tablas, se han realizado algunas actuaciones para favorecer dicha recarga, como la apertura de la presa de Molemocho para que las aguas procedentes de las Tablas volvieran a inundar la zona de Los Ojos, aunque no llegaron hasta la confluencia con el río Azuer. También se ha realizado alguna experiencia piloto de recarga artificial, como la construcción de varios pozos de recarga cerca de Argamasilla, aunque no se han podido conocer sus resultados. Sería muy interesante poder aprovechar todos los datos recopilados durante estos años húmedos para poder estudiar con detalle este fenómeno, ya que no es habitual en la hidrología de la zona contar con una secuencia de estas características, que probablemente no se repita en muchos años.

Este interés es mayor si tenemos en cuenta que los últimos estudios realizados apuntan cada vez más a que esta recarga

indirecta en años húmedos puede tener una importancia comparable al de la recarga directa difusa, con la consiguiente repercusión en la estimación de los recursos renovables de la cuenca.

Desconexión acuífero – aguas superficiales

Una de las características esenciales del sistema acuífero-río en la mayor parte de los tramos de río en la cuenca, era su conexión hidráulica con el acuífero, determinante del particular funcionamiento de todo el sistema y de la aparición de las zonas húmedas que dan nombre a la región.



[Modificado de M. García y M.R. Llamas, 1.992]

Figura 13. Perfil transversal a Las Tablas de Daimiel, mostrando el descenso de nivel piezométrico entre 1972 y 1992.

En estos momentos puede afirmarse que la mayoría de los ríos y humedales se encuentran descolgados del acuífero principal, excepto quizá en las zonas de cabecera y en el sistema acuífero número 24. Al final del período seco (año 1995/1996) teníamos descensos medios del nivel freático de 20-30 m, alcanzándose en algunas zonas 40-50 m. Los descensos fueron de 1-2 m/año, produciendo la progresiva desecación de los pozos menos profundos o que se encuentran en los bordes del acuífero. En la

Figura 13 puede verse un perfil en la zona de las Tablas (García y Llamas, 1992) donde queda claramente de manifiesto la desconexión entre el acuífero y las Tablas en dicha fecha. En la actualidad Las Tablas constituyen una gigantesca balsa de recarga.

Modificación del esquema de flujo

El esquema natural de flujo en el acuífero 23 se ha invertido como consecuencia del descenso de niveles piezométricos producido por los intensos bombeos, de forma muy especial en la zona central del acuífero. Las direcciones de flujo se producían, antes de dichos bombeos, desde las zonas de recarga en el nordeste de la cuenca a las de descarga en el sudoeste. El flujo en la actualidad se encuentra condicionado por los conos de bombeo, dirigiéndose hacia la parte central del acuífero desde todos sus conornos. Ver las Figuras 5 y 6.

Cambios en la posición de las zonas de descarga

Actualmente la única salida del acuífero es a través de los bombeos. Las zonas tradicionales de descarga al final de la cuenca han sido sustituidas por los campos de cultivo en regadío localizados en su mayor parte en la zona central del acuífero 23. Por otra parte, la descarga que en régimen natural estaba concentrada en algunos puntos, está ahora distribuida en más de 130.000 ha y se produce con preferencia en los meses más cálidos y en los años más secos.

Incremento de los recursos naturales renovables como consecuencia de la desecación de los humedales

Tal como se ha visto en apartados anteriores, una de las principales salidas del sistema en régimen natural la constituyen las pérdidas por evaporación y evapotranspiración en ríos y zonas húmedas.

Uno de los efectos del descenso de los niveles freáticos es la progresiva desconexión del acuífero en estas zonas, con lo que se van reduciendo al mismo tiempo dichas pérdidas. Según los datos suministrados por el modelo, de los casi 200 Mm³/año que se evapotranspiraban en toda la cuenca alta desde los acuíferos en régimen no perturbado, se habría pasado, con las mismas hipótesis de evapotranspiración potencial máxima y profundidad de extinción, a unos 25-30 Mm³/año, que corresponderían al valor estimado en la ejecución de predicción (1995-2010). Esta última cifra corresponde en su mayoría a las Lagunas de Ruidera. Desde este punto de vista y de forma todavía preliminar, se puede decir que se estarían ahorrando del orden de unos 150 Mm³/año como consecuencia de la eliminación de pérdidas en los humedales.

