

# La explotación intensa de los acuíferos en la cuenca Baja del Segura y en la cuenca del Vinalopó

## *Stressed aquifers in the Lower Segura basin and the Vinalopó basin in Easter Spain*

Sahuquillo, A.

Universitat Politècnica de València. Académico correspondiente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.  
E-mail: asahuq@hma.upv.es

Recibido: 17/07/2015

Aceptado: 04/01/2016

Publicado: 29/01/2016

---

### RESUMEN

Los acuíferos carbonatados de la cuenca Baja del Segura y Vinalopó, junto con algunos otros acuíferos detríticos están siendo explotados muy por encima de su recarga media desde hace casi medio siglo lo que produjo una reducción continua de los niveles de agua subterránea en la mayoría de la región. Hasta casi 5 m/año en algunos casos y más de 300 metros de su situación inicial en alguna zona, con el consiguiente encarecimiento de su explotación. La caída en los niveles produjo el secado de manantiales y humedales y el aumento de la salinidad en algunas zonas causadas por la presencia de formaciones salinas. En contra de estos problemas está el aumento de la riqueza creada por la disponibilidad de agua desde el comienzo de la explotación intensa de los acuíferos. La Directiva Marco del Agua exigía que los acuíferos estuvieran antes de 2015 en buenas condiciones cuantitativas y cualitativas, cosa que no es posible, y tampoco lo sería retrasando esta fecha varias décadas. Análisis sencillos indican que aún eliminando los bombeos, los acuíferos tardarían entre 100 y 1000 años en recuperarse. Se analizan distintos métodos para determinar la recarga y los modelos matemáticos del comportamiento de los acuíferos que podrían utilizarse como herramientas válidas para su gestión. Se discute el papel que en lo sucesivo pueden jugar en la gestión de los recursos de agua.

**Palabras clave** | Sobreexplotación; Relaciones río acuífero; Acuíferos carbonatados; Minería del agua; Recarga.

---

### ABSTRACT

*The carbonate aquifers of the Lower Segura Basin and the Vinalopó basin, along with some other granular aquifers are being exploited well above its average recharge for almost half a century. That causes a continuous decline of groundwater levels in most of the region, up to 5 m/year in some cases and more than 300 m from their initial situation in some areas, thus increasing the cost of groundwater pumping. The drop in levels produced the drying of springs and wetlands and increased salinity in some areas caused by the presence of saline formations. Against these problems is the increase in wealth created by the availability of water since the beginning of the intense exploitation of aquifers. The Water Framework Directive requires that aquifers being by 2015 in good quantitative and qualitative conditions, which is not possible, and neither would be delaying this date several decades. Simple analyses indicate that even eliminating pumping; groundwater would take between 100 and 1000 years to recover. Several methods have been used for determining groundwater recharge and mathematical models that reproduce aquifer's behaviour and could be used as valid tools for its management. The role that aquifers can play in the water resource management is discussed.*

**Key words** | *Overexploitation; River aquifer relationships, Carbonate aquifers; Groundwater mining, Recharge.*

## INTRODUCCIÓN

La explotación de las aguas subterráneas en las zonas más áridas de España para el riego de cultivos de alto valor, y también para usos urbanos, ha crecido de forma continuada debido a su disponibilidad a un coste asequible. En las cuencas del Segura la explotación actual supera en 270 hm<sup>3</sup> anuales a la recarga media de los acuíferos y la disminución de las reservas en los 14 acuíferos declarados sobreexplotados y los 10 en proceso de declaración, llega a cerca de 9500 hm<sup>3</sup> (Cabezas, 2011). Volumen no muy inferior a los 10539 hm<sup>3</sup> que suman los volúmenes trasvasados por el acueducto Tajo-Segura (ATS) desde el año hidrológico 1978-1979 hasta el 2010-2011. En los últimos 25 años previos al año 2011, al que se refiere el artículo antes citado, el bombeo medio de los acuíferos de la cuenca fue de unos 550 hm<sup>3</sup>/año, aunque en el periodo 2006-2009 se acercó a los 700 hm<sup>3</sup>/año, valor máximo histórico. Los descensos de los niveles del agua desde antes del inicio de la explotación intensiva alcanzan en algunos acuíferos a los 300 m y la disminución anual de las alturas piezométricas está en algunos entre 3.5 m/año y casi 5 m/año (Molina *et al.*, 2009), llegando a superar puntualmente los 10 m/año. En muchos de los acuíferos de la cuenca del Vinalopó los bombeos también superan ampliamente la recarga media, con descensos importantes de los niveles piezométricos que en algún punto han totalizado los 400 m desde su inicio.

Al empezar la explotación el agua bombeada proviene del almacenamiento del acuífero proporcionada por la disminución de niveles, descenso que se va extendiendo desde los puntos de bombeo hasta alcanzar los límites del acuífero. Con el tiempo los descensos de nivel hacen disminuir los caudales de los manantiales y de los ríos a los que descargan, y afectan a zonas húmedas, pudiendo además inducir recarga de otros acuíferos a través de acuitados o capas semipermeables. Se podría mantener un bombeo sostenido equivalente a la recarga media del acuífero, sin incrementar la disminución de los caudales superficiales si se anula totalmente la evapotranspiración en los humedales y se secan los manantiales. Además de la disminución de caudales en ríos de los que se abastecen otros usuarios y de la bajada de niveles en las captaciones con sus consiguientes efectos económicos, la explotación puede producir deterioros en la calidad del agua por la intrusión de aguas salinas o de peor calidad y otros efectos ambientales negativos. En la práctica se suele considerar que hay sobreexplotación cuando se observan, o se perciben, ciertos resultados negativos de la explotación, tales como un descenso continuado del nivel del agua, un deterioro de su calidad, un encarecimiento del agua extraída, o daños ecológicos. Pero estos efectos no están necesariamente relacionados con el hecho de que la extracción sea mayor que la recarga. Este criterio ha sido muy discutido desde hace tiempo pero es después de las puntualizaciones de Custodio (2002) cuando han quedado clarificados definitivamente muchos de los aspectos de la explotación intensa de los acuíferos. En cada caso hay que hacer una evaluación detallada de los efectos de la explotación del acuífero y las decisiones dependen de las características particulares, no solo hidrológicas e hidrogeológicas, sino también económicas, ambientales, legales, sociales y culturales. La recarga y también su distribución en la superficie sobre la que se realiza, son casi siempre muy inciertos, y pueden cambiar por las actividades humanas y por la propia explotación del acuífero. También lo son las propiedades hidrodinámicas del acuífero que influyen en la variabilidad de la transmisión de los efectos de las acciones exteriores, recargas y bombeos. Efectos transitorios que dependen de las propiedades hidrodinámicas y de los volúmenes de agua almacenados en el acuífero.

Por principio no son rechazables los bombeos que superen la recarga natural de un acuífero. En unos casos porque al disminuir sus niveles piezométricos se puede inducir una recarga adicional desde las aguas superficiales que no estén aprovechadas o adjudicadas legalmente, o desde otros acuíferos o acuitados. En los acuíferos aluviales o de dimensiones no muy grandes conectados con un río, usualmente denominados sistemas río-acuífero, cuando el bombeo de los acuíferos se hace de forma estacional, se consigue aumentar las disponibilidades de agua al quedar pendiente de producirse una parte importante del efecto de los bombeos sobre los caudales del río a periodos posteriores al fin de los bombeos para riego u otros usos estacionales (Sahuquillo 1993). Por el contrario en otros casos una afección a los caudales superficiales, incluso reducida, puede ser inaceptable por criterios legales o ambientales. En otros casos una sobreexplotación durante unos pocos decenios, puede ser una situación aceptable hasta alcanzar un desarrollo sostenible.

## EL APROVECHAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS Y LAS CARACTERÍSTICAS LOCALES

En lo que sigue se intenta enmarcar el aprovechamiento actual de las aguas subterráneas en algunas zonas de la demarcación hidrográfica del Segura y en el Alto y Medio Vinalopó teniendo en cuenta las consideraciones que se acaban de hacer. Figura 1.- Acuíferos de la cuenca del Segura (C.H.S).