Parte de la recarga natural que, al existir los humedales, pasaba a formar parte de la escorrentía superficial, pasaría ahora a incrementar la recarga. No obstante, sí parece claro que, si bien no toda la evapotranspiración evitada en los humedales es un ahorro neto, sí que lo sería en su mayor parte.

A lo largo de las líneas precedentes se ha puesto de manifiesto la problemática de los acuíferos manchegos. Mientras que la principal causa de la degradación del acuífero 23, han sido las extracciones que para riego se efectuaron fundamentalmente a lo largo de las tres décadas de los años 70, 80 y 90, la crítica situación que han mostrado las Lagunas de Ruidera, en el sistema acuífero número 24 parece haber sido el intenso período de sequía que se registró desde finales de los años 80 hasta 1995. Prueba de ello la rápida recuperación que han registrado las lagunas después de las lluvias de 1995/1996 y 1996/1997.

Impactos ecológicos en los humedales de «La Mancha Húmeda»

Según el inventario de la DGOH (1996) hacia 1970 existían en la cuenca alta del Guadiana un total de 113 humedales, de los cuales perviven aún 79 con una superficie húmeda de 6.998

ha. La superficie húmeda desaparecida se estima en 10.022 ha, en un periodo de tiempo discutible, pues los autores del citado inventario parecen atribuirlo a 200 años (Montes, 1995) pero la documentación utilizada (mapas topográficos y fotografías aéreas) corresponden a un periodo no superior a treinta años.

Principales causas de la desaparición y degradación de los humedales.

1. Alteraciones en el régimen hidrológico.
 - sobreexplotación de acuíferos.
 - canalizaciones de los cauces fluviales.

- 2 . Alteraciones de las cubetas.
 - desecación.
 - colmatación.

3. Alteración de la calidad de las aguas.
 - vertidos de residuos líquidos.
 - vertidos de residuos industriales.

Esta desaparición obedece a diversas causas de carácter antrópico relacionadas con la gestión de los recursos hídricos en la cuenca (Llamas et al., 1996b) entre las que resultan más destacables las arriba expuestas.

Impactos antrópicos en los humedales y situación hidrológica actual.

El descenso del nivel freático en el acuífero de la Mancha Occidental (U.H.04.04), ha provocado la desaparición de casi todos los humedales situados sobre él; casi el único representante que pervive, el humedal del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, se comporta como una gigantesca balsa de recarga artificial, que es inundada por las aportaciones del río Cigüela en las secuencias húmedas o por los caudales derivados

artificialmente del trasvase Tajo–Segura desde 1988, en algunos años secos.

Los humedales del borde nororiental de este acuífero (ver Figura 11), situados en torno a la confluencia de los ríos Saona–Záncara, se encuentran en una situación relativamente similar aunque no tan grave, pues están también afectados por el descenso del nivel freático debido a los bombeos en la U.H.04.04.

Sin embargo, no todos los humedales están sometidos a los mismos impactos. Por ejemplo, algunos humedales del Campo de Montiel (U.H.04.06) se secaron durante la secuencia climática seca o vieron muy reducida su extensión en los últimos 15 años (1980–1995). Este hecho fue erróneamente atribuido por algunos a la *sobreexplotación* de la U.H. 04.06. Algunos advirtieron (Llamas, 1992) que esto era poco probable, ya que se trataba de uno de los acuíferos menos explotados de España y que la declaración legal de *sobreexplotación* de la U.H. 04.06 (2.500 km²) no tenía justificación técnica.

El tiempo parece haber dado la razón a esta hipótesis. Bastó un año con precipitaciones algo superiores a la media (1995/96) para que todas las Lagunas de Ruidera hayan vuelto a su situación primitiva (Llamas et al., 1996b). Los humedales localizados sobre las U.H.04.02 (Lillo–Quintanar) y 04.03 (Consuegra–Villacañas) están situados en zonas con aguas subterráneas salobres, no aptas para regadío. Sin embargo, estos humedales se han visto dañados por otras acciones. La más destacada ha sido la *limpieza* del río Cigüela, durante los años 1986–1988 con motivo del trasvase de aguas del Tajo en el mal denominado Plan de Regeneración Hídrica de las Tablas de Daimiel.

Esta *limpieza* supuso la profundización y rectificación de gran parte del cauce del río Cigüela a lo largo de unos 150 km. Esa profundización del cauce ha perjudicado seriamente el funcionamiento natural de los humedales ribereños, al producir un descenso del nivel freático del orden de un metro en el acuífero colindante al río.

Además, la actuación posterior de la Confederación Hidrográfica del Guadiana también ha perjudicado el funcionamiento ecológico de estos humedales ribereños. En efecto, con el fin de facilitar que todo el volumen de agua derivada del Tajo alcan-

zase las Tablas de Daimiel, se cerraron casi todas las tomas de agua de estos humedales ribereños aguas arriba de las Tablas de Daimiel (no sin crear problemas sociales en algunos pueblos ribereños como Villafranca de los Caballeros), impidiendo su inundación. La recuperación de este tipo de humedal parece factible sin grandes problemas (Hera et al.,1995)

Influencia de los trasvases del acueducto Tajo-Segura (ATS) en los humedales del Alto Guadiana

El recorrido del agua trasvasada por el ATS hasta las Tablas es de unos 150 km. En el tramo medio de dicho recorrido, en la confluencia del Cigüela y Riansares, existen del orden de una treintena de lagunas, unas ribereñas y otras endorreicas, con análoga importancia ecológica, y con una superficie conjunta superior a las Tablas de Daimiel. Entre las ubicadas en la llanura de inundación del río Cigüela, cabe mencionar: El Masegar, Molino del Abogado, El Vadancho, Pastrana, y otras que ya no existen como Arroyo Morón, Casa de la Dehesilla. Casi todas estas lagunas están situadas sobre formaciones geológicas de reducida permeabilidad y carácter salobre. Esto hace que los bombeos para regadío sean reducidos pues los pozos dan en general poca agua y de mala calidad. Como consecuencia de ello, el nivel freático no ha bajado más de 2-3 m bajo el fondo de los valles durante los pasados años de sequía.

La degradación sufrida por estos humedales comenzó ya en los años setenta, cuando el IRYDA inició la canalización de los ríos Cigüela, Záncara y Guadiana. Con la idea de transformar en zonas cultivables las zonas pantanosas a lo largo de estos ríos, reprofundizó algunos tramos de los cauces. Así en 1981 desapareció ya Arroyo Morón, un humedal de 900 ha, extensión superior a la mitad de las Tablas de Daimiel, ubicado en la margen izquierda del Cigüela. La aprobación en 1987 del Plan de Regeneración Hídrica de las Tablas de Daimiel, ha provocado que este tipo de degradación se haya acentuado, al realizar nuevas operaciones de acondicionamiento o limpieza del cauce del río con la excusa de facilitar la llegada de las aguas del ATS

a las Tablas de Daimiel. Estas operaciones han contribuido a desecar estos humedales ribereños, pues la profundización del cauce (del orden de 1 ó 2 m) no sólo ha conducido a un descenso del nivel freático del acuífero colindante al río, sino que dificulta la entrada del agua del río, excepto en los caudales elevados del río. Esta acción, repetimos, acentuó los efectos de la sequía en todo el conjunto de humedales ribereños del Cigüela.

Además hay que hacer notar que la recuperación que ha supuesto para las Tablas de Daimiel el trasvase del ATS es muy cuestionable desde el punto de vista hidrológico. Todavía no se ha realizado un estudio adecuado, ni hidrológico ni ecológico, de lo que ha supuesto el Plan de Regeneración Hídrica del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel.

CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES

De todo lo anteriormente expuesto, pensamos que se puede llegar a una serie de consideraciones o conclusiones (propuestas en Cruces et al., 1998) que en gran parte ya se habían expuesto en otros trabajos anteriores (Llamas et al., 1996b; Cruces et al., 1997b), y que reiteramos ahora.

Primera: Importancia del caso

El problema del desarrollo sostenible de la agricultura y del medio ambiente en la cuenca del Alto Guadiana constituye un paradigma cuyo análisis profundo tiene notable interés tecnológico, económico y social; esto no sólo en ámbito nacional, sino también europeo y mundial.

Esta importancia se debe tanto a la relativamente elevada extensión de la zona (16.000 km²), como a la elevada población a la que afecta (casi medio millón de personas), y a la cuantía de las subvenciones nacionales y comunitarias otorgadas para resolver el problema (superior a 20.000 millones de pesetas en los últimos cinco o seis años).