## Los acuíferos aluviales

Los acuíferos de la cuenca del Segura se pueden separar entre los no conectados y los conectados con diferente grado con las aguas superficiales. Entre los conectados están los aluviales, las Vegas Media y Baja del río Segura, y algunos carbonatados, destacando entre los últimos el Sinclinal de Calasparra que se considera después. El acuífero de la Vega Alta descarga al río Segura en su extremo más aguas abajo; estando colgado sobre el acuífero en su recorrido aguas arriba de este punto. Tiene una explotación para riegos y usos industriales relativamente pequeña, de unos 6 hm<sup>3</sup>/año.

El regadío sobre el acuífero de las Vegas Media y Baja se realiza a partir de una red de acequias y azarbes que funcionan tradicionalmente de una forma estable y estructurada. Las acequias derivan el agua de los azudes construidos en el río. Los azarbes son zanjas de drenaje que conducen aguas abajo los caudales drenados que se añaden a los aportados por otras acequias más bajas. Una de las obras más estimadas del célebre Cardenal Belluga a principios del siglo XVIII fue el saneamiento de los extensos pantanos y marjales fuertemente alimentados por los excedentes de riegos fundamentalmente en la Vega Baja.

La explotación de los acuíferos de las Vegas Media y Baja es reducida. Para tratar de aumentar de forma significativa el aprovechamiento de los recursos superficiales aplicando el clásico esquema río-acuífero, sería necesario modificar profundamente el funcionamiento actual del sistema de riegos. Los bombeos en el acuífero producirían descensos en los niveles freáticos que supondrían el secado de algún tramo de los azarbes y probablemente sería necesario alterar de forma importante y no evaluada el sistema actual de aprovechamiento del agua. Sin duda provocaría la oposición de muchas de las partes afectadas y resultaría muy discutido legal y socialmente. Estas son las razones por la que los usuarios y los gestores de la cuenca están muy atentos a los posibles efectos de las explotaciones de los acuíferos que puedan afectar los caudales superficiales.

No obstante en los periodos de sequía de 1982-1984, 1993-1996 y 2005-2009 se aumentaron los bombeos para paliar sus efectos, especialmente durante el último de los periodos. En 2007 para paliar la sequía se bombearon 50 hm<sup>3</sup> (Turrión *et al.*, 2009). Los bombeos produjeron unos descensos piezométricos transitorios locales de alguna importancia. Pero aun desconociendo las estimaciones que hayan podido hacerse del efecto que hayan tenido sobre los caudales superficiales, se puede aventurar que no han supuesto un porcentaje grande con respecto a los volúmenes bombeados en el acuífero. La existencia de un acuitardo superficial arcilloso bastante continuo permite suponer que en esta y otras situaciones futuras de sequía, el efecto sobre los caudales superficiales de los posibles bombeos para paliar el problema pueda resultar aceptable. Si no se ha hecho este análisis parece interesante valorar con rigor los resultados de las observaciones realizadas para el seguimiento de los bombeos utilizando métodos cuantitativos adecuados y la realización de modelos avanzados. Entre otras cosas para disponer de una herramienta fiable para poder plantear actuaciones análogas en futuras situaciones de sequía y aprovechar de la forma más adecuada las inversiones realizadas. Teniendo también en cuenta las posibilidades de producir asientos por la compactación de los acuitardos al disminuir su presión intersticial, que es la causa que ocasionó, en la sequía de mediados de los años 90, importantes daños estructurales en algunos edificios de la ciudad de Murcia por la bajada de niveles freáticos ocasionadas por los bombeos citados.

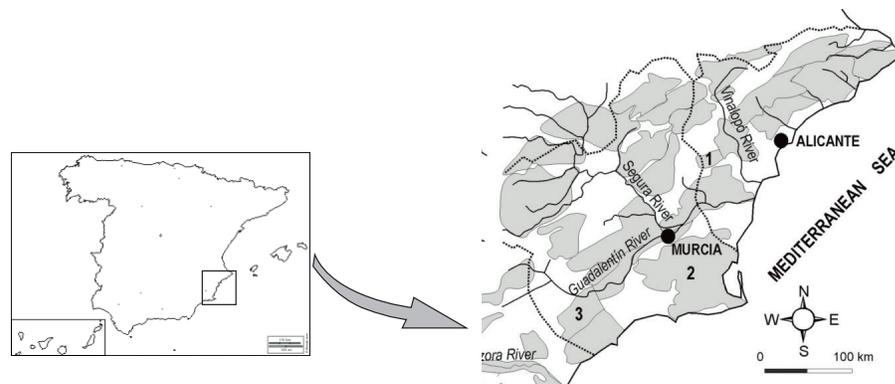


Figura 1 | Localización de las Cuencas de los ríos Segura y Vinalopó.

En la cuenca del Vinalopó no existen acuíferos aluviales importantes relacionados con el río. Solamente existe un acuífero cuaternario situado sobre el carbonatado de La Solana, que parece que fue ganador antes de su explotación intensa.

## Otros acuíferos detríticos

### *Acuíferos del Guadalentín*

Los acuíferos del Alto y Bajo Guadalentín (600 km<sup>2</sup>) forman el acuífero más extenso de la cuenca. Tienen una explotación muy importante, de más de 100 hm<sup>3</sup>/año, una recarga mucho menor, del orden de 20 hm<sup>3</sup>/año (Senent y García Aróstegui, 2014), incluyendo los retornos de riego, y unas reservas enormes debido además de la extensión y espesor del acuífero a que su almacenamiento específico como acuífero libre puede ser del orden del 20 o 25%. Los valores con los que se ha calibrado el modelo realizado por la Universitat Politècnica de València (UPV), varían en la mayor parte de las celdas entre 0.3 y 0.13, (UPV, 2005), un orden de magnitud superior al de los acuíferos carbonatados. Se diferencian dos sectores bien definidos: el Alto Guadalentín, donde existe un único conjunto acuífero de 250 m de arenas y gravas, que localmente alcanza hasta 500 m y el Medio-Bajo Guadalentín, con varios tramos permeables, variables en número y espesor, con menor conductividad hidráulica que en el Alto y sin continuidad lateral. Pero existen grandes incertidumbres sobre la potencia y extensión lateral de las formaciones permeables, debidas a la falta de sondeos con registros litológicos detallados. Incertidumbres incrementadas por la existencia de fallas longitudinales y transversales y una alta heterogeneidad con presencia de lentejones de arcillas y gases ocluidos. La mayoría de la información disponible son descripciones litológicas de sondistas en una formación muy heterogénea. El Guadalentín es un río que a partir de Lorca lleva un caudal muy reducido; por lo que las explotaciones del acuífero no interfieren, ni en la práctica han interferido en el pasado, con los caudales superficiales, aunque sí en un humedal de unos 15 km<sup>2</sup>. En la parte central del Alto Guadalentín hace unos 50 años existía una pequeña laguna salina endorreica “El Saladar” que desapareció con la explotación del acuífero.

El TSD del agua subterránea varía entre 200 y 1500 mg/L en el Alto Guadalentín, aunque en una zona llega a ser de 5000 mg/L. En el Bajo Guadalentín el valor del TDS está entre 1000 y 6000 mg/L. El Alto Guadalentín comenzó antes a ser explotado con intensidad y a ser utilizado para riego en la comarca de Mazarrón. Los niveles empezaron a bajar entre 1 y 3 m al año y pronto en algunos sondeos aparecieron problemas de gases, especialmente CO<sub>2</sub> que dieron problemas en los equipos de bombeo y en las conducciones con obstrucciones, roturas y problemas de corrosión que añadido al problema de los descensos de nivel y el empeoramiento de la calidad química del agua obligaron al abandono de muchos pozos (Cerón *et al.*, 1999). La explotación en 1973 fue de 24 hm<sup>3</sup>/año y 69 hm<sup>3</sup>/año en 1987 con bajadas de nivel de 2.5 m/año en el periodo (1973-1976), 4.5 m/año en el (1976-1984) y 9 a 10 m/año en el (1984-1987). A partir de 1989 los descensos de nivel se fueron haciendo menores por la disminución de los bombeos. Por el contrario ambos, bombeo y descensos de niveles, aumentaron en el Bajo Guadalentín, (Gobierno Regional de Murcia, 1988).