Segunda: Incertidumbres sobre los recursos de agua renovables

y sus causas

Los datos disponibles hasta la fecha –especialmente la falta de una red adecuada de control piezométrico– no permiten conocer con aproximación aceptable la cuantía de los recursos hídricos renovables. En nuestra opinión, es probable que en condiciones casi naturales oscilen entre menos de unos 200 Mm³/año durante las secuencias climáticas secas y algo más de unos 500 Mm³/año durante las secuencias climáticas húmedas. La causa de esta notable incertidumbre se debe por una parte a la intrínseca dificultad de conocer bien la recarga de los acuíferos en los climas semiáridos; por otra, insistimos, a la notable pobreza de los datos disponibles. Como ejemplo volvemos a recordar que no existe ni siquiera un sólo limnógrafo en los 5.500 km² de la Llanura Manchega Occidental. A esta carencia de datos básicos se une la escasez, casi absoluta, de personas con experiencia y conocimientos hidrogeológicos tanto en la Administración hidráulica como en la agrícola y en las CUAS. Es importante hacer notar que la extracción de las aguas subterráneas para regadío ha producido sensibles cambios en el ciclo hidrológico de la cuenca. En resumen, esos cambios han producido un aumento del agua utilizable para el riego que probablemente oscila de 100 a 200 Mm³/año. Este aumento se debe a la desecación de los humedales ubicados sobre la Llanura Manchega y, por tanto, tiene un coste ecológico: la degradación de dichos humedales.

Tercera: Las posibilidades de aprovechar el acuífero mesozoico ubicado bajo la Llanura Manchega

Los datos, todavía poco completos, parecen indicar que en la mayor parte de la Llanura Manchega Occidental se encuentran debajo del acuífero terciario continental los acuíferos mesozoicos que afloran tanto en el Campo de Montiel como en la Sierra de Altomira y en otros lugares de la cuenca. La captación de las aguas subterráneas de estos acuíferos mesozoicos exigiría la perforación de pozos profundos, pero perfectamente asequibles (probablemente sean suficientes pozos de 200 a 400 m de profundidad, análogos a los que se han perforado en la Llanura Manche-

ga Oriental). Esas aguas subterráneas son principalmente recargadas en los afloramientos del Mesozoico y no constituyen recursos renovables nuevos; no obstante, podrían constituir un notable volante de inercia durante las secuencias climáticas secas, que permitieran mantener el regadío en los sitios en que se agotara el acuífero terciario superior. De todas formas, este tema exige un estudio más completo antes de ponerlo en práctica.

Cuarta: La necesaria reconversión agrícola

En principio, lo razonable es que un desarrollo agrícola sostenible se adapte a un uso medio de las aguas que no sea superior a los recursos renovables. Como ya se ha dicho, estos recursos medios renovables en condiciones naturales oscilaban entre algo menos de 200 y algo más de 500 Mm³/año en las secuencias secas y húmedas, respectivamente. A estas cifras hay que añadir unos 100 ó 200 Mm³/año si los humedales del Sistema Acuífero 23 (U.H. 04.04) se mantienen secos.

En cualquier caso, se impone una reconversión de la agricultura de la zona, en el sentido de ir a cultivos que exijan menos agua. Al mismo tiempo, es imprescindible llegar a un acuerdo social y legal para ver cómo se distribuye el agua disponible entre los usuarios reales (legales o ilegales) y potenciales (aquellos que desean comenzar a regar).

Este es uno de los aspectos sociales más sensibles, pues: «No basta saber cuál es el tamaño de la tarta (que ya se sabe es escasa para la demanda existente) sino que hay que encontrar el modo de repartir esa tarta de modo equitativo».

A lo largo de los últimos años se han tomado diversas medidas legales y económicas con objeto de intentar resolver los problemas enunciados. Entre ellas cabe destacar la declaración de acuífero sobreexplotado a las Unidades Hidrogeológicas 04.04 (Llanura Manchega Occidental) en 1987 y 04.06 (Campo de Montiel) en 1988, y la teórica (y posiblemente ilegal) imposición de un régimen de explotación de ambos acuíferos por la Confederación Hidrográfica del Guadiana. La eficacia práctica de esas declaraciones fue muy pequeña hasta que se aprobó el primer Plan de Compensación de Rentas (1993-1997), con un reparto de subvenciones del orden de 16.000 millones de pesetas en cinco años.

Sin embargo, muchos se preguntan: a) ¿qué va a ocurrir si no se vuelve a prorrogar una tercera vez el segundo Plan de Compensación de Rentas recientemente aprobado (1998 –2002)?; b) ¿cuál es la situación actual de los muchos miles de hectáreas de regadío no acogidos al PCR o de los miles de pozos ilegales (al parecer de 5.000 a 10.000) perforados en los últimos diez años?

*Quinta: Sobre la conservación de la Mancha
Húmeda como Reserva de la Biosfera*

De los más de cien humedales de esta Reserva de la Biosfera, aproximadamente un tercio han resultado seriamente degradados –o incluso han desaparecido– a causa principalmente de los bombeos para regadío.

Los otros dos tercios no han sido prácticamente afectados por los bombeos, como en el caso de las Lagunas de Ruidera o como los humedales del Cigüela Medio, sino que han sido fundamentalmente impactados por el mal denominado Plan de Regeneración Hídrica de las Tablas de Daimiel, o bien han sido afectados por causas totalmente ajenas a la actividad agrícola, como puede ser su relleno por escombros y aguas residuales o la explotación de sales.

Así pues, dos tercios de los humedales de la Mancha Húmeda parecen poco degradados o fácilmente recuperables y sin que su conservación plantee especiales conflictos con los regantes.

Es posible, aunque poco probable, que el nivel freático del acuífero de la Llanura Manchega Occidental recupere el nivel que tenía a principios de los años setenta y vuelvan a aparecer los humedales situados sobre este acuífero, alimentados exclusiva o principalmente por las aguas subterráneas (Ojos del Guadiana, Cerro Mesado, La Nava, Muleteros, La Albuera, etc.).

Esta situación podría darse si: a) la secuencia húmeda actual se prolongara unos cuantos años; b) si el Plan de Compensación de Rentas continuara y c) si se pone orden en el caos de los pozos ilegales y de los regadíos fraudulentos.

Ahora bien, conviene insistir en que la recuperación de estos humedales supondría la disminución de los recursos renovables

destinados a la agricultura en una cuantía que probablemente oscilaría entre 100 y 200 Mm³/año.

Sexta: Acciones para reducir las incertidumbres sobre los datos hidrológicos

La experiencia de los dos últimos decenios indica que, si no se refuerza significativamente el personal técnico con experiencia en hidrogeología en la Confederación Hidrográfica del Guadiana, es muy difícil que este Organismo pueda desarrollar con competencia su función. Esto no excluye en absoluto que las asociaciones de usuarios de aguas subterráneas tengan también sus propios equipos hidrogeológicos, ni que determinados estudios especializados se encarguen a centros de investigación.

Ahora bien, es preciso insistir en que la cantidad y, sobre todo, la calidad de los datos disponibles hasta la fecha es notablemente deficiente, y que los muchos años perdidos no se pueden recuperar en uno o dos años. Otro aspecto crucial es el de garantizar que los datos obtenidos estén fácil y rápidamente disponibles para cualquier ciudadano, de acuerdo con la Ley 38/1995 de facilidad de acceso a los datos medioambientales.

Séptima: El reparto equitativo del agua razonablemente disponible

Independientemente de que se mejore en conocer «cuál es el tamaño de la tarta», es decir, el agua que razonablemente se puede utilizar para los distintos usos, parece urgente establecer un sistema que facilite esa distribución de un modo equitativo.

La resolución de los conflictos existentes requiere la participación de todos los sectores implicados: agricultores que riegan (legal o ilegalmente) y también de los que quieren regar en un futuro; sociedades municipales o privadas de distribución de agua potable, grupos conservacionistas, funcionarios responsables de la conservación de humedales, representantes de los Gobiernos Central, Autonómico y Local, y otros. Teóricamente esto podría haberse hecho aplicando la vigente legislación de aguas. Obviamente no ha sido así; basta recordar los miles de recursos jurídicos

pendientes de resolver y la situación generalizada de *insumisión hidrológica*, es decir, la *normal perforación de pozos ilegales* y los notables *fraudes* en los volúmenes de agua utilizados en relación con los autorizados. Pensar que la instalación de caudalímetros va a ser una solución una vez que el PCR finalice es, probablemente, una utopía; basta simplemente pensar en los miles de pozos ilegales realizados y que se continúan realizando actualmente. No nos consideramos con elementos de juicio suficientes para sugerir si la solución está en intentar de nuevo esta conciliación de intereses desde una Comunidad General de Usuarios de Aguas Subterráneas de la cuenca alta del Guadiana, o bien, si se hace necesaria la creación de un organismo nuevo con más atribuciones o poderes, como algunos parecen proponer.