### *Campo de Cartagena*

La hidrogeología del Campo de Cartagena hasta hace pocos años había sido poco estudiada. En los años 70 existía una fuerte explotación que superaba con mucho la recarga media de los acuíferos, llegando a 120 hm<sup>3</sup>/año. Explotación que hubo que reducir de forma drástica por la bajada de los niveles freáticos. Con la llegada del agua del ATS, se produjo una subida importante de los niveles freáticos por los retornos de riego y una reducción de los caudales bombeados dependiendo de la variabilidad de los caudales del trasvase. El acuífero más explotado no es el detrítico cuaternario, que tiene espesor pequeño, conductividad hidráulica reducida y agua en general muy salina; sino los acuíferos subyacentes. Estos acuíferos Plioceno, Andaluciense (o Mesiniense) y Tortoniense están constituidos por conglomerados, calcarenitas y calizas bioclásticas, además de en arenas y areniscas. Actualmente el acuífero que había sido más explotado, el Triásico de los Victorias tiene una explotación mucho menor; acuífero casi aislado que a pesar de tener una presencia reducida en el Campo fue explotado muy intensamente en los años 70 y 80, en los que los niveles llegaron a bajar hasta 14 m/año llegando a existir niveles piezométricos 300 m bajo el Mediterráneo a finales de los 90 y aun inferiores posteriormente.

La salinidad de las aguas subterráneas es alta, entre 2 y 5 g/L, llegando a ser de 6 g/L en el cuaternario. Los riegos con agua del ATS han producido una disminución de la salinidad, acercándose en algunos sitios a 1 g/L y también disminuido el contenido en nitratos. En el cuaternario han producido una elevación de niveles, han ocasionado problemas de drenaje y han aumentado los nitratos hasta superar en algunos puntos las 150 ppm. Existen plantas desalinizadoras en zonas en las que la salinidad supera los 4 g/L. En 2001 los volúmenes desalados anuales eran del orden de 5 hm<sup>3</sup> (cf. Albacete y otros, 2001). La evacuación de las salmueras es uno de los principales problemas de la zona, la de algunos sondeos se hace en Sucina por inyección en un sondeo que atraviesa

los mármoles del triásico entre los 650 y 750 m de profundidad. En otros se recogen para tratarlas en una planta desalinizadora y se incorporaran al canal del ATS. Los problemas de drenaje del cuaternario se han solucionado con zanjas de drenaje que han proporcionado en algún momento caudales del orden de 300 L/s.

En la Figura 1 se puede ver la evolución de los niveles piezométricos en los acuíferos del Campo y la procedencia del agua aplicada a los riegos, ATS o subterránea. La explotación de las aguas subterráneas se adapta a las disponibilidades de agua del trasvase aumentando en los periodos secos y disminuyendo en los húmedos. Sin duda el uso conjunto de los acuíferos con las aguas del ATS y la desalobración pueden producir ventajas interesantes tanto para los usuarios del Campo como para los otros usuarios de la cuenca y el ATS. Pero habría que valorar bien las posibles alternativas y su comportamiento futuro, simular el comportamiento de las distintas zonas y los problemas de drenaje o descensos de niveles futuros en ellas. Para ello hay que conocer mejor la relación entre los distintos acuíferos, las recargas de lluvia, retornos de riego, o la procedente de escorrentía superficial y analizar la posible evolución de la calidad del agua y los problemas ambientales actuales y futuros del Mar Menor. Parece muy recomendable un estudio a fondo de los distintos acuíferos del Campo para poder tener en cuenta su utilización conjuntamente con los caudales superficiales y los desalados o reutilizados.

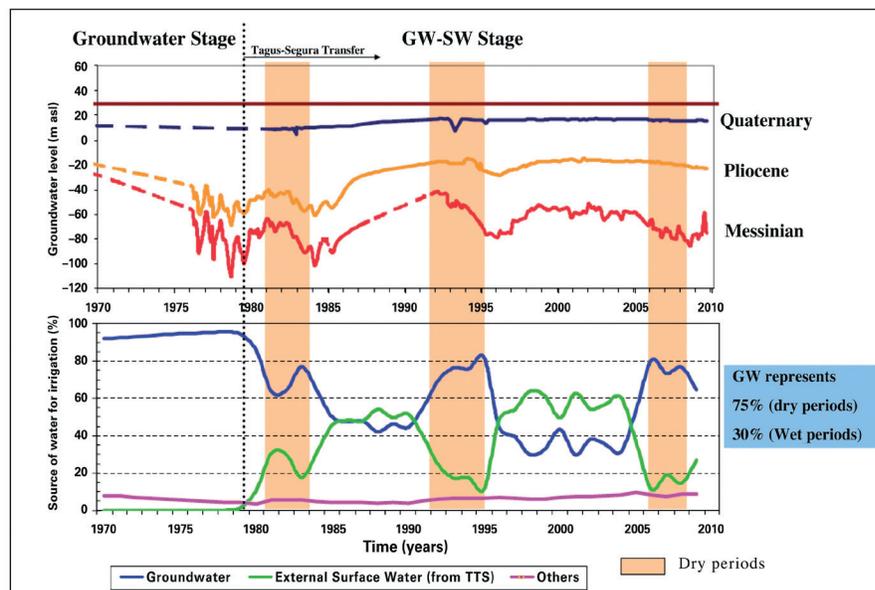


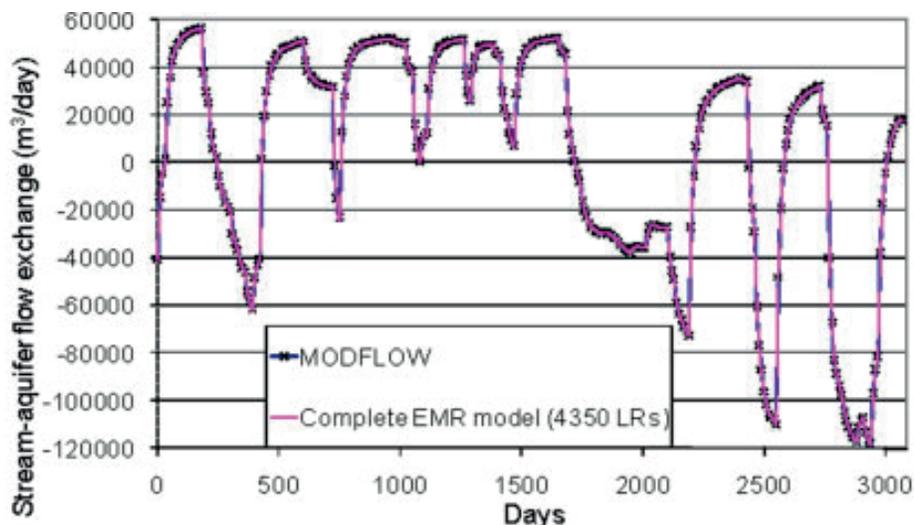
Figura 2 | Niveles piezométricos y orígenes del agua en el Campo de Cartagena, según Cabezas (2011).

## Los acuíferos carbonatados

La mayor parte de los acuíferos carbonatados del altiplano de Murcia analizados en este trabajo que están en la cuenca del Segura, en la del Vinalopó o entre las dos, están totalmente desconectados de los ríos. Las excepciones están en los acuíferos del Sinclinal de Calasparra con el Río Segura, el acuífero de El Molar conectado con el Río Mundo aguas abajo del embalse de Camarillas y el de la Solana con el Vinalopó. Los problemas que se plantean son distintos de los de otros acuíferos carbonatados como los de la Mancha Oriental que afectan a los caudales del Júcar o a los del Alto Guadiana en la Mancha Occidental con sus efectos en el río y en los humedales de Las Tablas de Daimiel y no tienen manantiales importantes, de algún centenar de litros por segundo. Los acuíferos del Altiplano son acuíferos de extensión reducida, entre 600 y 300 km<sup>2</sup>. Los acuíferos de la cuenca del Vinalopó son de dimensiones menores y están más compartimentados e influidos por la tectónica de las formaciones diapíricas triásicas y la salinidad de estas formaciones. En este análisis no incluimos la relación río-acuífero en las cuencas más altas de los ríos de la Cuenca del Segura al ser en ellas reducida, o menos intensa, la explotación de los acuíferos. Son las situadas aguas arriba del embalse de Camarillas el río Mundo, las de aguas arriba de los embalses del Cenajo en el río Segura y del de Puentes en el Alto Guadalentín, y los que afluyen al río Segura en su margen derecha entre el Cenajo y Murcia. Tampoco se aborda la relación entre

embalses y acuíferos de la que no tenemos información excepto que el embalse de Valdeinfierno alimenta al acuífero de Puentes que dio origen a la surgencia de los Ojos de Luchena o a la posible relación del embalse de Camarillas con el acuífero de El Molar.