En cualquier caso, parece temerario suponer que estos problemas vayan a resolverse con el simple paso del tiempo. Probablemente eso sólo ocurriría si la coyuntura económica europea o mundial condujera a la desaparición de la agricultura de regadío en La Mancha, lo cual no parece probable, al menos a corto plazo.

Octava y Final

Parece urgente iniciar un análisis completo y riguroso de los efectos positivos y negativos que están teniendo en los regadíos de la cuenca del Alto Guadiana las distintas medidas aplicadas y, especialmente, las subvenciones de la PAC, el PCR y los Regímenes de Explotación dictados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana. Hay indicios razonables para pensar que la renovación del quinquenio del PCR (1993 – 1997) puede incidir muy poco en la necesaria reconversión agrícola de la zona, salvo que cambien notablemente las actividades mantenidas hasta la fecha por casi todos los grupos sociales implicados. Si no se ponen los medios oportunos, el PCR y las medidas acompañantes pueden ser un *regalo envenenado* que sólo conduzca a la consolidación de un grupo de propietarios que obstinadamente obtendrán altos beneficios durante los cinco próximos años sin explotar la tierra, mientras en el conjunto de la zona, los jornaleros y las industrias auxiliares, se verán seriamente perjudicados. En descargo de esos

propietarios hay que decir que es la propia Administración (hidráulica y agrícola) la que les fuerza a actuar de ese modo.

BIBLIOGRAFÍA

- Almagro, J. (1995). "El sistema acuífero de La Mancha Occidental en el ámbito de la desertificación de su entorno". Simposio de Hidrogeología. Sevilla, 23-27 octubre, 1995. Pag. 265-280.
- Álvarez de Miranda, F. (1996). Escrito del Defensor del Pueblo sobre los problemas legales en los regadíos del Alto Guadiana, dirigido al Presidente de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. 14.III.1996, 14 pp. Reproducido parcialmente en Informe Anual del Defensor del Pueblo, Boletín Oficial de las Cortes Generales, 26.VI.1996, número 7, pp. 21-24.
- Barroso Martín, J.L...; Casado Sáenz, M.; Cruces de Abia, J.; Hera Portillo, A. de la; Llamas Madurga, M.R. (1994). Capítulo IV "Hidrogeología" en "Desertificación en Castilla-La Mancha". pp71-96. ISBN: 84-88255-53-5.
- Basanta Reyes, L. (1989). "Estudio inventario sobre la evolución y la ecología de las zonas húmedas de Castilla-La Mancha". 4 volúmenes. Dirección General de Montes, Caza y Pesca. Consejería de Agricultura. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.
- Bromley J., Hodnett M., Cooper J.D., Dixon A.J. y Young A., (1996). "Hydrological response to land use change and over-exploitation of water resources in a semi-arid area of Spain". pp. 1.1-1.62. En EFEDA II, Hydrology Group, Final Report. Editado por J. Bromley.

- Calder, I.R. (1976). "The measurement of water losses from a forested area using a natural lysimeter". *Journal of Hydrology* 30(4): pp 311:325.
- Casado M. (1996) "Contribución al estudio de la recarga natural en el sistema acuífero de los Llanos de Albacete". Tesis Doctoral. Univer. Complutense de Madrid. 244 pp.
- Casado M., Cruces J., y Llamas M.R. (1997) "Cuantificación de la recarga mediante medidas experimentales en el Sistema Acuífero de La Mancha Oriental (Barrax, Albacete)". pp.381-398. En "La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación Hidrológica". Asociación Internacional de Hidrogeólogos e Instituto Tecnológico y Geominero de España. Custodio E., Llamas R., y Samper J., (Ed.). 455 pp.
- Confederación Hidrográfica del Guadiana, C.H.G. (1995). "Control de urgencia del régimen de explotación del recurso hidráulico de los acuíferos de La Mancha Occidental y del Campo de Montiel. Informe resumen del Acuífero de la Mancha Occidental". Informe 12/95. MOPTMA. 221 pp.
- Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG) (1996). "El problema hidráulico de la Cuenca Alta del Guadiana". Informe mecanografiado, 25 pp + anexos.
- Confederación Hidrográfica del Guadiana C.H.G. (Sin fecha). "Captaciones de aguas subterráneas para uso comunitario y titularidad pública en el acuífero de la Mancha Occidental".
- Cruces J.; Casado M.; y Llamas, M.R. (1997a) "Estimación de la recarga natural mediante simulación de flujo en la zona no saturada. Aplicación al acuífero de La Mancha". pp.437-446. En "La evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica". Asociación Internacional de Hidrogeólogos e Instituto Tecnológico y Geominero de España. Custodio E., Llamas R., y Samper J., (Ed.). 455 pp.
- Cruces de Abia, J.; Casado Sáenz M.; Llamas Madurga, M.R.; de la Hera Portillo, A.; y Martínez Cortina, L. (1997b). "El desarrollo sostenible de la Cuenca Alta del río Guadiana: aspectos hidrológicos". *Revista de Obras Publicas*, no. 3.362, pp. 7-18.

-
- Cruces de Abia, J.; Hernández, J.M.; López Sanz, G; y Rosell, J. (1998) "De la noria a la bomba: conflictos sociales y ambientales en la cuenca alta del río Guadiana", Colección Nueva Cultura del Agua, Bakeaz, Bilbao, 1998.
 - Esnaola Navarro, J.M. (1991). "Análisis de las aportaciones superficiales al Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel y su influencia en la evolución hidrogeológica del ecosistema". Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid, 61 pp.
 - Esparvel (1994). "Las lagunas manchegas, valores ecológicos, problemática ambiental y propuesta de conservación". 2 volúmenes. Ciudad Real, 1994.
 - Fornés J.M., (1994) "Hidrología de algunas lagunas de Castilla-La Mancha". Tesis Doctoral. Fac. de CC Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. 315 pp.
 - García Rodríguez, M. y Llamas M.R., (1992) "Aspectos hidrogeológicos en relación con la génesis y combustión espontánea de las turbas de los Ojos del Guadiana". Actas del III Congreso geológico de España. 23-26 de junio de 1992. Tomo 2. 285-289 pp. Salamanca.
 - Hera, A. de la (1993). "Ensayo de cuantificación de la conexión hidrogeológica entre el sistema acuífero del Campo de Montiel y el sistema acuífero de la Llanura Manchega". Tesis de Licenciatura. Fac. de CC. Geológicas. UCM. 102 pp + anexos.
 - Hera A. de la ; Llamas, M.R.; Cruces, J.; (1995) "Notas preliminares sobre la posible regeneración hidrogeológica de la Laguna de Vadanzo, (Río Cigüela, Toledo)". Informe. Dpto. de Geodinámica. Universidad Complutense de Madrid. 129 pp + anexos.
 - Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (1979). "Investigación hidrogeológica de la cuenca alta del río Guadiana". Informe técnico no. 7. Llanura Manchega, S.A. No.. 23. Memoria.
 - Instituto Geológico y Minero de España, IGME (1981). "Estudio de los recursos subterráneos de la Cuenca Alta del Guadiana. Sistemas acuíferos Nos.19, 20, 21, 22, 23 y 24". Informe Técnico 32082. Madrid.