El acuífero del Sinclinal de Calasparra tiene una extensión de 330 km<sup>2</sup>, tiene una transmisividad muy alta y como media descarga algo menos de 1 m<sup>3</sup>/s en pleno cauce del Río Segura que es perdedor en una zona inmediatamente situada aguas arriba. La alta transmisividad del acuífero permite que los pozos, que además estarían muy próximos al río, puedan bombear caudales muy elevados, pero al mismo tiempo hace que los caudales del río sean afectados muy rápidamente. Para tratar de cuantificar la ganancia que se obtendría en estiajes con bombeos superiores al caudal del manantial se realizó un bombeo intenso en el periodo 1992-2000. Se bombearon caudales medios de 22 hm<sup>3</sup>/año, siendo el máximo anual 38 hm<sup>3</sup>. La mayoría de los pozos estaban perforados en zonas próximas al manantial El modelo fue calibrado con los de niveles medidos continuamente en dos piezómetros también próximos al manantial. En la Figura 3 se pueden ver los intercambios de caudal entre el río y el acuífero deducidos con un modelo clásico en diferencias finitas. La reacción de los caudales es muy rápida lo que hace que la ganancia neta de agua con los bombeos sea muy pequeña (figura 3).



**Figura 3** | Variaciones de los intercambios de flujo acuífero-río en el manantial del Borbotón (tomado de Pulido *et al.*, 2007).

El acuífero del Molar también está relacionado con el Río Mundo. Los bombeos del acuífero han cambiado la relación con el río que era ganador aguas abajo del Embalse de Camarillas. Se desconoce la relación río-acuífero anterior al llenado del embalse de Camarillas y si este tiene filtraciones de alguna importancia que puedan recargar al acuífero, que no se han incluido en el modelo del acuífero. En esa zona, en las proximidades del río está, el manantial de Cañada Berosa cuyo caudal medio era algo inferior a 100 L/s. El efecto más rápido ha sido producido por los bombeos de unos 10 hm<sup>3</sup> anuales de unos pozos de las Comunidades de Regantes de Pulpí, Águilas y Mazarrón, situados en las proximidades del manantial que además de secarlo han inducido la recarga del río en esa zona.

El río Vinalopó es ganador en su tramo alto. En las proximidades de Bañeres están los manantiales denominados Coveta con un caudal del orden de 90 L/s. En Villena, existían unos manantiales con un caudal medio que se estimó a principios del siglo XX en unos 9 hm<sup>3</sup> anuales que desaparecieron al aumentar los bombeos del acuífero. El río también parece que era ganador en la zona intermedia entre estos puntos, en el tramo del cuaternario que yace sobre el acuífero carbonatado que se ha denominado acuífero de la Solana. Este acuífero no parece haber sido estudiado con detalle, siendo distintos la denominación y los límites que se le han dado en trabajos sucesivos. Hasta 1986 en el que bombeaban unos 30 hm<sup>3</sup>/año se considera que el acuífero estaba sobreexplotado. Entre 1986 a 1990 se observan recuperaciones piezométricas que coinciden con un período húmedo, volviendo a tener descensos suaves a partir de 1994 en un periodo seco y explotaciones por encima de los 35 hm<sup>3</sup>/año. Los bombeos entre 1994 y 1997 superan los 36 hm<sup>3</sup>/año. El acuífero de La Solana es el de mayor extensión de los carbonatados que no pertenece parcialmente a la cuenca del Segura, y podría ser de interés para almacenar agua del futuro trasvase Júcar-Vinalopó o en otras estrategias de gestión que se

comentan después. Más aguas abajo de Villena y hasta desembocar en la llanura de Elche el río circula sobre el triásico salino, o está separado de él, por un pequeño cuaternario cuyo interés hidrológico es el de limitar las posibilidades de que el río se infiltre en los acuíferos vecinos aunque sus niveles hayan descendido cientos de metros; o por otra parte ser una fuente adicional de salinidad para las aguas, naturales o de procedentes de retornos, que circulan por el cauce.

Los acuíferos no conectados a ríos en régimen natural de no explotación, se recargaban con la lluvia y descargaban por manantiales, a pequeñas zonas húmedas o en pequeñas salinas. En la Figura 4 y en la Tabla 1 que se adjunta se da la situación de los acuíferos reflejada en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura de 1998, que indica de forma aproximada la situación de unos años antes. El balance medio en general no ha cambiado mucho y se podrían deducir cuales serían de forma estimada los valores actuales de la tabla, aunque en algunos casos se han producido aumentos de los bombeos, en particular en la sequía de 2006 a 2009, y en otros disminuciones por el secado de pozos o por aumento de la salinidad.

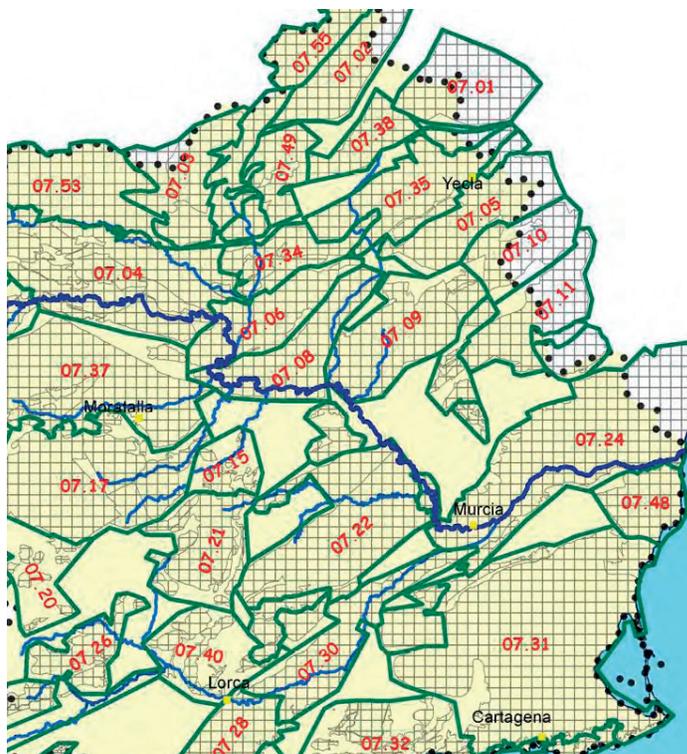
Los descensos de niveles han producido la disminución o agotamiento de los manantiales y el secado de humedales. De los caudales de los manantiales desaparecidos en algunos casos queda alguna información cuantitativa, en otros casos solo cualitativa. Se podría acotar, o dar un orden de magnitud de los volúmenes drenados o capturados por la vegetación de los humedales. Se desconoce si se ha hecho algún intento en este sentido. En los acuíferos en los que se han secado los manantiales y zonas húmedas, los bombeos actuales solo afectan a las reservas de los acuíferos y los bombeos de estos acuíferos hacen exclusivamente minería del agua. Lo mismo se puede decir de los bombeos del Guadalentín pues la única descarga adicional que tiene es el flujo subterráneo hacia la Vega Media del Segura que es prácticamente nulo.

La Laguna de Salinas en el acuífero de Serral-Salinas es una laguna salina de unas 200 ha de extensión muy influida por el drenaje artificial y prácticamente desecada. Está incluida en el Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana. La explotación de los acuíferos con un nivel piezométrico actual a varios centenares de metros por debajo de la superficie ha influido más en su desecación que los drenajes. El humedal Laguna y Saleros de Villena, en el término municipal de Villena, con una extensión de 700 ha es una laguna salina que ha desaparecido por drenaje, fundamentalmente a través de la acequia del Rey, está sobre materiales salino del Keuper y materiales miocenos y cuaternarios

En la Figura 4 se pueden ver los acuíferos compartidos entre las cuencas del Segura y del Vinalopó. Son 07.01 Sierra de la Oliva, 07.02 Sinclinal de la Higuera, 07.35 Cingla-Cuchillo, 07.05 Jumilla-Villena, 07.10 Serral-Salinas, 07.11 y 07.12 Quibas y Crevillente. De los acuíferos citados anteriormente, el Sinclinal de Calasparra es el 07.08, los números 07.28 y 07.28 son el Alto y el Bajo Guadalentín y el Campo de Cartagena el 07.31; todos ellos acuíferos carbonatados excepto los tres últimos.

En la Tabla 1 se ha añadido la columna (5) que quiere representar los años que tardaría en recuperarse la situación inicial de cada acuífero si se anulasen completamente los bombeos. Es una estimación rápida, que se ha hecho suponiendo que se han mantenido los mismos balances de la tabla durante los 18 años transcurridos desde que se realizaron. Así se obtendría una situación actual de las reservas que se parecería más a la existente ahora. Cantidad que dividida por la recarga actual nos daría el número de años necesarios para equilibrar ese déficit si se dejase de bombear en el acuífero. El error de la estimación del tiempo requerido para la recuperación dependería en gran medida de los errores de la columna (3) del balance, y sobre todo del error la columna (1) que en principio asimilamos a la recarga, que incluye también los retornos de riego relativamente poco importantes en general. En el acuífero de El Molar también incluye la recarga inducida del río por los bombeos próximos a este. Recarga que desaparecería si se anulan. En este caso haciendo la corrección, estimada con el modelo que después se comenta, de lo que puede suponer esta recarga inducida, para el acuífero de El Molar resultarían 117 años los necesarios para recuperarse. Todos los acuíferos tienen recargas muy pequeñas como sucede en las zonas áridas y semiáridas. Errores pequeños que se traducirían en grandes errores en el tiempo de recuperación. Para el acuífero de Ascoy-Sopalme si en lugar de una recarga de 2 hm<sup>3</sup>/año se hubiese considerado que está entre 3 y 7, quizás más acordes con los resultados que se reflejan en los estudios consultados, resultaría que la recuperación tardaría entre 867 y 370 años. Se podría haber tratado de rehacer el cuadro con los resultados más recientes, pero se ha preferido no hacerlo, para no dar impresión de una seguridad mayor de la existente. Lo que se pretende es mostrar que es evidente que no se pueden cumplir las prescripciones de la Directiva Marco del Agua antes de 50 años y que hay que recurrir a la posibilidad de derogación que prevé la Directiva para los casos extremos. Además hay que considerar las incertidumbres y plantear su disminución para poder estimar mejor las reservas de agua existentes en la actualidad, valorar su utilización y gestionar adecuadamente los acuíferos implicados.

En cualquier caso en Senent y G<sup>a</sup> Aróstegui (2014) están recogidos los datos y balances actualizados de los últimos estudios de la cuenca del Segura.



**Figura 4** | Plan Hidrológico del Segura 1998.

**Tabla 1** | Acuíferos sobreexplotados en la cuenca del Segura. Modificado de C H Segura

DENOMINACIÓN	(1) Recursos hm <sup>3</sup> /año	(2) Extracciones hm <sup>3</sup> /año	(3) Balance negativo hm <sup>3</sup> /año	(4) Consumo de reservas hm <sup>3</sup>	(5) tiempo de recuperación años
Sinclinal de la Higuera	10,0	21,8	11,8	333	54
Jumilla-Villena	17,0	34,3	17,3	560	52
El Molar	10,8	14,4	3,6	93	160
Ascoy-Sopalmo	2,0	53,0	51,0	1682	1299
Serral-Salinas	5,1	17,0	11,9	426	127
Cingla-Cuchillo	9,7	28,6	18,9	530	90
Quibas	5,5	7,5	2,0	257	52
Sierra de Crevillente	3,1	10,0	6,9	481	196
Alto Guadalentín	10,1	43,3	33,2	1588	217
Bajo Guadalentín	11,0	59,1	48,1	1115	178
Triásico de los Victorias	3,2	13,5	10,3	557	232
Llano de las Cabras	1,6	3,3	1,7	23	33

La salinidad de estos acuíferos está influenciada por la presencia de las rocas evaporitas del Trías Keuper en las proximidades de esta formación. Con frecuencia la salinidad aumenta con la profundidad y los descensos de nivel piezométrico (Aragón *et al.*, 1999). Es un aspecto importante para valorar la posibilidad de intentar de optimizar la minería del agua en estos acuíferos.

Otros acuíferos pequeños compartidos entre el Júcar y el Vinalopó que tienen descensos de grandes niveles, y consecuentemente en su almacenamiento, son el de la sierra de Crevillente, que tiene una pequeña parte en la cuenca del Segura, y el de Quibas. El de Crevillente tiene una extensión de unos 140 km<sup>2</sup>. Empezó a explotarse en 1966 y aumentó la explotación a partir de 1980 con descensos continuados que en algún año alcanzaron hasta los 30 m. Solo entre 1989 y 1991 con pluviometrías del orden de 700 mm/año y consecuente incremento de la recarga y reducción de la explotación por bombeo, se amortiguaron los descensos. La explotación actual es de unos 8 hm<sup>3</sup>/año y la recarga se ha estimado en 2.5 hm<sup>3</sup>/año. En este acuífero se construyó en 1962 la Galería de los Suizos desde la que se perforó una batería de pozos para bombear el acuífero. En ese momento la piezometría estaba al nivel de la galería y el contenido en cloruros del agua actualmente era del orden de 350 mg/L. En la actualidad los niveles están a más de 100 m de profundidad, ya por debajo del nivel del mar y la salinidad alcanza los 1000 mg/L, salinidad que en general era mayor en casi todo el acuífero, alcanzando la conductividad del agua entre 2000 y 4000 μS/cm (Andreu *et al.*, 1998). El acuífero de Quibas con una superficie aflorante permeable de 102 km<sup>2</sup>, tiene estimada una recarga de 2.5 hm<sup>3</sup>/año y unos bombeos de unos 8 hm<sup>3</sup>/año. Los acuíferos carbonatados de la cuenca del Vinalopó situados aguas abajo de Villena en su margen izquierda, distintos de los que están entre las cuencas del Segura y Júcar, las unidades Peñarubia, Sierra Mariola, Argueña-Maigmo, y Sierra del Cid están mucho más fragmentados y tienen una importancia cuantitativa menor, además de no presentar por el momento problemas de sobreexplotación serios excepto en el primero de ellos, que tiene una explotación de 3.4 hm<sup>3</sup>/año, superior a su recarga que se ha estimado en 1.6 hm<sup>3</sup>/año, (Diputación de Alicante- IGME, 2009). El acuífero del Cid tiene una extensión pequeña, unos 30 km<sup>2</sup>. Su explotación comenzó alrededor de 1969 llegando los descensos a 60 m en 1974, año en el que los bombeos alcanzaron los 24 hm<sup>3</sup>. A partir de 1975 (ver Figura 5) los descensos siguen aumentando llegando a ser de 30 m durante el año 1976. La explotación elevada se mantuvo hasta 1983, año en el que la depresión total de los niveles en algunas zonas llegó a ser entre 230 y 250 m. A partir de 1984 se empiezan a abandonar las explotaciones debido al deterioro progresivo de la calidad del agua bombeada, recuperándose los niveles más de 100 m en 1991 cuando las precipitaciones alcanzaron los 700 mm anuales, siendo la media de 380 mm, (Andreu *et al.*, 1998). También es un buen ejemplo de la variabilidad de la recarga de los acuíferos en zonas semiáridas. Su explotación actual es del orden de la recarga estimada.

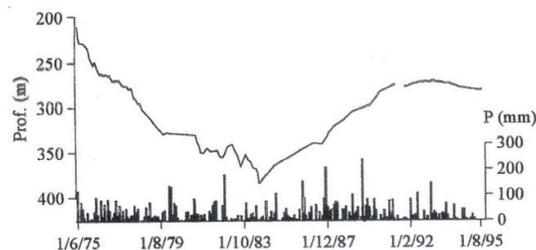


Figura 5 | Evolución de la piezometría en el acuífero del Cid (Andreu *et al.*, 1998).

## EL CONOCIMIENTO DE LOS ACUÍFEROS.

### La definición geométrica de los acuíferos

Los acuíferos fuertemente explotados de estas cuencas, se han venido estudiando intensamente por distintos grupos, IGME, IRYDA, Confederación Hidrográfica del Segura, Comunidad Autónoma de Murcia, Diputación de Alicante y otros. Han dado ocasión a muchas decenas de informes oficiales, de comunicaciones a congresos y reuniones, y de artículos en revistas profesionales y científicas. Estudios en los que han intervenido un buen grupo de excelentes profesionales de la geología e hidrogeología desde hace casi medio siglo. La tectónica de los acuíferos carbonatados del Prebético es especialmente complicada con pliegues apretados, fallas de desgarre, cabalgamientos, cambios de facies y formaciones desde el Jurásico al Eoceno con grandes espesores en las formaciones carbonatadas permeables en algunos tramos, que hacen difícil la interpretación de sondeos, datos geológicos e hidrogeológicos. Para definir los límites impermeables de los acuíferos se han elaborado en muchos casos planos de isohipsas del

techo y muro de los acuíferos utilizados para definirlos geoméricamente y determinar las reservas de agua. Con este fin también se ha hecho uso de la información proporcionada por sondeos, geofísica y observaciones *in situ*. Los datos piezométricos y sus variaciones con la explotación también se han utilizado para tratar de aclarar situaciones dudosas, pero es evidente que existen muchas incertidumbres y dudas por resolver. De hecho en los años 80 al perforar un sondeo en la sierra del Carche se comprobó que presentaba un nivel más acorde con el acuífero de Ascoy-Sopalmo que con el de Carche-Salinas, por lo que se asignó desde entonces la Sierra del Carche (unos 75 km<sup>2</sup>) al acuífero Ascoy-Sopalmo. Lo mismo sucedió entre otros con los acuíferos Cingla y Cuchillos-Cabras que pasaron a ser Cingla-Cuchillo y Cuchillos-Cabras. Esta es la razón por la que no coinciden exactamente las denominaciones de los acuíferos en la Tabla 1 y en la Figura 4; en otros casos puede suceder que aparezca el nombre de la Unidad Hidrogeológica que puede contener varios acuíferos y no el del acuífero.

Además de las incertidumbres geológicas, pueden existir incertidumbres importantes sobre litología deducida de la perforación de los sondeos, de la localización de las rejillas y de la atribución de caudales de explotación a cada acuífero e incluso de los valores atribuidos a los bombeos. Parece bastante probable que se detecten más incoherencias con la explotación intensa de los acuíferos que ha modificado y está modificando profundamente el sistema de flujo. Modificaciones que pudieran poner de manifiesto las que anteriormente no podían observarse.

## Estimación de la recarga de los acuíferos

La recarga de los acuíferos en zonas semiáridas como la que se está analizando son pequeñas, muy variables y difíciles de valorar. En algunos estudios presumiblemente se han utilizado métodos basados en el balance de agua en el suelo con una capacidad de almacenamiento de agua fijada de antemano. Los resultados obtenidos se aplican a la superficie del acuífero en unos casos y en otros a la superficie permeable. En la mayoría de los informes especialmente en los más antiguos no se especifica que metodología se ha utilizado para el cálculo o estimación de la recarga procedente de la lluvia o de los retornos de riego, o las transferencias de flujo entre acuíferos colindantes que se refleja en esos informes. En algunos casos se da un valor para el volumen anual de recarga, o los mm/año de infiltración anual, resultados que se aplican a la superficie del acuífero en unos casos y en otros a la superficie permeable aflorante, aunque los resultados en prácticamente todos los casos son razonables y siempre pequeños; pero en la práctica no se validan, generalmente porque no existe posibilidad de hacerlo al no existir aforos de caudales superficiales o de manantiales en puntos adecuados. En algún caso se han simulado con un modelo unicelular, pero utilizando periodos de pocos años.

### *Modelos utilizados*

El modelo SIMPA (Simulación Precipitación-Aportación) es un modelo hidrológico utilizado en el Libro Blanco del Agua en España para la evaluación de los recursos hídricos en régimen natural, es decir en ausencia de aprovechamientos, para el Plan Hidrológico Nacional. Es un modelo distribuido que simula caudales medios mensuales en cualquier punto de la red hidrográfica de una cuenca (Estrela *et al.*, 1999). El modelo tiene dos almacenamientos, el almacenamiento del suelo en la zona no saturada y en la saturada. Obtiene la recarga al acuífero y la escorrentía directa (la componente superficial del flujo), a partir de las precipitaciones, las evapotranspiraciones potenciales y los parámetros hidrológicos de capacidad de almacenamiento del suelo e infiltración máxima a través de la formulación de Temez (1977). El modelo se ha aplicado a toda la superficie de España en una serie de 55 años, desde 1940-1941 a 1995-1996, con incrementos de tiempo de un mes y tamaños de celda de 1 km<sup>2</sup>. La componente subterránea del flujo se obtiene multiplicando el volumen almacenado en el acuífero por el coeficiente de desagüe del acuífero que es la pendiente de la curva de agotamiento de los aportes subterráneos. La escorrentía total es la suma de las escorrentías superficial y subterránea. El objetivo fundamental del SIMPA era la determinación de la aportaciones de agua de agua para la planificación hidráulica, pero se aprovechó para hacer una evaluación de la recarga en todos los acuíferos del país con esa metodología.

Cruces (2001) critica la aplicación a la determinación de la recarga porque no se considera la recarga de los acuíferos a partir de cauces superficiales perdedores y porque que no se pueden considerar bombeos o situaciones complejas. También critica como se calibra la componente de la recarga. Podemos añadir que se comparan los caudales totales simulados con los medidos, pero no se pueden comparar los caudales subterráneos simulados con la componente subterránea de los hidrogramas al utilizarse en los hidrogramas caudales mensuales.

El modelo BALAN (Samper y García Vera 1992 y 1997) se utiliza para estimar la recarga de un acuífero. El modelo evolucionó a un modelo semidistribuido el GISBALAN (Samper *et al.*, 2007) es un código de simulación de los recursos hídricos, acoplado a un SIG para poder en cuenta la variabilidad espacial de las propiedades hidrológicas e hidrogeológicas aprovechando las posibilidades de los sistemas de información geográfica y se completó con la determinación de la componente superficial para tratar de validarlo comparando las aportaciones simuladas con aforos existentes inmediatamente aguas abajo de los acuíferos. Resuelve el balance hidrológico en el suelo edáfico, en la zona no saturada y en el acuífero evaluando secuencialmente las componentes en zonas hidrológicas relativamente pequeñas. En cada zona hidrológica se supone uniformidad espacial de las características físicas, climatológicas, de uso de suelo, pendiente, régimen de cultivo, riego, precipitación y evapotranspiración. Realiza balances diarios de agua en el suelo edáfico, en la zona no saturada y en el acuífero. Se ha agregado además un módulo para el cálculo del tránsito superficial. En la zona saturada los caudales y niveles se pueden calcular con un modelo de flujo en diferencias finitas o elementos finitos, de manera simplificada considerando la división de las subcuencas en celdas, o calcular de forma totalmente agregada. La infiltración de la precipitación y los retornos de riego son las principales entradas al suelo. La infiltración se calcula con el método de Horton o el del Número de Curva del SCS. La escorrentía superficial se calcula como la diferencia entre el agua suministrada al suelo y la infiltración. El agua infiltrada incrementa el contenido de humedad del suelo y contribuye a la evapotranspiración (ETR) y a la recarga del acuífero. Los valores de evapotranspiración potencial (ETP) pueden ser introducidos por el usuario o calculados con diversos métodos. La ETR se calcula a partir de la ETP.

En realidad la misma objeción que hace Cruces (2001) al modelo SIMPA de no considerar la recarga de ríos perdedores se puede hacer al BALAN, y a cualquier método al intentar calibrar cuando no existen aforos con una resolución temporal suficiente y en los puntos adecuados de la cuenca. Pero BALAN considera de forma más explícita los componentes del balance hidrológico y puede acoplar modelos de flujo del acuífero para simular niveles piezométricos.

## Modelos de flujo

En los acuíferos Ascoy-Sopalmo, Jumilla-Villena, Carche-Salinas, Cingla-Cuchillo, El Molar, Llano de Cabras, Quibas y Crevillente se han hecho modelos distribuidos de flujo, a veces por grupos distintos, prácticamente todos con el código MODFLOW. También se ha modelado algún acuífero pequeño considerándolo como unicelular. En estos casos normalmente con el fin de identificar la recarga.

La mayoría de los acuíferos tienen una capa, ya que generalmente no se dispone de información sobre la posición los tramos de filtro y no existen apenas observaciones de otras capas. El acuífero del Guadalentín tiene dos capas y algún otro, por ejemplo el modelo de la UPV del acuífero Jumilla Villena tiene tres, dos acuíferos y un acuitardo y el de la DPA tiene varias capas más. En casi todos los modelos se han mantenido constantes las recargas del acuífero año a año; lo que en principio parece aceptable al ser en todos los casos los bombeos muy superiores a la recarga.

En algún modelo se procura evitar que se acumule un caudal de bombeo muy grande procurando que en cada celda haya más de un punto de extracción. Con esto se limita el secado de alguna celda en las simulaciones del comportamiento futuro con niveles progresivamente descendentes. En el modelo Jumilla Villena se simuló la influencia de la inclusión en el modelo de dos zonas contiguas a este mediante la activación y desactivación de celdas contenidas en el dominio de simulación del flujo para ver si era coherente ampliar el acuífero con ellas. Finalmente se desechó la hipótesis de ampliación de los límites del acuífero. En general no se plantean dudas sobre los bombeos aplicados en los modelos, que es la que se ha determinado en estudios hechos con ese fin, excepto en el caso del acuífero de Jumilla Villena, en el que los autores consideran que no son aceptables en algunas zonas (IGME-DPA, 2006).

Un problema en la modelación de los acuíferos con descensos generalizados es como considerar los niveles iniciales. Con frecuencia en ese momento solo se dispone de pocas medidas. Una solución que se ha adoptado es la de iniciar la modelación en un momento en el que se dispongan de más datos piezométricos. Es imprescindible tratar de conseguir reproducir satisfactoriamente la situación de flujo estacionario, sin explotación, con las recargas que luego se utilicen para el flujo transitorio. En el estacionario deben reproducirse los caudales de los manantiales y los niveles en el acuífero no deben sobrepasar la superficie del terreno. También tendrían que poder aproximarse a este en los humedales. Que se sepa esto último no se ha hecho en los modelos analizados.

En el modelo del acuífero Ascoy-Sopalmo se ha visto la necesidad de definir zonas unidimensionales (barreras) de muy baja conductividad hidráulica que representen la baja conexión hidráulica entre algunas zonas del acuífero que en general corresponden a fallas, reflejadas en los mapas de isohipsas, pero se han deducido también en base al ajuste de la piezometría histórica. La combinación de zonas de desconexión y de conjuntos de parámetros hidráulicos capaces de reproducir los datos históricos disponibles con toda seguridad no es única (UPV, 2006a). Lo mismo sucede con casi cualquier modelo de flujo con los que se ha conseguido reproducir aceptablemente los niveles históricos, y no solo en formaciones carbonatadas; hay infinidad de soluciones al problema inverso. Se ha realizado un análisis de sensibilidad de la calibración frente a los valores de la recarga en los afloramientos, determinándose que tiene poca influencia al tener valores muy pequeños con respecto a las explotaciones. La duplicación de la recarga, o incluso la utilización de un valor superior, puede representar valores importantes. En esos casos si tendría que recalibrarse el modelo. Aun así, hay que indicar, que algunos piezómetros siguen manteniendo un ajuste adecuado, pues las explotaciones siguen siendo bastante superiores a la recarga duplicada. Al igual que sucedía con la reducción, el régimen estacionario también es sensible a la duplicación de la recarga, aunque puede calibrarse con los mismos valores de conductancia y altura del dren con que se simulan los manantiales. Obviamente, al duplicar la recarga en el estacionario si se mantienen la transmisividad y los parámetros de drenaje, la piezometría sube, pero se pueden obtener descensos análogos con los mismos bombeos aumentando la recarga y disminuyendo el almacenamiento del acuífero. Como conclusión, parece posible que la recarga pueda alcanzar  $7 \text{ hm}^3/\text{año}$  aunque valores sensiblemente superiores no se consideran viables con la información actualmente disponible (UPV, 2006a).

El modelo del acuífero Jumilla-Villena se comporta de forma análoga con respecto al aumento o disminución de la recarga. En el acuífero de El Molar se ha conseguido reproducir la piezometría y el secado del manantial de la Cañada Berosa, pero esto no quiere decir que reproduzca fidedignamente la relación río-acuífero y las reducciones de caudal del río debido a los descensos de nivel en la zona. Algunos modelos se han utilizado para simular alternativas de explotación futuras, que consistían en continuar con los mismos bombeos que variaban entre reducirlos totalmente o a la recarga del acuífero hasta fechas que en ningún caso pasaban de la mitad del siglo. Como era de esperar en ninguno de los casos los resultados reflejaron más que unas recuperaciones pequeñas de niveles y ninguna de manantiales.

La respuestas a la pregunta de si los modelos pueden ser útiles para la toma de decisiones de gestión de los acuíferos es que pueden aproximar la evolución global de la piezometría, y dependiendo de la precisión del conocimiento geológico predecir cuándo se secarían algunas zonas del acuífero, o cuando se recuperaría algún manantial si se deja de bombear, pero siempre a plazos no mayores de un decenio. Y no solo por las incertidumbres de los efectos del cambio climático. Las incertidumbres de los modelos en estos acuíferos son importantes. Ya se han comentado las geológicas y litológicas al ser pequeño el número de los sondeos existentes. La incertidumbre en las precipitaciones, en la recarga y en el agua bombeada son relativamente importantes en cualquier caso, así como las atribuciones de conductividad hidráulica y almacenamiento en toda la superficie del acuífero. Los sondeos que han servido para validar el comportamiento de los acuíferos son muy pocos. Es necesario seguir con el control continuado de los bombeos en el acuífero, la evolución de niveles y las características químicas del agua bombeada. Y por otra parte conviene comparar el comportamiento con las predicciones de los modelos y en su caso recalibrarlos o corregirlos adecuadamente.

## Posibilidades de la explotación de los acuíferos fuertemente explotados

Pueden adoptarse casi todas las opciones, desde el extremo de continuar con la explotación, como se hace actualmente, a la iniciativa de los interesados a anular todo bombeo del acuífero. Si se siguen explotando los acuíferos sin ninguna restricción, seguirán bajando los niveles y se abandonarían pozos por razones económicas al descender los niveles o los caudales, o porque se deteriore la calidad del agua bombeada. Otra opción es la de disminuir progresivamente los bombeos, no necesariamente a la recarga que tenga el acuífero o por debajo de ella, para tratar de alargar la vida del acuífero. Otra es anular todo bombeo en años húmedos o normales y solo utilizarlos en los años más secos, hacerlo solo en casos de emergencia, o reservarlos para abastecimiento urbano, incluso utilizando la desalación cuando la salinidad sea elevada.

En general no parece aconsejable utilizar los acuíferos carbonatados como almacenamiento de caudales excedentes o trasvasados, por varias razones, aunque hay que analizarlo cuidadosamente: en primer lugar de tipo económico al tener que volver a elevar el agua desde profundidades grandes y también por la incógnita de cómo puede variar su salinidad al mezclarse con el agua del acuífero. También por la lejanía de muchos de los acuíferos a las conducciones de agua existentes o que se puedan prever.

En otros casos en los que ya en la actualidad se están utilizando aguas importadas con aguas locales, superficiales, subterráneas y desaladas, en vez de recargar, en el caso de que en algún momento hubiera caudales difíciles de almacenar es preferible tratar de captarlos para su utilización directa. El Campo de Cartagena es una zona en la que conviene analizar con el mayor detalle posible el Uso Conjunto Alternante, utilizando más las aguas superficiales cuando su disponibilidad sea mayor y más económica y complementando con aguas subterráneas o desaladas en caso contrario. Aunque es preciso conocer con más detalle los acuíferos, su recarga y características hidrodinámicas, las características químicas del agua y las posibilidades de recarga artificial y de reutilización de aguas usadas. En acuíferos detríticos, como el Guadalentín no parece que vayan a existir nunca excedentes de alguna importancia para poder recargarlos y como se comentó antes en años de sequía es interesante analizar cómo y cuándo explotar los aluviales del Segura, como se ha hecho en las últimas sequías, evaluando las posibilidades de subsidencia del terreno.

Los acuíferos carbonatados en los que podría ser aceptable la recarga artificial como almacenamiento en relación con el trasvase Júcar-Vinalopó, podrían ser los del Alto Vinalopó, aunque también habría que conocerlos con mayor detalle. Pero también habría que analizar todas las alternativas posibles de gestión.

En cualquier caso las decisiones tienen que analizarse caso por caso y dependerán de las particularidades sociales, económicas, políticas y ambientales y por supuesto hidrológicas.

---

## CONCLUSIONES

Los acuíferos carbonatados de la cuenca del Vinalopó y del Altiplano de Murcia, juntamente con otros detríticos de la cuenca del Segura, que también se analizan en este trabajo, se han venido explotando muy por encima de su recarga natural durante los últimos decenios. Su explotación ha producido la desaparición de los manantiales por los que descargaban y también la de algunas zonas húmedas y lagunas saladas relativamente reducidas, además de descensos muy importantes de los niveles freáticos de los acuíferos explotados. La explotación hasta el año 2011, había proporcionado casi tanta agua, por encima de la extraída a los manantiales y humedales, como la importada a través del Acueducto Tajo Segura. La salinidad del agua subterránea es un problema serio en muchas zonas de los acuíferos debido a la aridez y a la salinidad de algunas formaciones. Los importantes descensos en los niveles de agua ocasionados en gran parte por el pequeño almacenamiento de las formaciones carbonatadas, producen un encarecimiento importante del agua bombeada. El efecto sobre los caudales de los ríos ha sido relativamente reducido comparado con los caudales aportados en comparación con la explotación de otros acuíferos carbonatados en la España seca como los de la Mancha; con efectos muy importantes en los ríos Júcar y Guadiana y los extensos humedales de las Tablas de Daimiel.

La Directiva Marco del Agua impone la necesidad de que en el año 2015 los acuíferos estén en buen estado cuantitativo y cualitativo. Análisis elementales ponen de manifiesto que aunque se dejase de bombear es imposible que los acuíferos puedan alcanzar su equilibrio natural en siglos; no hay otra solución que acogerse a las excepciones que admite la Directiva. La necesidad de reemplazar o reperforar las captaciones, el coste energético y la salinidad, junto con el agotamiento de las reservas hace que la explotación de estos acuíferos se reduzca y eventualmente desaparezca.

El papel que pueden jugar los acuíferos con descensos de nivel importantes está relacionado con las características socioeconómicas de cada zona y con los intereses de los directamente afectados. Podrán seguirse explotando los acuíferos hasta que lo permitan los costes o la calidad del agua. También se pueden disminuir los bombeos de forma progresiva, para tratar de alargar su vida, reservarlos para abastecimiento en alguna zona, o por último anular o disminuir los bombeos en años húmedos y únicamente utilizarlos para emergencias en las situaciones más secas.

---

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco las muchas sugerencias y comentarios del profesor Emilio Custodio y de los revisores de este trabajo que han contribuido notablemente a mejorarlo.

## REFERENCIAS

- Albacete Carreira, M., Solís García-Barbón, L., Gil Morgado, F., Gómez Plaza, Gómez Cuevas, A., Sánchez Merlos, M. (2001). Bases para una gestión sostenible de las aguas subterráneas del Campo de Cartagena. *VII Simposio Asociación Española de Hidrogeólogos Murcia*.
- Andreu Rodes, J.M., Estévez Rubio, A., Morell Evangelista, I., Pulido-Bosch, A. (1998). La contaminación de acuíferos kársticos ligada a la sobreexplotación. *Jornadas sobre la Contaminación de las Aguas Subterráneas: un Problema Pendiente*. Valencia, AIH-GE: 355-362.
- Aragón, R., Solís, L., Rodríguez, T. (1989). La sobreexplotación de acuíferos en la cuenca del Segura. *Congreso Nacional La Sobreexplotación de Acuíferos*. Almería: 157-175.
- Aragón, R. (2003). Las aguas subterráneas de la cuenca del Segura: problemática y oportunidades. *Hidropres*, 39, 52-62.
- Aragón, R., Solís, L., Hornero, J. (1999). Características químicas de las aguas subterráneas de la cuenca del Segura. Aptitud de uso y principales fuentes de contaminación. En: *La Contaminación de las Aguas Subterráneas: Un Problema Pendiente*. ITGE-AIH, Madrid: 363-372.
- Cabezas Calvo-Rubio, F.(2011). Explotación de las aguas subterráneas en la cuenca del Segura. *Papeles de seguridad hídrica y alimentaria y cuidado de la naturaleza* nº 3. Fundación Marcelino Botín.
- Cerón, A., Pulido-Bosch A., Bakalowicz, M. (1999). Application of Principal Components Analysis to the study of CO<sub>2</sub> rich thermomineral waters in the aquifer system of Alto Guadalentín (Spain). *Hydrological Sciences-Journal*, 44(6), 929-942. doi:10.1080/02626669909492290
- Cruces de Abia, J. (2001). Evaluación de los recursos y el Libro Blanco. Metodología utilizada en cuanto a las aguas subterráneas. En V. Iribar, J. Grima, X. Sánchez-Vila (editores). *Las aguas subterráneas y el Plan Hidrológico nacional*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español.
- Custodio, E. (2002). Aquifer overexploitation, what does it mean? *Hydrogeology Journal*, 10(2): 254-277. doi:10.1007/s10040-002-0188-6
- Estrela, T., Cabezas Calvo-Rubio, F., Estrada Lorenzo, F. (1999). La evaluación de los recursos hídricos en el *Libro Blanco del Agua en España Ingeniería del agua*, 6(2), 125-138.
- Estrela, T., Quintas, L. (1996). El sistema integrado de modelización precipitación-aportación SIMPA, *Ingeniería Civil*, 104, 43-52, Madrid,
- Gobierno Regional de Murcia. (1988) El sistema acuífero del Alto Guadalentín, en El Alto Guadalentín. *Seminario sobre gestión de acuíferos sobreexplotados y comunidades de usuarios*. Dirección de Recursos Hidráulicos, Murcia.
- IGME-DPA. (2006). Estudio del funcionamiento hidrogeológico y simulación numérica del flujo subterráneo en los acuíferos carbonatados de Solana y Jumilla Villena (Alicante y Murcia).
- Molina J.L., García-Aróstegui, J. L., José Benavente, J. (2009) Explotación intensiva de los acuíferos carbonatados del altiplano de Murcia. *Geogaceta*, 46, 163-166.
- Pulido-Velazquez, D., Sahuquillo, A., Andreu, J., Pulido-Velázquez, M. (2007). An efficient conceptual model to simulate surface water body-aquifer interaction in conjunctive use management models, *Water Resources Research*, 43, W07407, doi:10.1029/2006WR005064
- Sahuquillo, A. (1993). Papel de los acuíferos en la regulación de los recursos hidráulicos. En *Las aguas subterráneas. Importancia y perspectivas*, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales e Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. pp. 103-117.

- Samper, J., García Vera, M.A. (1992). Manual de usuario del programa BALAN\_8. Dpto. de Ingeniería del terreno. E. T. S. de Ingenieros de Caminos. UPC. Barcelona.
- Samper, J., García Vera, M.A., Pisani, B., Alvares, D., Varela, A., Losada, J. A. (2007). Modelos hidrológicos y sistemas de información geográfica para la estimación de los recursos hídricos: aplicación de GIS-BALAN a varias cuencas españolas. En *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* Vol. VIII. J.V. Giráldez Cervera y F.J. Jiménez Hornero.
- Samper, J., Huguet, Ll. Ares, J., García Vera, M.A. (1999). Manual del usuario del programa VISUAL BALAN V.1.0 Código interactivo para la realización de balances hidrológicos y la estimación de la recarga, Informe técnico para ENRESA. Universidad de A Coruña 124 pp.
- Senent, M., García-Aróstegui, J.L. (coord.) (2014). *Sobreexplotación de acuíferos en la cuenca del Segura*. Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua.
- Turrión Peláez, L.F., Martínez Arias, A., Delgado Moya, S. (2011). *Las aguas subterráneas en la gestión de la sequía: ejemplo de la Vega Media y Baja del Segura*. Confederación Hidrográfica del Segura. Murcia: 1-260.
- UPV (2005) *Modelación matemática del acuífero alto Guadalentín*. IIAMA Universidad Politécnica de Valencia.
- UPV (2006a). *Modelación matemática del acuífero Ascoy Sopalmu*. IIAMA Instituto del Agua y Medio ambiente.
- UPV (2006b). *Estudio de cuantificación del volumen anual de sobreexplotación del acuífero de la unidad hidrogeológica, 07.05 Jumilla-Villena*. Informe inédito.