- Instituto Tecnológico y Geominero de España (ITGE) (1989). "Sistema acuífero no. 23. Mancha Occidental". Dirección de Aguas Subterráneas. Serie: Manuales de Utilización de acuíferos.
- Las Tablas de Daimiel. (1997). Septiembre. p.6.
- Llamas, M.R. (1992), "¿La Sobreexplotación de Aguas Subterráneas: Bendición, Maldición o Entelequia?", Tecnología del Agua, núm. 91, Enero, pp. 54-68.
- Llamas, M.R.; Cruces, J.; Casado, M.; Hera, A. de la; Martínez, L. (1996a). "Hydrological response to land use change and over-exploitation of water resources in a semi-arid area of Spain". pp. 2.1-2.45+33 figuras. En EFEDA II Hydrology Group Final Report. Editado por J. Bromley.
- Llamas, M.R.; Casado, M.; Hera, A. de la; Cruces, J.; Martínez, L. (1996b). "El desarrollo sostenible en la cuenca alta del río Guadiana. Aspectos socioeconómicos y ecológicos". RETEMA. Medio Ambiente. Sept./Oct. 1996. pp: 66-74. Madrid.
- Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (MOPTMA), y Ministerio de Industria y Energía (MINER), (1994) "Libro Blanco de las aguas subterráneas". Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica. 135 pp.
- Montero González, E. (1994). "Funcionamiento hidrogeológico del sistema de las Lagunas de Ruidera". Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid, 275 pp + anexos.
- Montes, C. (1995). "La gestión de los humedales españoles protegidos: conservación vs confusión". En: El Campo. Servicio de Estudios BBV. 1995. pp: 101-128.
- Morgan M., y Kaule G., (1995). "Regional guidelines to support sustainable agriculture through European Union-financed programmes" Results of methodology testing in Castilla-La Mancha, Central Spain (informe preliminar Proyecto Air).
- Niñerola Pla, S.; Torrén Pla, J.; Batlle Gargallo, A.; Calvín Velasco, J. (1976). "El embalse subterráneo de la Llanura

- Manchega”. Simposio Nacional de Hidrogeología. Tomo I. Pag. 234-253. Valencia.
- Segura Castro, F. (1994). “Panorama de la Red Española de Reservas de la Biosfera”. Comité Español del MAB de la UNESCO. 163 pp.
 - Servicio Geológico de Obras Publicas, SGOP (1978) “Sobre la influencia en Las Tablas de Daimiel de la extracción de aguas subterráneas en La Llanura Manchega”. Informe 11/78. DGOH. MOPU.
 - Servicio Geológico de Obras Publicas, SGOP (1979). La influencia en las Tablas de Daimiel de la extracción de aguas subterráneas en la Llanura Manchega. Informe 11/79. SGOP. MOPU. Madrid. 1979.
 - Servicio Geológico de Obras Publicas (SGOP) (1982). “Estudio de la utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas de la Cuenca Alta del Río Guadiana”. Estudio 12/82, MOPU, 5 vol. Madrid.
 - Servicio Geológico de Obras Publicas, SGOP (1988). “Estudio hidrogeológico del Campo de Montiel y de la influencia de la explotación de aguas subterráneas sobre el Parque Nacional de las Lagunas de Ruidera. Segundo Informe”. Informe 06/88. DGOH. MOPU.
 - Servicio Geológico de Obras Publicas, SGOP (1989). “Estudio para la ordenación de las extracciones del acuífero de la Mancha Occidental”. Informe 12/89. 116 pp.
 - Servicio Geológico de la Dirección General de Obras Hidráulicas, SGDGOH (1991) “Evolución de las extracciones y niveles piezométricos en los acuíferos de la Mancha Occidental y del Campo de Montiel. Primera Parte: Llanura Manchega”. Informe 05/91. DGOH. MOPU.
 - Servicio Geológico de Obras Públicas - Instituto Tecnológico y Geominero de España (1990). “Unidades Hidrogeológicas de la España peninsular e Islas Baleares. Síntesis de sus características y mapa a escala 1:1.000.000”, Bol. de Inf. y Est. del SGOP, 52, Madrid, 32 pp.
 - Viladomiu, L. y Rosell, J. (1996). “Informe preliminar sobre el Programa de Compensación de Rentas en los regadíos de

La Mancha Occidental y Campo de Montiel”, Informe mecanografiado. 29 pp.

GLOSARIO

- A.T.S.: Acueducto Tajo Segura
- CHG: Confederación Hidrográfica del Guadiana.
- DGOH: Dirección General de Obras Hidráulicas
- ECHIVAL: European international project on Climatic and Hydrological Interactions between Vegetation, Atmosphere and Land-surfaces.
- EFEDA: Echival Field Experiment in a Desertification-threatened Area.
- GRAPES: Groundwater and River resources Action Programme on a European Scale.
- IGME: Instituto Geológico y Minero de España.
- INM: Instituto Nacional de Meteorología
- ITGE: Instituto Tecnológico Geo-Minero de España.
(Denominado anteriormente IGME).
- PCR: Plan de Compensación de Rentas
- PNTD: Parque Nacional de las Tablas de Daimiel
- SGOP: Servicio Geológico de Obras Públicas.
- SGDGOH: Servicio Geológico de la Dirección General de Obras Hidráulicas.
- IRYDA: Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario

