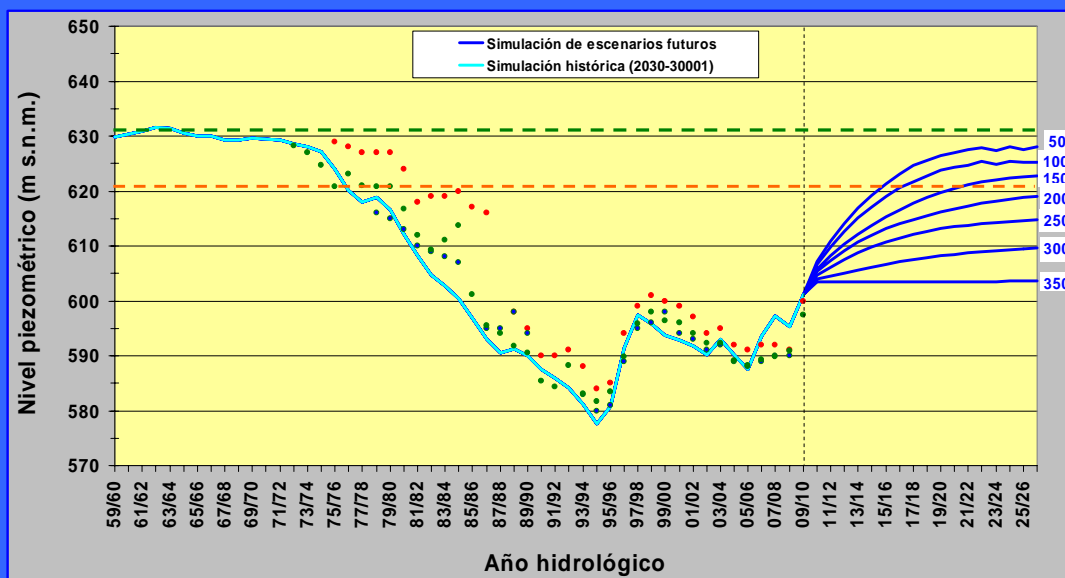


ENCOMIENDA DE GESTIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE TRABAJOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS DE APOYO A LA SOSTENIBILIDAD Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Actividad 3: Seguimiento y asistencia técnica en el proceso de planificación hidrológica



Estudio de la evolución futura del sistema hidrológico de la cuenca alta del Guadiana a partir de diferentes escenarios meteorológicos y de explotación

Septiembre 2010



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL Y MARINO



Instituto Geológico
y Minero de España

DIRECCIÓN GENERAL
DEL AGUA

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN FUTURA DEL SISTEMA HIDROLÓGICO DE LA CUENCA ALTA DEL GUADIANA A PARTIR DE DIFERENTES ESCENARIOS METEOROLÓGICOS Y DE EXPLOTACIÓN

Autores del Informe:

Luis Martínez Cortina

Miguel Mejías Moreno

María Elena Galindo Rodríguez

Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

Coordinación de los trabajos:

Luis Martínez Cortina

Loreto Fernández Ruiz

Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

Septiembre de 2010

INDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	4
2. EL MARCO DE LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA	5
3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL SISTEMA HIDROLÓGICO DE LA CUENCA ALTA DEL GUADIANA	6
3.1. Comportamiento en régimen natural	7
3.2. La capacidad de autorregulación de los acuíferos de la cuenca alta del Guadiana	9
3.3. Comportamiento en régimen perturbado	10
4. TÉRMINOS DEL BALANCE HÍDRICO	12
4.1. Recarga directa de la lluvia	13
4.2. Recarga indirecta procedente de los ríos	13
4.3. Evapotranspiración	14
4.4. Drenaje a los ríos	15
4.5. Transferencias laterales entre acuíferos	17
4.6. Bombeos	17
5. ANÁLISIS DE EVOLUCIÓN FUTURA DE LA CUENCA ALTA DEL GUADIANA	18
5.1. Punto de referencia seleccionado	19
5.2. Otras hipótesis y simplificaciones a considerar	19

6. ESCENARIOS CONSIDERADOS	21
6.1. Horizontes temporales analizados	21
6.2. Escenarios meteorológicos	22
6.2.1. Escenarios meteorológicos para las simulaciones de 5 años	23
6.2.2. Escenarios meteorológicos para las simulaciones de 11 años ..	24
6.2.3. Escenarios meteorológicos para las simulaciones de 17 años ..	25
6.3. Escenarios de explotación	27
6.4. Escenarios de cambio climático	29
7. ANÁLISIS DE ESCENARIOS	30
7.1. Análisis del Horizonte 2015	32
7.2. Análisis del Horizonte 2021	35
7.3. Análisis del Horizonte 2027	39
7.4. Escenarios de equilibrio	43
7.5. Escenarios de cambio climático	45
7.6. Tabla-resumen de escenarios	46
8. RESUMEN Y CONCLUSIONES	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El presente informe se emite a solicitud de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. Forma parte de los trabajos previstos en el *Acuerdo para la Encomienda de Gestión por la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente* [actualmente Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino], *al Instituto Geológico y Minero de España (IGME), del Ministerio de Educación y Ciencia* [actualmente Ministerio de Ciencia e Innovación], *para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas*, firmado por ambos organismos el 26 de septiembre de 2007.

La elaboración del informe se encuadra en el *Acuerdo de Modificación de Actuaciones* aprobado, con fecha 7 de julio de 2009, por la comisión de seguimiento de la Encomienda mencionada en el párrafo anterior.

El objetivo principal del presente informe es analizar la posible evolución futura del sistema hidrológico de la cuenca alta del Guadiana, y en concreto la viabilidad de la recuperación hidrológica y medioambiental de sus masas de agua y de los ecosistemas acuáticos asociados.

Este análisis se hará principalmente planteando diversos escenarios futuros en cuanto a las características climatológicas y a la extracción de aguas subterráneas de los acuíferos. Para la simulación de los diversos escenarios considerados se utilizarán modelos empíricos elaborados a partir de los datos, resultados y análisis procedentes de modelos numéricos desarrollados anteriormente, y con los que se trata de simplificar los procesos físicos simulados. En concreto, a partir de los escenarios que se planteen definidos por precipitaciones y extracciones anuales, se calculará la correspondiente evolución de niveles piezométricos en un punto de referencia, que a su vez servirá de indicador de la situación hidrológica general del sistema.

El informe prestará una especial atención a la posibilidad de cumplimiento de los plazos establecidos por la legislación (Directiva Marco del Agua de la Unión Europea) para la recuperación de las masas de agua y ecosistemas, y por tanto tendrá como principales horizontes temporales los años 2015, 2021 y 2027. Sin embargo, no se centrará exclusivamente en ese cumplimiento, sino que cuando así sea necesario se indicarán las posibilidades y condicionantes existentes en cuanto a la recuperación y mantenimiento del sistema a largo plazo. En este sentido, se hará también una estimación, muy preliminar dado el estado del conocimiento existente al respecto, sobre la posible

repercusión hidrológica y medioambiental que el efecto del cambio climático podría tener a largo plazo.

En informes elaborados recientemente dentro del marco de los acuerdos y trabajos mencionados al comienzo de esta introducción (IGME, 2010), se describían con cierto detalle algunos aspectos generales como el marco geográfico y administrativo de la cuenca alta del Guadiana (Figura 1), la climatología, etc. No se va aquí a insistir en dichas descripciones generales, salvo en algunos temas concretos especialmente relevantes a los efectos del presente informe.

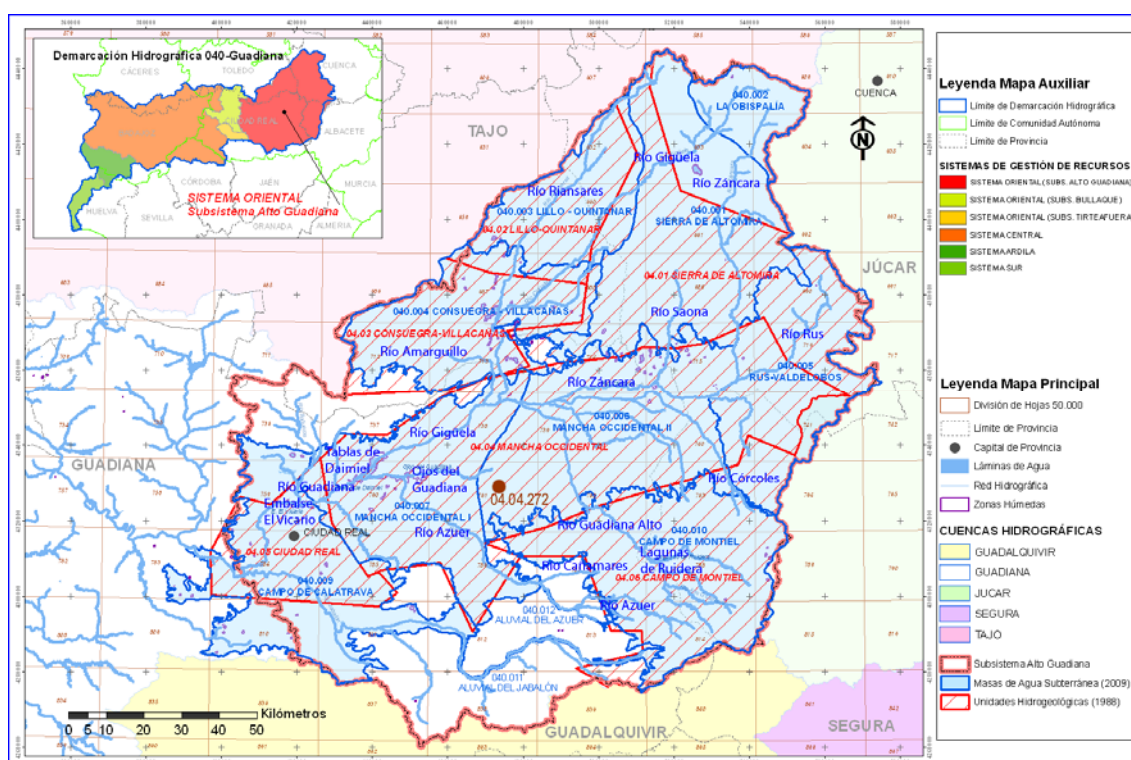


Figura 1. Mapa de la cuenca alta del río Guadiana, con la división en unidades hidrogeológicas y masas de agua subterránea.

2. EL MARCO DE LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

El actual proceso de planificación hidrológica tiene establecidas sus bases en la Directiva Marco del Agua (DMA) de la Unión Europea (Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo) (CE, 2000). La Directiva tiene un marcado enfoque medioambiental, estableciendo como objetivo principal la consecución de un *buen estado ecológico* de las aguas continentales y costeras. Establece para ello un modelo de gestión hídrica en el ámbito de las demarcaciones hidrográficas encaminado a promover un uso eficiente y sostenible del agua, basado en la protección a largo plazo de los recursos hídricos.

La DMA fue transpuesta a la legislación española a finales de 2003 (Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social). Mediante esta Ley se modificó el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA), incorporando en ella el articulado de la DMA (BOE, 2003).

La DMA establece unas exigencias en cuanto a la recuperación medioambiental de las masas de agua y de los ecosistemas acuáticos asociados, y unos plazos para la consecución de dichos objetivos.

Como se comentó en la introducción, el presente trabajo pretende dar una idea de la posible evolución del sistema hidrológico de la cuenca alta del Guadiana ante diferentes escenarios planteados (relativos a meteorología, extracciones de agua subterránea y cambio climático), relacionando dicha evolución con la posible recuperación hidrológica y medioambiental del sistema.

El trabajo no ignora como marco de fondo este proceso de planificación hidrológica existente, por lo que los horizontes temporales analizados se harán corresponder con hitos temporales establecidos en el propio proceso de planificación, como se verá en el apartado 6.1. De esta manera los escenarios planteados para los próximos años se podrán analizar desde el punto de vista del cumplimiento de los objetivos de planificación de la DMA.

3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL SISTEMA HIDROLÓGICO DE LA CUENCA ALTA DEL GUADIANA

Un estudio sobre la previsible evolución futura de un sistema hidrológico ante determinados escenarios y actuaciones que se planteen, requiere, como punto de partida, un conocimiento adecuado del funcionamiento y comportamiento de dicho sistema, tanto a nivel conceptual como cuantitativo.

El acuífero central de la cuenca alta del Guadiana, de naturaleza detrítica y carbonatada, y que ocupa básicamente toda la Llanura Manchega, reúne las características necesarias para llevar a cabo este análisis de evolución futura, tanto por sus características específicas como por el conocimiento que del mismo se tiene.

Aunque este conocimiento presenta algunas lagunas, y es en algunos aspectos manifiestamente mejorable, las bases del funcionamiento hidrológico están claramente asentadas. Además, las características del acuífero hacen que su respuesta a las acciones externas, tanto antrópicas (extracciones de agua subterránea principalmente), como no antrópicas (secuencias meteorológicas), sean relativamente moderadas desde el punto de

vista de su influencia en los niveles piezométricos, al contrario de lo que sucede, por ejemplo, en el acuífero contiguo del Campo de Montiel, de marcado carácter kárstico. Esto ha permitido que esa zona, clave por otra parte en el comportamiento del conjunto de la cuenca alta del Guadiana, haya sido modelada en diversas ocasiones con resultados muy aceptables en cuanto a su calibración, lo que ha permitido mejorar el conocimiento del sistema, tanto desde un punto de vista cualitativo, como especialmente cuantitativo. Estos valores históricos calibrados resultan esenciales para el planteamiento del presente trabajo, que pretende simular el comportamiento de futuro del sistema sin necesidad de desarrollar un nuevo modelo, y con una metodología empírica más fácilmente utilizable y revisable.

Se analizan a continuación los principales aspectos del funcionamiento hidrológico del sistema, incidiendo de manera especial en aquellos que tienen especial repercusión de cara a analizar su comportamiento futuro. Alguno de estos aspectos no siempre ha sido suficientemente tenido en cuenta cuando se hacen dichos análisis y previsiones de futuro.

3.1. Comportamiento en régimen natural

El funcionamiento hidrológico de la cuenca alta del Guadiana en régimen natural está caracterizado por la gran interrelación existente entre las aguas superficiales y las subterráneas.

La zona central del sistema, que en la actualidad comprende principalmente las masas de agua subterránea (MASb) de Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos (Figura 1), es conocida como la Llanura Manchega por sus características topográficas, y resulta clave en el funcionamiento de todo el sistema, actuando básicamente como colector del mismo (Cruces y Martínez Cortina, 2000).

Las entradas de agua en dichas masas centrales proceden de la recarga directa de la lluvia, de los flujos laterales de otros acuíferos con niveles piezométricos más altos (más importantes en el caso de Mancha Occidental II), y de la infiltración de los ríos, cuando sus cauces están por encima del nivel piezométrico (Záncara, Guadiana al salir del Campo de Montiel, Azuer). Las salidas en régimen natural se producían por drenaje del acuífero en las zonas de descarga (particularmente importantes en los Ojos del Guadiana y Tablas de Daimiel), y por evapotranspiración desde las zonas húmedas y las riberas de los ríos. En esta situación natural la circulación del agua subterránea tenía un sentido general hacia el oeste. La Figura 2 muestra un perfil longitudinal muy

esquemático de la zona central, desde las zonas de descarga en el oeste (Mancha Occidental I) a las áreas de recarga en el este (Rus-Valdelobos). La superficie libre señalada para 1972 puede considerarse representativa de una situación del sistema (respecto a niveles) cercana a la natural.

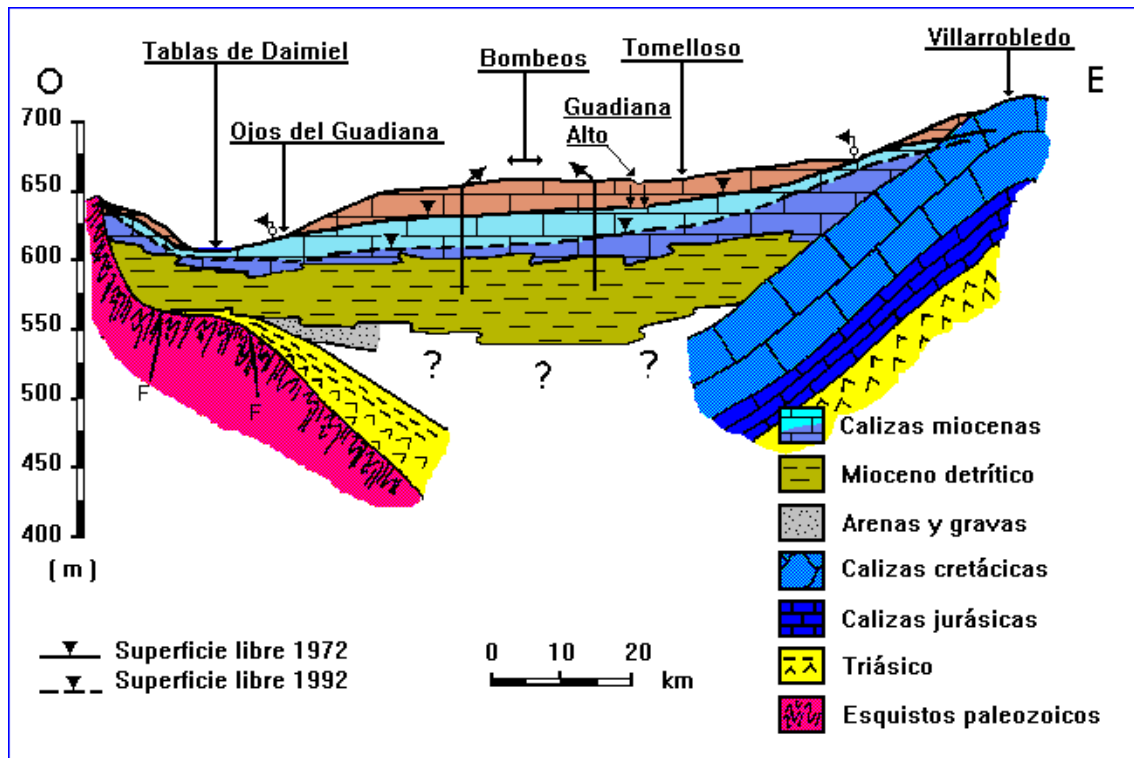


Figura 2. Perfil longitudinal de la Llanura Manchega (masas de agua subterránea de Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos) (García Rodríguez y Llamas, 1992).

Las interacciones con las MASb adyacentes, especialmente con las de Sierra de Altomira al norte y Campo de Montiel al sur, son complejas, con conexiones no muy claramente definidas, debido a las complicadas características geométricas, hidrogeológicas y estructurales de las zonas de contacto. Además, en el extremo oriental del sistema, donde se sitúa la MASb Rus-Valdelobos, parece existir un límite hidrogeológico con la MASb Mancha Oriental (cuenca del Júcar), que no coincide exactamente con la divisoria hidrológica de aguas superficiales.

Al sur del sistema, la MASb de Campo de Montiel es un acuífero de tipo kárstico, muy fracturado, constituido principalmente por materiales jurásicos carbonatados. Funciona como un acuífero libre, con un comportamiento del flujo subterráneo muy condicionado por las fracturas existentes y su dirección, mientras que su piezometría se caracteriza por oscilaciones notables relacionadas con episodios de lluvias importantes o secuencias secas. La lluvia constituye su fuente de recarga, mientras que la descarga se produce principalmente a través de manantiales situados sobre todo en los bordes oeste y sur de

la masa, o bien inmersos dentro de la misma (Montero, 1994), dando lugar a ríos como el Guadiana Alto, Azuer, Cañamares o Jabalón. La mayor parte del flujo subterráneo se transfiere hacia la Llanura Manchega, bien superficialmente a través de la escorrentía generada en el Guadiana Alto, o bien a través de la transferencia lateral hacia los acuíferos de Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos, cuantitativamente importante en los balances hídricos (IGME, 2010).

Por lo que respecta a las masas situadas al norte de la Llanura Manchega, la MASb de la Sierra de Altomira se recarga principalmente por la infiltración del agua de lluvia y de la escorrentía superficial, mientras que la descarga natural se produce por drenaje hacia los ríos, a través de manantiales, y por descargas laterales hacia la Llanura Manchega y hacia las masas de Lillo-Quintanar y Consuegra-Villacañas. En su parte más septentrional el drenaje tiene lugar hacia el río Gigüela, mientras que en su zona meridional el agua circula hacia los ríos Záncara, Saona y Rus, y hacia las comentadas masas adyacentes.

En las MASb de Lillo-Quintanar y Consuegra-Villacañas, la recarga se produce por infiltración de la lluvia, y en algunas zonas por infiltración de ríos, especialmente durante el estiaje. El sentido de circulación del agua en los acuíferos triásico y mioceno tiene una clara componente hacia los ríos Riansares y Gigüela. En el acuífero cámbrico la circulación es hacia el norte, con drenaje hacia el río Amarguillo. Otras descargas del sistema se producen por evapotranspiración en zonas encharcadas y por escorrentía subterránea hacia la Llanura Manchega.

3.2. La capacidad de autorregulación de los acuíferos de la cuenca alta del Guadiana

Partiendo de una hipotética situación histórica en la que no se extraía agua de los acuíferos, el sistema en su conjunto (considerada su divisoria hidrogeológica), puede considerarse en una situación media de equilibrio, con unas entradas procedentes de la recarga de la lluvia y de la infiltración de los ríos en tramos en que estos son influentes, y unas salidas equivalentes constituidas por las descargas a ríos y zonas húmedas en las zonas de drenaje del sistema, y por la evapotranspiración desde el propio acuífero, en zonas con el nivel freático cercano a la superficie. Estas descargas contribuían a mantener unos determinados valores de la escorrentía subterránea en el caudal de los ríos y una cierta superficie de zonas húmedas.

En esta situación natural del acuífero, las secuencias húmedas o secas producen ligeros ascensos o descensos de los niveles piezométricos en torno a la posición de equilibrio. Esto se traduce en pequeñas variaciones de las descargas de los acuíferos, y por tanto del caudal circulante por los ríos. El consiguiente aumento o disminución de las áreas inundadas y de descarga, incide a su vez en la existencia de un mayor o menor volumen de evapotranspiración, que viene a compensar en cierta medida el balance del sistema, contribuyendo a mantener los niveles próximos a unos valores medios. Este comportamiento es representativo de la capacidad de autorregulación de los acuíferos de la cuenca alta del Guadiana.

Esta autorregulación se pone también de manifiesto cuando en dichos acuíferos comienza a realizarse un aprovechamiento de las aguas subterráneas. Inicialmente se produce un descenso (en principio pequeño si las extracciones lo son), de los niveles piezométricos, y una disminución de las descargas a los ríos y zonas húmedas, lo que se traduce en un menor caudal circulante por los ríos y una reducción de la superficie de los humedales. A su vez, esto conlleva una disminución de la salida por evapotranspiración.

Mientras existe conexión entre los acuíferos y las corrientes superficiales y zonas húmedas, se mantiene este comportamiento autorregulador.

3.3. Comportamiento en régimen perturbado

Con la intensa explotación de las aguas subterráneas, producida especialmente en la Llanura Manchega a partir de la década de los 70 del pasado siglo, el funcionamiento del sistema ha sufrido importantes modificaciones. El descenso de los niveles piezométricos (Figura 3) ha hecho que en las masas centrales del sistema el acuífero haya quedado descolgado de las corrientes superficiales. A partir de ese momento se rompe el comportamiento autorregulador anteriormente analizado (Martínez Cortina, 2003).

Esta desconexión supone la desaparición de la aportación subterránea del acuífero al caudal de los ríos. Así, las áreas húmedas se han reducido drásticamente, y muchas zonas y cauces superficiales que antes recibían la descarga del acuífero, han pasado a ser áreas de recarga, donde se produce infiltración. El esquema de flujo se encuentra ahora condicionado en muchos lugares por los descensos de nivel producidos. Por ejemplo, la formación de conos de bombeo en la parte central y occidental de la Llanura Manchega hace que el flujo se dirija desde los contornos del sistema hacia dicha zona

central. En esta situación perturbada, que es la que se ha producido en la zona central del sistema (MASb de Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos) los cauces se limitan a recoger la escorrentía superficial, que con frecuencia se infiltra totalmente en los acuíferos sin llegar al final de la cuenca, al embalse de El Vicario.

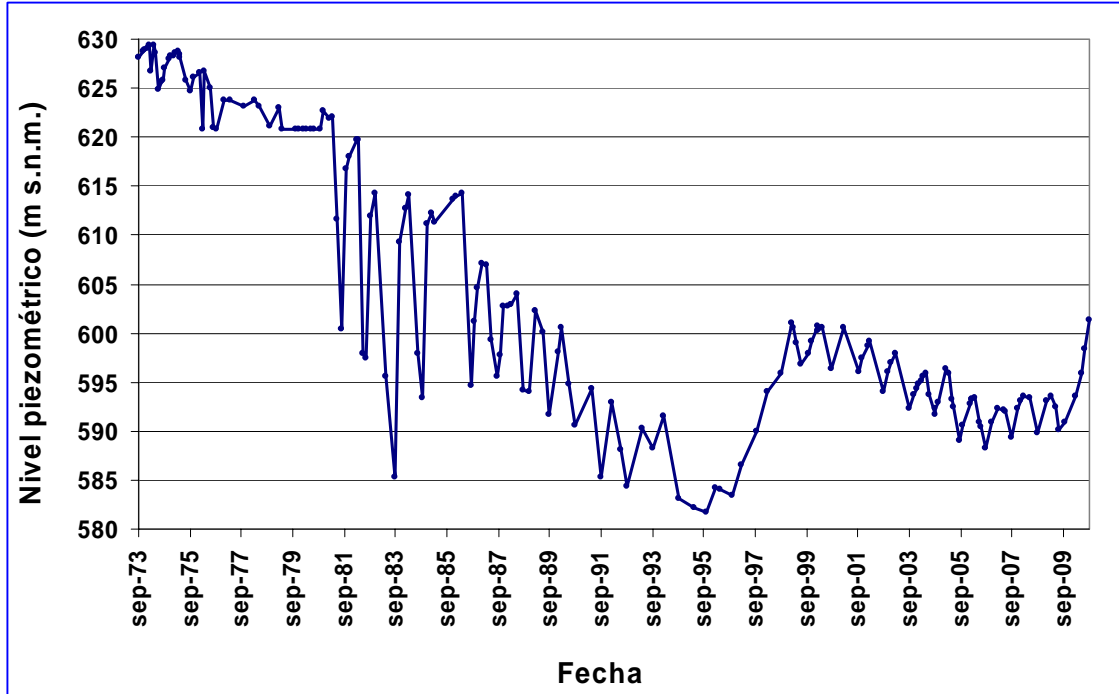


Figura 3. Evolución piezométrica en el punto histórico de control del IGME 203030001 (actual punto 04.04.272 de la Red Oficial de Control de Aguas Subterráneas de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana) (Término municipal de Manzanares, ver situación en la Figura 1).

Es importante diferenciar este comportamiento de las masas centrales de la cuenca alta con el de las MASb laterales. Dadas sus características, las masas situadas al norte de las tres anteriores (La Obispalía, Sierra de Altomira, Lillo-Quintanar y Consuegra-Villacañas) no han tenido una extracción de aguas subterráneas significativas en comparación con las de la Llanura Manchega, salvo en las zonas más próximas a la misma, y los problemas de alteraciones sobre el régimen natural son más moderados.

En el caso de la MASb del Campo de Montiel, su carácter kárstico y fracturado produce un comportamiento muy condicionado por la pluviometría y caracterizado por notables oscilaciones piezométricas. A su vez, estas oscilaciones condicionan de forma muy estacional la situación de sus zonas húmedas, y en concreto de las Lagunas de Ruidera, un conjunto de lagunas escalonadas que discurren en dirección noroeste dentro del Campo de Montiel. El acuífero no ha sufrido alteraciones drásticas con respecto a su funcionamiento en régimen natural, como sucedía en las masas centrales de la cuenca. Las importantes oscilaciones de los niveles piezométricos obedecen más en este caso a

las secuencias pluviométricas que a las extracciones de agua, que se mantienen en valores moderados. Desde un punto de vista cuantitativo, el descenso generalizado de niveles en las masas de Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos, a las que descarga lateralmente el acuífero del Campo de Montiel, ha inducido un cierto incremento de dicha transferencia (IGME, 2008), que ha podido cuantificarse de forma aproximada a través de los modelos de flujo desarrollados.

4. TÉRMINOS DEL BALANCE HÍDRICO

El conocimiento cualitativo y cuantitativo del sistema hidrológico, y de su evolución a lo largo del tiempo, en función de la propia situación del sistema, constituye el factor clave que permite analizar el comportamiento futuro del sistema, adaptándolo de la forma más fiel posible al escenario que en cada caso se plantee.

En un trabajo desarrollado anteriormente sobre la estimación de recursos hídricos en la cuenca alta del Guadiana (IGME, 2010), se planteaban balances hídricos detallados de las distintas masas de agua subterránea de la cuenca alta del Guadiana en diferentes situaciones del sistema, como forma más adecuada de describir cuantitativamente la evolución del comportamiento de los acuíferos. Se distinguía en primer lugar una situación de partida en la que se estimaba el balance hídrico en un hipotético régimen natural en el que no existían efectos antrópicos de ningún tipo. Se estimaba también el balance hídrico en la situación existente a mediados del pasado siglo, en el que podía suponerse alcanzada una situación de equilibrio caracterizada por una extracción mantenida durante mucho tiempo (la efectuada mediante las norias desde siglos atrás), y que desde el punto de vista del balance hídrico se traducía en una ligera reducción de la descargas del acuífero a los ríos y del volumen de evapotranspiración de las zonas húmedas y de descarga. Por último se efectuaba una estimación de la situación actual, o más exactamente, de la que correspondería al equilibrio que se llegaría a alcanzar manteniendo aproximadamente las extracciones actuales (estimadas como valor medio en unos 350 hm³/año en las masas centrales de la cuenca) y su distribución, y que sería representativa de la actual situación del sistema, profundamente alterada respecto a las dos anteriores.

Para el presente trabajo se ha analizado la evolución de los diferentes términos del balance hídrico y su comportamiento cualitativo y cuantitativo en función de la situación general del sistema hidrológico. A grandes rasgos puede comentarse lo siguiente respecto a cada una de las componentes del balance hídrico:

4.1. Recarga directa de la lluvia

Es función de la precipitación y puede considerarse independiente de la situación en la que se encuentra el sistema. Por tanto, su valor medio a largo plazo se supone constante, excepto por la posible incidencia del cambio climático. El grueso de las simulaciones y análisis de escenarios se ha hecho sin la consideración del efecto del cambio climático, y para valorar la posible repercusión de dicho efecto se ha hecho una simulación en los escenarios denominados *de equilibrio*, cuyo planteamiento y resultados puede verse en los apartados 6.4. y 7.5.

4.2. Recarga indirecta procedente de los ríos

Este término del balance depende de la situación en la que se encuentra el sistema. Mientras está en una situación próxima al régimen natural, en la que existe conexión entre las corrientes superficiales y los acuíferos, y se mantienen las zonas de descarga *naturales*, los volúmenes infiltrados al acuífero oscilan moderadamente con respecto a unos valores medios. A medida que se produce la desconexión entre corrientes superficiales y acuíferos, y que el sistema puede considerarse en situación alterada, los valores totales de la recarga indirecta procedente de los ríos son más extremos, especialmente en lo que se refiere a los valores altos. Así, con el sistema en situación altamente perturbada, muchos tramos de ríos pasaron de ser drenados por el acuífero a convertirse en zonas de infiltración, favoreciendo un mayor valor global de la recarga indirecta del acuífero. En régimen natural hay menos zonas de recarga, pero los caudales circulantes son mayores, lo que compensa en cierta medida los valores totales del volumen infiltrado. En situación perturbada, en años con pocas precipitaciones, la falta de caudales circulantes constituye el factor limitante. Sin embargo, en años muy húmedos la situación perturbada del sistema hace posible la infiltración de un gran volumen de agua en los acuíferos.

Como muestra de esta situación, la Figura 4 (Martínez Cortina, 2001) muestra la evolución histórica (*modelo histórico*) para el conjunto de la cuenca alta del Guadiana, de los valores de recarga indirecta procedente de los ríos hasta el año 1995/96, en que precisamente puede apreciarse la importante punta de recarga indirecta que supuso el hecho de que se tratara de un año muy húmedo, el primero que hubo de esas características desde que la situación del acuífero podía considerarse fuertemente alterada.

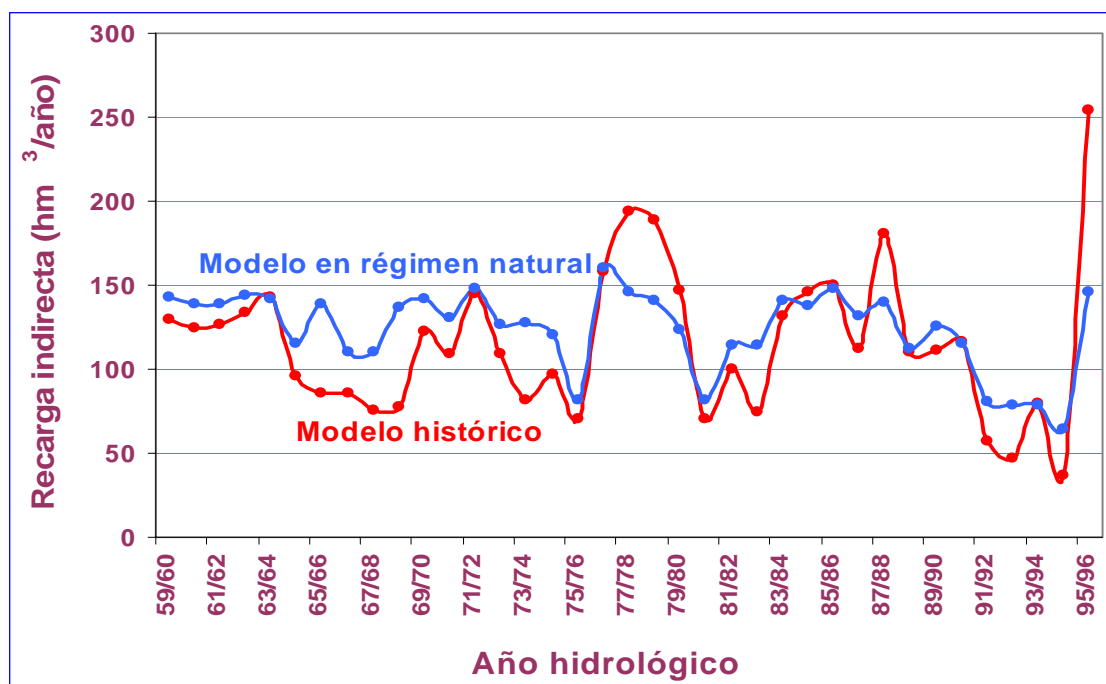


Figura 4. Valores obtenidos de la recarga indirecta procedente de los ríos, en una simulación histórica y en una simulación del régimen natural (Martínez Cortina, 2001).

Se aprecia aún más este hecho si comparamos con los resultados del denominado en la figura *modelo en régimen natural*, que simulaba el comportamiento del sistema en estado natural puro, es decir, suponiendo que nunca se hubieran producido extracciones de agua subterránea, y donde puede verse que los valores de la recarga indirecta son menos extremos.

4.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración producida desde el propio acuífero es uno de los elementos del balance hídrico que se ve más afectado por la alteración respecto a las condiciones naturales del sistema.

En una situación próxima a la natural, la descarga principal de los acuíferos se producía de forma concentrada en lugares como los Ojos del Guadiana y las Tablas de Daimiel, o bien distribuida a lo largo de los cauces de los ríos y de numerosas zonas húmedas, que se mantenían encharcadas de forma permanente o estacional gracias a las aportaciones subterráneas.

El descenso de los niveles piezométricos trajo como consecuencia una desconexión entre los acuíferos y la red superficial, con el consiguiente deterioro ecológico, al perderse numerosas zonas húmedas dependientes de la aportación subterránea. Desde el punto de vista del balance hídrico, uno de los efectos producidos es la importante

reducción de la evapotranspiración en antiguas zonas húmedas, y en zonas de descarga que han visto alterado su funcionamiento, pasando a ser áreas de recarga de los acuíferos.

En la Figura 5 (Martínez Cortina, 2001) puede verse la importancia de la reducción de los volúmenes anuales de evapotranspiración en el periodo histórico considerado. Desde el punto de vista del balance hídrico es uno de los factores importantes a tener en cuenta en el análisis del comportamiento actual de los acuíferos. Es importante también tener presente que en los escenarios de futuro a analizar en los que se producen recuperaciones importantes del sistema, este valor de la evapotranspiración volverá paulatinamente a incrementarse a medida que se produzca dicha recuperación.

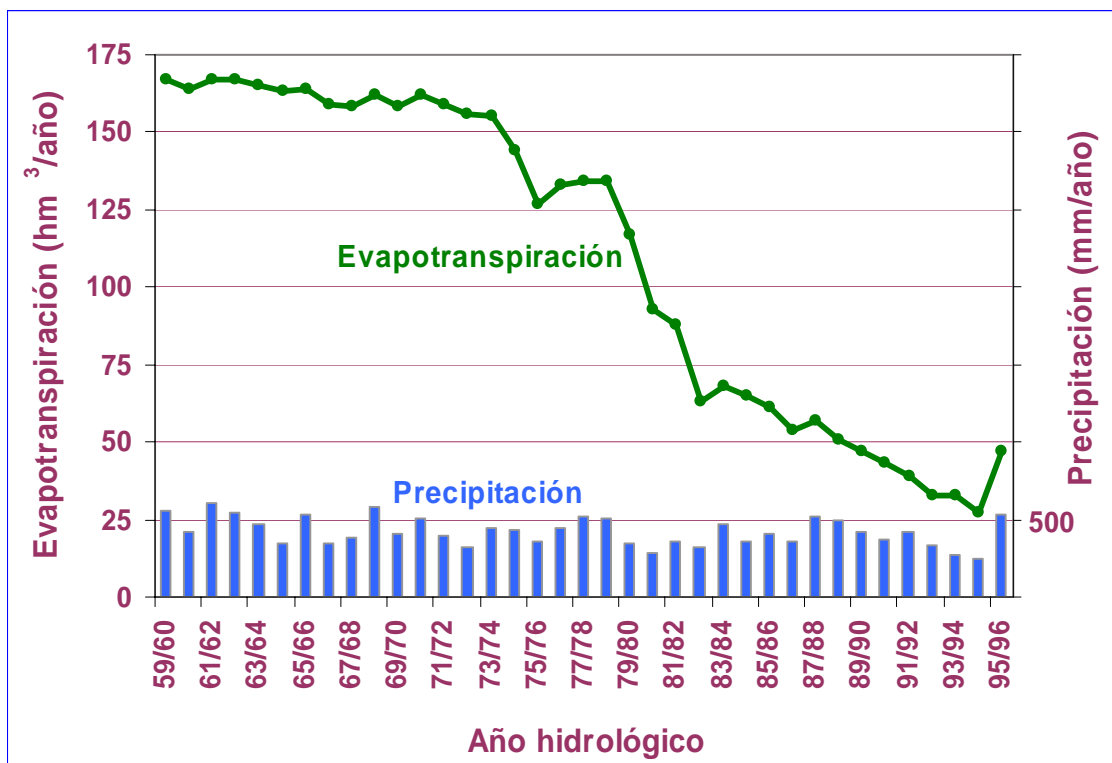


Figura 5. Evolución de los volúmenes de evapotranspiración de los acuíferos en el conjunto de la cuenca alta del Guadiana (resultados obtenidos en la simulación de un modelo de flujo subterráneo) (Martínez Cortina, 2001).

4.4. Drenaje a los ríos

El término del balance correspondiente al volumen drenado de los acuíferos se ve también profundamente afectado por las alteraciones respecto a una situación cercana al régimen natural.

Las pequeñas oscilaciones del nivel piezométrico en un acuífero que alimenta a la red de aguas superficiales suponen variaciones del caudal drenado. En la simulación de un

modelo de la cuenca alta en régimen natural, sin imponerle acciones antrópicas (Figura 6), puede verse la influencia que por si solas tienen las secuencias climatológicas en los volúmenes drenados de los acuíferos. En los periodos secos, los moderados descensos de los niveles piezométricos producen una disminución significativa de los caudales de descarga, e incluso la desaparición de algunos de estos caudales temporalmente en determinadas zonas.

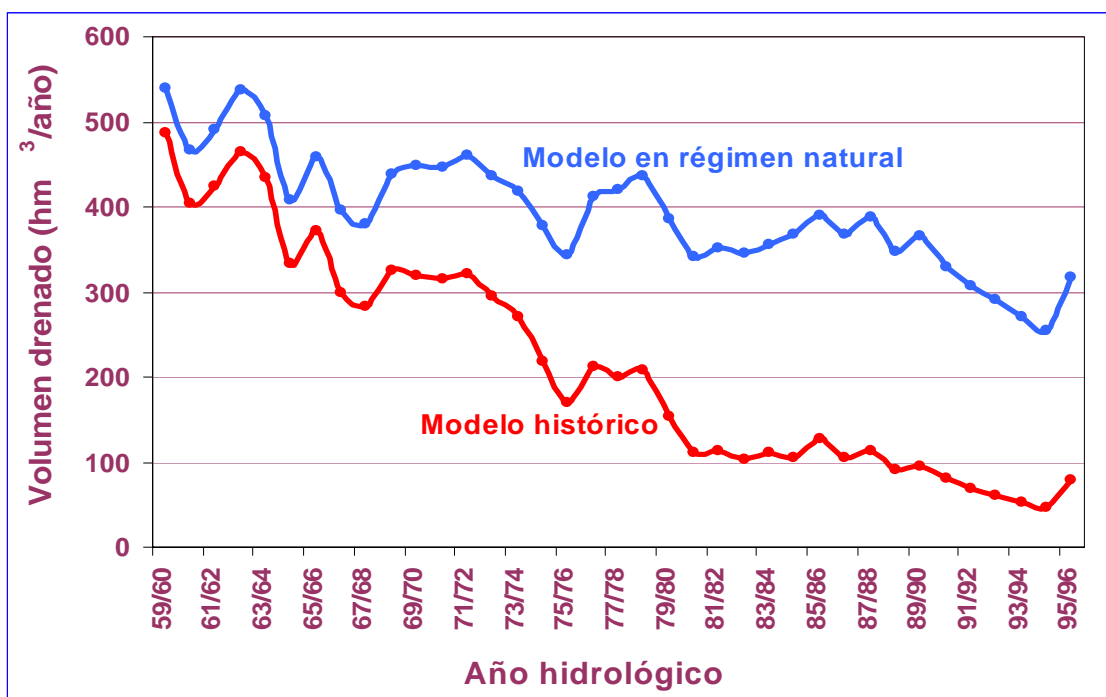


Figura 6. Evolución de los volúmenes drenados de los acuíferos de la cuenca alta del Guadiana en una simulación histórica y en otra sin acciones antrópicas (régimen natural) (Martínez Cortina, 2001).

Como puede apreciarse en la gráfica correspondiente al modelo en régimen natural, la variación de los caudales drenados es importante. Puede reducirse a menos de la mitad de un año húmedo a otro de escasas precipitaciones tras una secuencia seca (casi 550 hm³ en 1959/60, y unos 250 hm³ en 1994/95). Esta gráfica ilustra claramente el esquema de regulación natural de los acuíferos de la cuenca. Las secuencias secas se traducen en una disminución de la descarga a los ríos, lo que implica una reducción del caudal que circula por los mismos.

En la simulación histórica, el volumen drenado a los ríos disminuye en mucha mayor medida, como se ve en la Figura 6. En este caso no se trata de moderados descensos piezométricos que reducen los caudales de descarga, sino de cambios absolutos de comportamiento en la relación acuífero-río, con desaparición de numerosas zonas de descarga como consecuencia de la desconexión entre el acuífero y las corrientes superficiales, al descender muy notablemente los niveles piezométricos.

4.5. Transferencias laterales entre acuíferos

Estos términos del balance quedan anulados entre si cuando se considera el conjunto cerrado de toda la cuenca alta del Guadiana en lo que respecta a su divisoria hidrogeológica. Si se consideran aisladamente las distintas masas de agua subterránea hay que considerar las transferencias laterales que se producen entre ellas. Estas transferencias también han experimentado ligeras modificaciones dependiendo de la situación del sistema, aunque esta variación es poco relevante en comparación con algunos de los términos anteriores. La transferencia subterránea más importante se produce de la masa de agua subterránea de Campo de Montiel a las centrales del sistema (Rus-Valdelobos, y especialmente Mancha Occidental II). Esta transferencia se ha incrementado como consecuencia de las alteraciones producidas en el sistema. Los importantes descensos piezométricos registrados en la Llanura Manchega han provocado un aumento del gradiente hidráulico, que induce una mayor transferencia procedente del Campo de Montiel, pudiendo estimarse que ha pasado de unos 42 hm³/año en una situación cercana al régimen natural a unos 50 hm³/año en la situación actual, profundamente alterada (IGME, 2010).

4.6. Bombeos

Las extracciones de agua subterránea de los acuíferos de la cuenca alta del Guadiana son, evidentemente, un término fundamental en el balance hídrico. Constituyen la principal acción antrópica que ha dado lugar a la profunda modificación del régimen natural del sistema. Asimismo, junto a la pluviometría, es el otro factor del que se van a plantear distintas hipótesis sobre su comportamiento futuro (en cuanto a los volúmenes extraídos), para analizar la viabilidad de la recuperación hídrica y medioambiental del sistema.

Si en términos científico-técnicos la cuantificación de algunos de los términos del balance hídrico es realmente compleja (por ejemplo: la recarga, la evapotranspiración o el drenaje de los acuíferos), cabría esperar que el volumen de agua subterránea bombeada de los acuíferos fuera un dato con el que se cuenta. Sin embargo, el grado de incertidumbre existente con respecto a dichos volúmenes es mucho mayor que el que parece esperable y recomendable.

Desde el punto de vista de los modelos desarrollados con los que se trata de simular el comportamiento de los acuíferos, el desconocimiento de los valores históricos de extracción dificulta enormemente el proceso de calibración, esencial para la fiabilidad

del modelo. Y con respecto a los escenarios de futuro planteados, de poco servirán las previsiones existentes, y más difícil será ir las mejorando con el tiempo, sin un conocimiento suficientemente aproximado de las extracciones reales. El control de la evolución de la cuenca, pasa en definitiva, por un adecuado conocimiento de esas extracciones.

Por ello, una de las recomendaciones más necesarias que habría que hacer es la de poner los medios y mecanismos necesarios que permitan tener un control cuantitativo de las extracciones, espacial y temporalmente. En una cuenca con las características y connotaciones de la cuenca alta del Guadiana, un conocimiento suficientemente aproximado de las extracciones reales debería marcarse como un objetivo inmediato, similar al conocimiento de las precipitaciones en las estaciones meteorológicas, el de los niveles piezométricos en los puntos de la red de control, o el de los caudales de los ríos en las estaciones de aforos.

5. ANÁLISIS DE EVOLUCIÓN FUTURA DE LA CUENCA ALTA DEL GUADIANA

Para la elaboración de los modelos empíricos que se van a utilizar, el comportamiento de cada término del balance hídrico ha sido evaluado de forma cualitativa y cuantitativa, siempre en función de la situación en que se encuentre el sistema hidrológico. Como se analizó anteriormente, en diferentes situaciones del sistema el comportamiento de algunos de los términos del balance puede cambiar por completo.

El objetivo final es estimar de forma sencilla la evolución de los niveles piezométricos de la zona central de la cuenca alta del Guadiana. De esta evolución dependerá la posible recuperación del sistema hidrológico en cuanto a las conexiones acuífero-corrientes superficiales, con la consiguiente repercusión medioambiental.

Las simulaciones se realizarán en función simplemente de dos términos de los que se impondrán sus valores anuales a lo largo de toda la serie a simular: la precipitación, y el volumen de agua subterránea extraída en el conjunto de las tres masas centrales de la cuenca alta: Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos. En las series simuladas será necesario aportar estos dos valores para cada año. Cualquiera de ellos puede ser constante a lo largo de toda la serie simulada o variar anualmente.

La estimación así realizada asume una serie de hipótesis, y también de limitaciones, que permiten simplificar lo que en realidad es un proceso mucho más complejo. Sin embargo, las características de los acuíferos de la zona central, y el adecuado

conocimiento de su modelo de funcionamiento hidrogeológico, permiten afirmar que los resultados obtenidos están dentro de unos márgenes de incertidumbre que pueden considerarse tolerables con el nivel de conocimiento existente y con la propia incertidumbre inherente a todo proceso hidrológico.

A continuación se analizarán brevemente algunas de las hipótesis y simplificaciones asumidas en el proceso desarrollado, y se definirán los diferentes escenarios de futuro que van a ser simulados y analizados.

5.1. Punto de referencia seleccionado

La simplificación del proceso para analizar la evolución hidrológica del sistema lleva acarreada la necesidad de realizar una serie de hipótesis simplificadoras, que aunque puedan considerarse válidas dentro del contexto de los objetivos perseguidos, han de ser tomadas en consideración.

Así, la representación de la evolución de niveles piezométricos en la zona central de la cuenca se va a hacer en un punto en concreto. Este punto representativo seleccionado se sitúa en el término municipal de Manzanares, unos 20 km al sudeste de las Tablas de Daimiel, en la masa de agua subterránea de Mancha Occidental II, cerca de su límite con Mancha Occidental I. En ese lugar está ubicado el punto de control histórico de la Base de Datos Aguas del IGME con número de inventario 203030001, y actual punto de la Red Oficial de Control de Aguas Subterráneas de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, con código 04.04.272 (ver su situación geográfica en la Figura 1), del que se dispone de la serie histórica de evolución piezométrica (Figura 3). Corresponde a la zona donde mayores descensos históricos se han registrado, lo que favorece el proceso previo de calibración. Además, existe una correlación clara con las variaciones de los niveles piezométricos en las restantes zonas del acuífero, como por ejemplo la cercana de los Ojos del Guadiana (con descensos y ascensos ligeramente inferiores), lo que permite deducir a partir de este punto la situación en dicha zona, que a su vez constituye un indicador ideal de la posible recuperación hídrica de todo el sistema.

5.2. Otras hipótesis y simplificaciones a considerar

Otras simplificaciones importantes se producen con las extracciones de agua subterránea. La extracción que se utilizará como dato de entrada corresponde a la efectuada conjuntamente en las tres masas centrales de la cuenca: Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos. Aun con las importantes limitaciones e

incertidumbre existentes en los datos históricos referentes a extracciones, hay que tener en cuenta que la evolución que se ha producido hasta la situación actual (y por tanto la analizada, cuantificada y calibrada) es producto de una determinada distribución de las extracciones, en cuanto a su situación geográfica y también al nivel acuífero de procedencia. Las estimaciones de futuro serán más válidas en la medida que dicha distribución no varíe mucho. En todo caso, también a este respecto la incertidumbre existente en cuanto al volumen de extracciones reales tiene mayor importancia que la incidencia que puedan tener cambios moderados en la distribución del total de las extracciones.

Como se indicaba en el apartado 4, puede estimarse en unos 350 hm³/año el volumen de extracciones efectuado en el conjunto de las tres masas consideradas en los últimos años (en años de pluviometría media). Esta es la cifra que puede considerarse que a largo plazo mantendría los niveles piezométricos en la situación actual. De esa cifra, aproximadamente 145 hm³/año se atribuyen a la masa de Mancha Occidental I, 170 hm³/año a Mancha Occidental II, y 35 hm³/año corresponderían a Rus-Valdelobos. De acuerdo con la hipótesis mencionada de mantenimiento de las distribuciones, cuando se haga referencia en este informe a los volúmenes de extracción, la distribución entre las masas debería ser proporcional a la referida, es decir, 41,4% correspondería a Mancha Occidental I, 48,6% a Mancha Occidental II, y 10% a Rus-Valdelobos.

Las restantes masas de agua subterránea de la cuenca alta desempeñan un papel secundario. La estimación de extracciones en el conjunto de todas ellas es de unos 50 hm³/año (IGME, 2010). Se asume la hipótesis de que en las restantes masas se mantienen estos volúmenes. El aumento de las extracciones de forma importante podría condicionar aún más la recuperación medioambiental de la zona central de la cuenca alta, que recibe, ya sea por escorrentía superficial o subterránea, las aportaciones de las masas laterales. Ese aumento haría que las aportaciones disminuyeran en mayor o menor medida. No obstante, la incidencia en cada caso debe ser objeto de un estudio particular.

En lo que respecta al valor introducido de precipitación anual, supone evidentemente una simplificación, tanto en cuanto a la distribución geográfica como especialmente a la temporal. En concreto, la forma en la que se produce la precipitación (en cuanto a la época del año, intensidad, duración, concentración geográfica y temporal, estado del suelo, etc.) tiene una incidencia directa en el comportamiento piezométrico, especialmente a nivel local. A este respecto hay que tener en cuenta que la evolución

piezométrica histórica analizada y calibrada responde a todo este conjunto de episodios de precipitación de muy diferente tipo que se han producido históricamente. El análisis de los escenarios futuros será por tanto más fiable cuanto mayor sea su horizonte temporal, y por tanto más tiendan a compensarse unos tipos de episodios de lluvias con otros. Si se consideran aisladamente los valores de un solo año pueden producirse desviaciones importantes de lo simulado con respecto a la respuesta real.

Otras hipótesis y simplificaciones más específicas de alguna simulación o situación concreta (por ejemplo, de la consideración del cambio climático) son indicadas y analizadas en los apartados correspondientes.

6. ESCENARIOS CONSIDERADOS

Se definen a continuación los criterios y escenarios elegidos para ser simulados y analizados posteriormente. Se ha pretendido que el conjunto de escenarios simulados permita tener una idea clara de la posible evolución futura del sistema hidrológico de la cuenca alta del Guadiana en función de la explotación de agua subterránea que se realice, y en concreto de las posibilidades existentes en cuanto a su recuperación hidrológica y medioambiental.

6.1. Horizontes temporales analizados

Como se comentó anteriormente, el presente trabajo pretende dar respuesta a las posibilidades reales de cumplir las exigencias establecidas a partir de la entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (DMA), en cuanto a la recuperación medioambiental de las masas de agua y de los ecosistemas acuáticos asociados. En consecuencia, los horizontes temporales que van a definirse para su análisis se corresponden con hitos establecidos en el propio proceso de planificación.

De acuerdo con la DMA (CE, 2000), en el año 2015 se cumple el plazo establecido para la consecución de los objetivos medioambientales exigidos (15 años después de su entrada en vigor), coincidiendo con la finalización del primer ciclo de planificación de 6 años iniciado teóricamente con el Plan Hidrológico de 2009 (9 años después de la entrada en vigor de la Directiva). Este proceso requeriría de nuevas elaboraciones de Planes Hidrológicos de la Demarcación y programa de medidas en 2015 (para el periodo 2015–2021), en 2021 (para el periodo 2021–2027), y así sucesivamente.

A este respecto hay que tener en cuenta que la DMA (art. 4.4) establece que en determinadas condiciones puede prorrogarse el plazo establecido de 2015 para la

consecución progresiva de los objetivos relativos a las masas de agua, siempre que dicha prórroga se limite a un máximo de dos nuevas actualizaciones del Plan Hidrológico de cuenca, lo que llevaría en ese supuesto hasta el año 2027.

Por otra parte se va a tomar como fecha de inicio de las simulaciones de escenarios que se van a realizar, la correspondiente al 1 de octubre de 2010 (inicio del año hidrológico 2010/11). En la fecha en la que se elabora el presente documento, las características climatológicas del año 2009/10 ya están claramente establecidas como año muy húmedo y las repercusiones piezométricas a la fecha en que comenzará el año hidrológico 2010/11 pueden estimarse con suficiente aproximación.

Por tanto, y a efectos de trabajar con años hidrológicos, se considerará el 2010/11 como primer año de la simulación, y se establecerán horizontes temporales hasta los años 2014/15 (5 años), 2020/21 (11 años), y 2026/27 (17 años) (Tabla 1).

Periodo considerado	Duración del periodo
Octubre 2010 – Septiembre 2015	5 años
Octubre 2010 – Septiembre 2021	11 años
Octubre 2010 – Septiembre 2027	17 años

Tabla 1. Horizontes temporales considerados para la simulación de escenarios.

6.2. Escenarios meteorológicos

En general, la simulación en el tiempo de procesos de flujo subterráneo utilizando un valor constante medio de la recarga puede conducir a una distorsión importante de los resultados finales. En climas como el de la cuenca alta del Guadiana esto se hace más evidente, puesto que las puntas importantes de recarga se producen sólo en años de pluviometría muy alta, mientras que en años secos los valores de la recarga se reducen a valores mínimos. Este hecho se ha puesto de manifiesto en modelos numéricos previos desarrollados sobre el conjunto de acuíferos de la cuenca alta del Guadiana (Martínez Cortina, 2001).

Por ello se ha optado por simular los escenarios futuros utilizando series reales de precipitación. Así, y teniendo en cuenta los horizontes temporales a analizar (los 5, 11 y 17 años correspondientes hasta 2015, 2021 y 2027) (Tabla 1), se han seleccionado en cada caso las series temporales históricas de dicha duración más húmeda, más seca, y dos de valores medios. Como valores de la serie histórica de precipitación se han considerado los medios anuales calculados para toda la superficie de la cuenca alta del

Guadiana. En la Figura 7 pueden verse gráficamente (en azul) dichos valores medios anuales, así como el correspondiente gráfico de desviaciones acumuladas (en rojo), que da una idea de la distribución histórica de secuencias secas y húmedas.

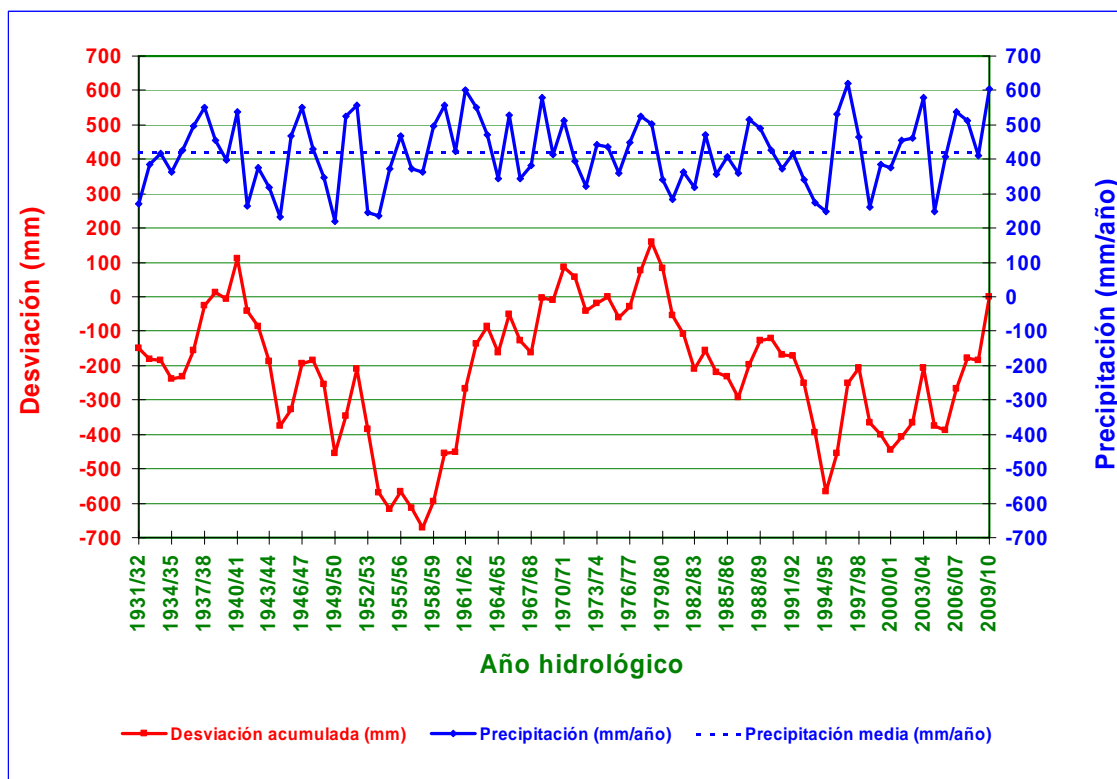


Figura 7. Precipitación anual en la cuenca alta del Guadiana, y desviaciones acumuladas respecto del valor medio.

Fuente: Modificada de Martínez Cortina (2001), con datos del SGOP (antiguo Servicio Geológico de Obras Públicas) y de la AEMET (Agencia Estatal de Meteorología).

Se relacionan a continuación los escenarios meteorológicos resultantes para cada uno de los horizontes temporales considerados de 5, 11 y 17 años.

6.2.1. Escenarios meteorológicos para las simulaciones de 5 años

Se utilizarán para las simulaciones de futuro del periodo 2010/11–2014/15.

– *Serie húmeda*: La secuencia histórica más húmeda de 5 años de duración corresponde al periodo 1958/59–1962/63 (Tabla 2). El valor medio de precipitación en ese periodo fue de 526 mm/año (un 26% por encima de la media histórica de 419 mm/año).

Año de referencia (serie histórica)	58/59	59/60	60/61	61/62	62/63
Precipitación (mm/año)	496	558	423	602	550

Tabla 2. Serie histórica más húmeda de 5 años de duración (valor medio: 526 mm/año).

– *Serie seca*: La secuencia histórica más seca de 5 años de duración corresponde al periodo 1990/91–1994/95 (Tabla 3). El valor medio de precipitación en ese periodo fue de 330 mm/año (un 21% por debajo de la media histórica).

Año de referencia (serie histórica)	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95
Precipitación (mm/año)	371	418	339	275	248

Tabla 3. Serie histórica más seca de 5 años de duración (valor medio: 330 mm/año).

– *Series medias*: Para la elección de secuencias históricas medias de 5 años de duración, se ha impuesto como condición que el valor medio de precipitación de la serie esté como máximo un 2% por encima o por debajo del valor medio de 419 mm/año. Esto determina un rango comprendido entre 410 y 428 mm/año. De entre las secuencias históricas de 5 años que cumplen esa condición se han seleccionado las de menor y mayor desviación típica en los 5 valores anuales, con el objeto de analizar si el comportamiento al que responden ambas series puede presentar una diferencia que repercuta de forma importante en los resultados finales. La Tabla 4 muestra los valores correspondientes a las dos series (1932/33–1936/37 y 1994/95–1998/99), que tienen valores medios de 418 y 425 mm/año respectivamente.

Año de referencia (serie histórica)	32/33	33/34	34/35	35/36	36/37
Precipitación (mm/año) [con menor desviación típica]	386	417	364	425	497
Año de referencia (serie histórica)	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
Precipitación (mm/año) [con mayor desviación típica]	248	531	620	465	260

Tabla 4. Series históricas medias de 5 años de duración, con menor y mayor desviación típica (valores medios: 418 y 425 mm/año respectivamente).

6.2.2. Escenarios meteorológicos para las simulaciones de 11 años

De acuerdo con los mismos criterios anteriores, para la simulación de los 11 años futuros correspondientes al periodo 2010/11–2020/21 las series históricas seleccionadas son las siguientes:

– *Serie húmeda*: La secuencia histórica más húmeda de 11 años de duración corresponde al periodo 1958/59–1968/69 (Tabla 5). El valor medio de precipitación en ese periodo fue de 480 mm/año (un 15% por encima de la media histórica de 419 mm/año).

Año referencia (serie histórica)	58/59	59/60	60/61	61/62	62/63	63/64	64/65	65/66	66/67	67/68	68/69
Precipitación (mm/año)	496	558	423	602	550	470	343	529	343	383	579

Tabla 5. Serie histórica más húmeda de 11 años de duración (valor medio: 480 mm/año).

– *Serie seca*: La secuencia histórica más seca de 11 años de duración corresponde al periodo 1943/44–1953/54 (Tabla 6). El valor medio de precipitación en ese periodo fue de 375 mm/año (un 11% por debajo de la media histórica).

Año referencia (serie histórica)	43/44	44/45	45/46	46/47	47/48	48/49	49/50	50/51	51/52	52/53	53/54
Precipitación (mm/año)	317	231	468	552	428	348	220	526	557	244	234

Tabla 6. Serie histórica más seca de 11 años de duración (valor medio: 375 mm/año).

– *Series medias*: Entre las secuencias históricas de 11 años que cumplen la condición de tener su valor medio en el rango 410–428 mm/año, las de menor y mayor desviación típica corresponden a los periodos 1969/70–1979/80 y 1994/95–2004/05 (Tabla 7). Los valores medios anuales respectivos de la precipitación en esas series son de 427 y 421 mm.

Año de referencia (serie histórica)	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80
Precipitación (mm/año) [menor desv. típica]	414	512	393	320	442	436	360	449	525	503	342

Año de referencia (serie histórica)	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05
Precipitación (mm/año) [mayor desv. típica]	248	531	620	465	260	384	376	455	462	578	249

Tabla 7. Series históricas medias de 11 años de duración, con menor y mayor desviación típica (valores medios: 427 y 421 mm/año respectivamente).

6.2.3. Escenarios meteorológicos para las simulaciones de 17 años

Se utilizarán para simular el periodo correspondiente a 2010/11–2026/27. Las series históricas más húmeda, más seca y medias de 17 años consecutivos son las siguientes:

– *Serie húmeda*: La secuencia histórica más húmeda de 17 años de duración corresponde al periodo 1955/56–1971/72 (Tabla 8). El valor medio de precipitación en ese periodo fue de 459 mm/año (un 10% por encima de la media histórica de 419 mm/año).

Año de referencia (serie histórica)	55/56	56/57	57/58	58/59	59/60	60/61	61/62	62/63	63/64
Precipitación (mm/año)	468	373	362	496	558	423	602	550	470
Año de referencia (serie histórica)	64/65	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	
Precipitación (mm/año)	343	529	343	383	579	414	512	393	

Tabla 8. Serie histórica más húmeda de 17 años de duración (valor medio: 459 mm/año).

– *Serie seca*: La secuencia histórica más seca de 17 años de duración corresponde al periodo 1941/42–1957/58 (Tabla 9). El valor medio de precipitación en ese periodo fue de 376 mm/año (un 10% por debajo de la media histórica).

Año de referencia (serie histórica)	41/42	42/43	43/44	44/45	45/46	46/47	47/48	48/49	49/50
Precipitación (mm/año)	264	376	317	231	468	552	428	348	220
Año de referencia (serie histórica)	50/51	51/52	52/53	53/54	54/55	55/56	56/57	57/58	
Precipitación (mm/año)	526	557	244	234	372	468	373	362	

Tabla 9. Serie histórica más seca de 17 años de duración (valor medio: 376 mm/año).

– *Series medias*: Entre las secuencias históricas de 17 años consecutivos que cumplen la condición de tener su valor medio en el rango 410–428 mm/año, las de menor y mayor desviación típica corresponden a los periodos 1973/74–1989/90 y 1936/37–1952/53 respectivamente (Tabla 10). A estas secuencias les corresponde un valor medio anual de precipitación de 414 y 410 mm.

Año de referencia (serie histórica)	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82
Precipit. (mm/año) [menor desv. típica]	442	436	360	449	525	503	342	283	363
Año de referencia (serie histórica)	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	
Precipitación (mm/año) [menor desviación típica]	318	472	355	407	359	514	489	425	

Año de referencia (serie histórica)	36/37	37/38	38/39	39/40	40/41	41/42	42/43	43/44	44/45
Precipit. (mm/año) [mayor desv. típica]	497	550	455	399	539	264	376	317	231
Año de referencia (serie histórica)	45/46	46/47	47/48	48/49	49/50	50/51	51/52	52/53	
Precipitación (mm/año) [mayor desviación típica]	468	552	428	348	220	526	557	244	

Tabla 10. Series históricas medias de 17 años de duración, con menor y mayor desviación típica (valores medios: 414 y 410 mm/año respectivamente).

6.3. Escenarios de explotación

Como se explicaba anteriormente se ha pretendido que los escenarios simulados aporten una idea global de la posible evolución futura del sistema hidrológico de la cuenca alta del Guadiana, y la incidencia de esta evolución en la posible recuperación medioambiental.

A la vista de esto se han elegido una serie de escenarios de explotación que están referidos a las extracciones de agua subterránea (para todos los usos) en el conjunto de las tres masas de agua subterránea de la zona central de la cuenca alta del Guadiana (Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos). Evidentemente se podrían haber simulado otros, pero se ha considerado que los seleccionados cumplen globalmente el objetivo requerido. Por otra parte hay escenarios extremos que no han sido simulados, pero que conducirían a resultados fácilmente deducibles a la vista de las consideraciones del presente estudio o de los resultados obtenidos en él.

Así, y de acuerdo con las consideraciones sobre el balance hídrico y el punto de equilibrio de la situación actual que se hacían en el apartado 4, cualquier escenario de futuro en el que las extracciones de agua subterránea en el conjunto de las tres masas centrales de la cuenca alta no se sitúen por debajo de los 350 hm³/año, no producen a medio o largo plazo recuperaciones del nivel piezométrico de los acuíferos. Lógicamente, cuanto mayor sea el volumen extraído por encima de esa cifra, mayores serán los descensos adicionales a los ya existentes, pero en cualquier caso, desde el punto de vista que aquí se pretende analizar de posibilidad de cumplimiento de la recuperación medioambiental en la línea de lo establecido por la DMA, esta no será posible en ningún caso por encima de esa cifra.

En el extremo contrario, y desde un punto de vista más teórico que realista, hay que señalar que un hipotético cese absoluto de las extracciones (para todos los usos)

produciría a medio plazo una recuperación total de los niveles piezométricos en los acuíferos, y por tanto de sus descargas y de la superficie de zonas húmedas. Tanto los niveles de equilibrio alcanzados, como las descargas y la extensión de las zonas húmedas llegarían a ser incluso superiores a las *históricamente conocidas*, dado que puede estimarse en unos 50–60 hm³/año el volumen de extracciones que ya existía a mediados del pasado siglo. Esa explotación se realizaba desde mucho tiempo antes mediante la utilización de norias.

En los escenarios de explotación planteados se ha partido, o bien del valor de 350 hm³/año, o bien directamente desde valores más bajos (275 o 230 hm³/año), que proporcionarían ya desde el principio una tendencia a la recuperación piezométrica.

A efectos de nomenclatura y resumen posterior se utilizarán como abreviaturas de los escenarios de extracciones las siguientes: CTE–X (extracción mantenida constante en una cifra de X hm³/año), ESC–X/Y/Z (escalones de extracción de volúmenes X, Y, Z en cada uno de los periodos de 5 ó 6 años comprendidos hasta 2015, 2021 y 2027), GRA–X_Y/Z (extracción disminuyendo anualmente desde un volumen X, a razón de Y hm³/año hasta alcanzar –si la duración del periodo considerado lo permite– un volumen Z, que luego permanece constante).

En concreto, los escenarios de extracción de aguas subterráneas que se simularán y analizarán, en combinación con los escenarios meteorológicos anteriormente descritos, y con los diferentes horizontes temporales planteados, son los siguientes:

- CTE–350: Extracción mantenida en el tiempo de 350 hm³/año.
- CTE–275: Extracción mantenida en el tiempo de 275 hm³/año.
- GRA–350_25/100: Extracción comenzando en 350 hm³/año y descenso gradual de 25 hm³/año hasta llegar a una extracción de 100 hm³/año, que luego se mantiene constante.
- GRA–275_5: Extracción comenzando en 275 hm³/año y descenso gradual muy moderado de 5 hm³/año (se llega a una extracción de 195 hm³/año al final de la simulación de 17 años).
- ESC–275/200/150: Escalones de extracción: 5 primeros años de 275 hm³/año; los 6 siguientes con extracción de 200 hm³/año; los 6 últimos con extracción de 150 hm³/año.
- ESC–230/190/150: Escalones de extracción: 5 primeros años de 230 hm³/año; los 6 siguientes con extracción de 190 hm³/año; los 6 últimos con extracción de 150 hm³/año.

Hay que tener en cuenta las diferencias existentes entre los escenarios según el horizonte temporal que se simule, puesto que a cada caso le corresponden series meteorológicas distintas. Por ejemplo, aunque se analizara en ambos casos la situación del año 2015, los escenarios CTE-275 con horizonte 2015, y CTE-275 con horizonte 2027 no son coincidentes en ese primer periodo, al simular series de precipitación diferentes.

6.4. Escenarios de cambio climático

Tanto desde un punto de vista científico como de gestión de los recursos, la posible incidencia del cambio climático ha de ser considerada en cualquier análisis que hoy día se efectúe relacionado con el comportamiento futuro de un sistema hidrológico. Si bien las bases científicas de la evidencia de un cambio climático parecen cada día más claras, existen grandes incertidumbres en los modelos actuales sobre las repercusiones futuras de dicho cambio climático a escala regional.

Por otra parte hay que considerar las características particulares que confluyen en las aguas subterráneas y en la cuenca alta del Guadiana. Estas características hacen que desde un punto de vista hidrogeológico las recargas importantes se produzcan de manera esencial sólo en años notablemente húmedos. Así, una previsible distribución más extrema de la pluviometría, como apuntan la mayor parte de modelos climáticos, puede beneficiar dichas puntas de recarga, compensando en cierta medida la posible disminución de las precipitaciones.

La Instrucción de Planificación Hidrológica (BOE, 2008) establece que para incorporar el efecto del cambio climático, en la Demarcación del Guadiana debe considerarse una disminución con respecto a la aportación natural de referencia del 11%. No existe ninguna otra consideración o recomendación específicamente relacionada con el recurso subterráneo.

En principio, en las simulaciones que alcanzan como horizonte temporal el año 2027, que tratan de reproducir la posible recuperación de los niveles piezométricos, no parece necesario tener en cuenta una reducción de las aportaciones, que por otra parte están estimadas con los datos obtenidos durante las últimas décadas. Además, su aplicación no sería clara de repercutir cuando estamos simulando básicamente el funcionamiento hidrogeológico.

Sin embargo, con vista a un análisis de la situación del sistema hidrológico a largo plazo, y especialmente para conocer la incidencia del cambio climático en una situación

más o menos *recuperada* del sistema, va a ser necesario en el futuro analizar todos los datos y la evolución que al respecto se vaya produciendo, lo que contribuirá a su vez a mejorar la fiabilidad de los modelos regionales de cambio climático.

Debido a esta posible importancia de los efectos del cambio climático a largo plazo, se va a considerar en el presente trabajo una simulación con el horizonte temporal de 2027, en la que ya desde el principio se tenga en cuenta la repercusión del cambio climático, asignando el 11% que señala la IPH a una reducción en dicho porcentaje de la recarga media anual. Estas simulaciones se van a realizar con valores medios anuales de la precipitación (y por tanto de la recarga), y para distintos valores de la extracción anual mantenida constante en el tiempo, lo que permitirá analizar la repercusión que el cambio climático va a tener para cada escenario de explotación, con esta hipótesis, en los niveles piezométricos de equilibrio (los que se alcanzarían a largo plazo en una situación estabilizada del balance, sin considerar la variabilidad meteorológica). Los resultados obtenidos se muestran en el apartado 7.5.

7. ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Se van a analizar a continuación los resultados obtenidos al simular diferentes combinaciones entre los escenarios descritos anteriormente y referidos a meteorología (pluviometría) y explotación de los acuíferos (extracción de aguas subterráneas). Este análisis se hará por separado para cada escenario temporal considerado (2015, 2021 y 2027). Posteriormente se analizarán también los denominados escenarios de equilibrio, que definirán de forma aproximada la situación piezométrica a largo plazo para cada nivel de explotación, suponiendo que este se mantiene constante en el tiempo. Por último se intentará acotar la posible incidencia del cambio climático, valorándola en cuanto a su repercusión sobre los escenarios de equilibrio anteriormente descritos.

En el análisis de los escenarios hay que tener presentes las hipótesis y limitaciones que anteriormente fueron descritas. Como se comentó, el punto utilizado como referencia corresponde con el de la Red Oficial de Aguas Subterráneas de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana nº 04.04.272 (red histórica del IGME nº 203030001), en el término municipal de Manzanares. En las gráficas de este apartado se han representado puntualmente valores piezométricos históricos anuales correspondientes a dicho punto de control (puntos verdes) para poder apreciar las desviaciones producidas con respecto a la simulación efectuada en el periodo histórico. Se han representado también en la gráfica los valores correspondientes a otros dos puntos: 212910019 del IGME

(04.04.019 de la Red Oficial) (puntos rojos), situado en el término municipal de Alcázar de San Juan, más hacia el nordeste de la Llanura Manchega; y 193040040 del IGME (04.04.031 de la Red Oficial) (puntos azules), situado en Villarrubia de los Ojos, en la zona donde se localizaban los Ojos del Guadiana. Aun con las diferencias existentes puede apreciarse como el comportamiento en estos puntos es bastante similar.

En las gráficas de los escenarios analizados se han trazado asimismo dos líneas horizontales de trazo discontinuo ligeramente por encima de las cotas de 620 y 630 m s.n.m. La línea superior (en color verde) indicaría, de forma aproximada, el nivel de referencia que correspondería en ese punto a una situación teórica media en la que no se extrajera agua del acuífero (para ningún uso). Por su parte, la línea naranja pretende representar una cota por debajo de la cual los acuíferos quedan descolgados totalmente de las corrientes superficiales (en un significado extrapolado de forma aproximada para las zonas de descarga). Aproximadamente por encima de esa cota podría empezar a hablarse de recuperaciones desde el punto de vista de la conexión del acuífero con ríos y zonas húmedas. Son simplemente líneas aproximadas de referencia que deben interpretarse de forma meramente orientativa.

La línea vertical de trazos situada en 2009/10 separa en cada gráfica la zona correspondiente a la simulación histórica de la simulación de futuro. En cada gráfica se representan las simulaciones de futuro para cada uno de los tres escenarios meteorológicos: húmedo, medio o seco (en colores azul, marrón y rojo respectivamente), correspondientes al horizonte temporal analizado. Esto nos permitirá tener una idea de la evolución previsible de los niveles acotándola entre dos situaciones extremas, correspondientes al óptimo y pésimo histórico registrado durante un periodo de tiempo equivalente al analizado, desde el punto de vista de las aportaciones procedentes de la lluvia. Para analizar las expectativas de lo que se puede esperar del sistema en cuanto a su posible recuperación conviene fijarse más en el escenario meteorológico medio. Hay que tener en cuenta que los otros dos responden a los comportamientos extremos que ha tenido la precipitación en toda la serie histórica en periodos de 5, 11 o 17 años. A largo plazo, los valores van lógicamente acercándose más a la media. En todos los casos se ha dibujado sólo la evolución en uno de los dos escenarios meteorológicos medios (el de menor desviación típica), al comprobarse que aunque la evolución difiera con respecto al otro escenario (el de desviación típica máxima), los resultados obtenidos al final de cada periodo simulado son prácticamente coincidentes.

7.1. Análisis del horizonte 2015

El año 2015 se establecía en principio como el año de referencia para la consecución de los objetivos medioambientales requeridos por la DMA. Por tanto, y aunque las simulaciones de futuro realizadas presentan un grado mayor de incertidumbre cuanto menor es el periodo de tiempo considerado, se va a analizar en primer lugar la evolución previsible del sistema hasta esa fecha, considerando algunas de las posibles combinaciones entre los distintos escenarios meteorológicos y de explotación anteriormente planteados.

Los escenarios de explotación analizados son comunes a algunos de los que posteriormente se utilizarán y ampliarán, con series más largas, en las simulaciones de escenarios hasta 2021 y 2027. Se simularán y analizarán por separado puesto que se combinan con escenarios meteorológicos diferentes. Las series históricas de 5 años consecutivos más húmedos y más secos presentan lógicamente desviaciones notablemente mayores respecto al valor de precipitación media histórica, que las correspondientes a las series de 11 y 21 años (que se utilizarán para los periodos 2010/11–2020/21, y 2010/11–2026/27 respectivamente), tal y como se analizó en el apartado 6.2. De ahí que, como posteriormente se comprobará, las simulaciones de 5 años de secuencia más húmeda producen a veces recuperaciones similares a las correspondientes a las secuencias más húmedas de 11 y 17 años (para escenarios de explotación comparables). Hay que tener en cuenta además que los 5 años simulados más húmedos vienen precedidos por el año real 2009/10 que ha tenido también características de año muy húmedo, y que la simulación también considera cierta inercia en la evolución piezométrica.

Los ejemplos simulados corresponden a escenarios de extracciones de 350, 275 y 230 hm³/año mantenidos en el tiempo (CTE–350, CTE–275 y CTE–230), así como a una simulación que parte de una extracción el primer año de 350 hm³, y que va reduciéndose anualmente 25 hm³ (llegando el 5º y último año de la simulación a ser de 250 hm³) (GRA–350_25).

Según se indicaba en el apartado 6.2.1, las series históricas de 5 años consecutivos más húmeda y más seca tienen valores medios de la precipitación de 526 y 330 mm/año respectivamente (un 26% por encima y un 21% por debajo de la media histórica).

Desde un punto de vista práctico (hecha la salvedad comentada en el apartado 6.3 sobre un escenario teórico de *cero extracciones*), la recuperación del sistema es prácticamente inviable para el año 2015 en cualquier escenario realista que se pretenda manejar. Sólo

una secuencia meteorológica excepcionalmente húmeda (que en todo caso habría que considerar como ocasional y no representativa en el medio-largo plazo), o un escenario de extracciones prácticamente inexistentes, poco realista en el contexto actual, dejarían los niveles en 2015 en una situación que podría considerarse relativamente cercana a la recuperación requerida. Aun asumiendo esta imposibilidad de cumplir los objetivos en 2015, para lo que si podrían servir los años restantes hasta esa fecha es para comenzar una tendencia clara de recuperación de niveles, que con independencia de la secuencia meteorológica que se produzca, debe estar basada en una reducción de los volúmenes extraídos bastante por debajo de las cifras medias actuales.

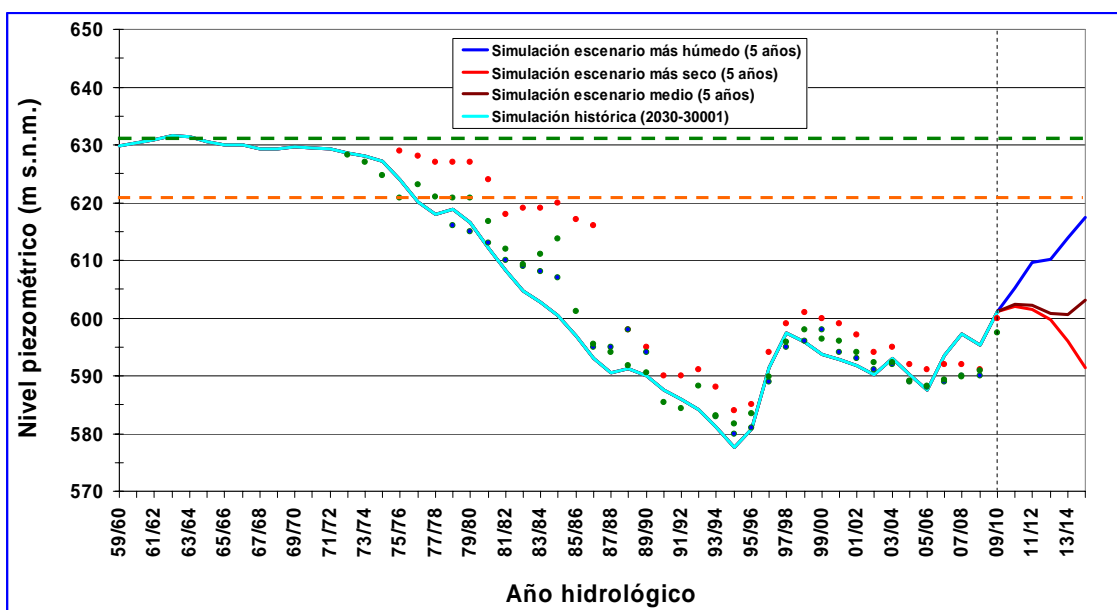


Figura 8. Simulación periodo 2010/11–2014/15. Escenario de explotación: extracción constante de 350 hm³/año (CTE–350).

La Figura 8 muestra, a modo de escenario de referencia, aquel que considera que la extracción de aguas subterráneas en el conjunto de las tres masas de aguas subterráneas centrales de la cuenca alta del Guadiana se mantiene en los niveles actuales, estimados en unos 350 hm³ (CTE–350). El nivel piezométrico del punto de referencia al final de los 5 años se mantiene prácticamente en el valor actual para el escenario meteorológico medio, como era de esperar, dado que la cifra de 350 hm³/año corresponde aproximadamente a la situación que actualmente mantiene el equilibrio a largo plazo de los niveles piezométricos. Para los escenarios más húmedo y más seco (series muy extremas en este caso) se obtienen niveles finales cercanos a 15 metros de ascenso y 11 metros de descenso respectivamente en el punto de control.

Las Figuras 9 y 10 muestran escenarios con una menor extracción de aguas subterráneas, mantenida constante durante esos 5 años en valores de 275 y 230 hm³

(CTE-275 y CTE-230). Globalmente eso supone una disminución del volumen extraído en los 5 años de 375 hm³ y 600 hm³ respectivamente, con respecto al caso anterior. Esto sólo consigue (para un escenario meteorológico medio) ascensos de los niveles del orden de 3 y 5 metros respectivamente, aunque no debe despreciarse su importancia desde el punto de vista de cambio de la tendencia y de adaptación a menores escalones de extracción de agua.

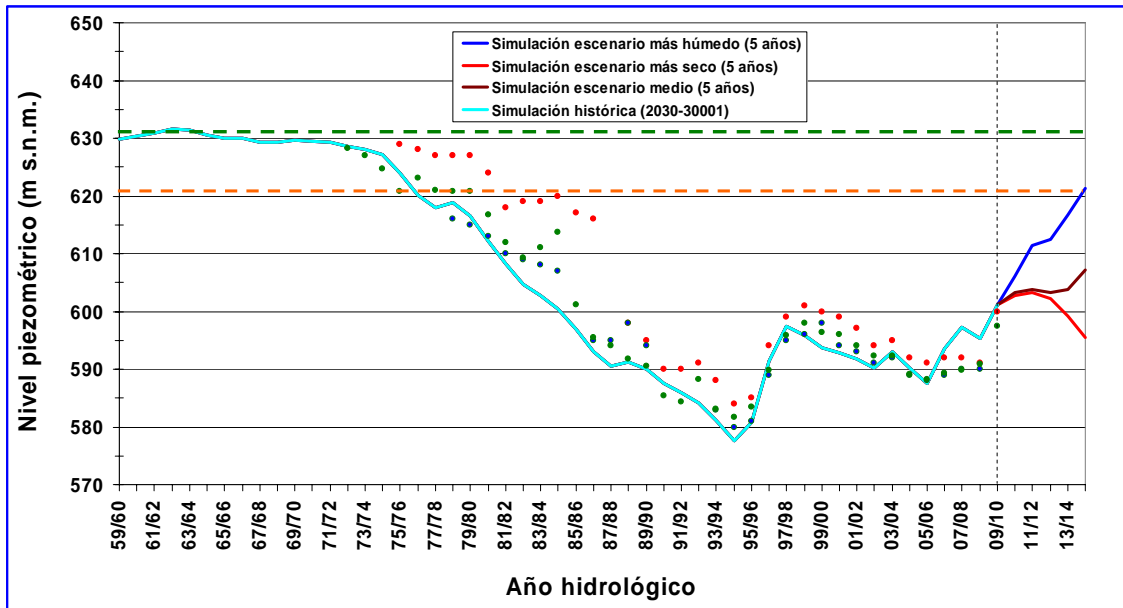


Figura 9. Simulación periodo 2010/11–2014/15. Escenario de explotación: extracción constante de 275 hm³/año (CTE-275).

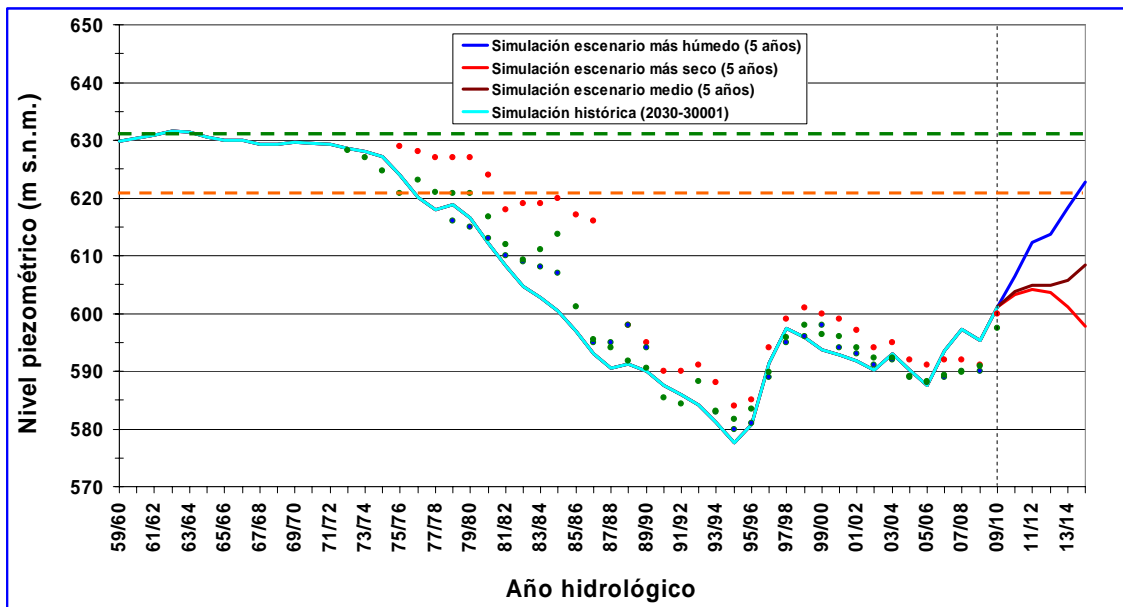


Figura 10. Simulación periodo 2010/11–2014/15. Escenario de explotación: extracción constante de 230 hm³/año (CTE-230).

Por último, la Figura 11 responde a un escenario de reducción gradual de las extracciones, comenzando en 2010/11 con un valor de 350 hm³ y disminuyendo 25 hm³/año, para llegar a 2014/15 con una extracción en el conjunto de las tres masas consideradas de 250 hm³/año (GRA-350_25). Globalmente supone una extracción para todo el periodo de 250 hm³ menos que en el primer caso. En la situación actual del sistema esto supone una diferencia de unos 2 metros al final de los 5 años simulados (con escenario meteorológico medio).

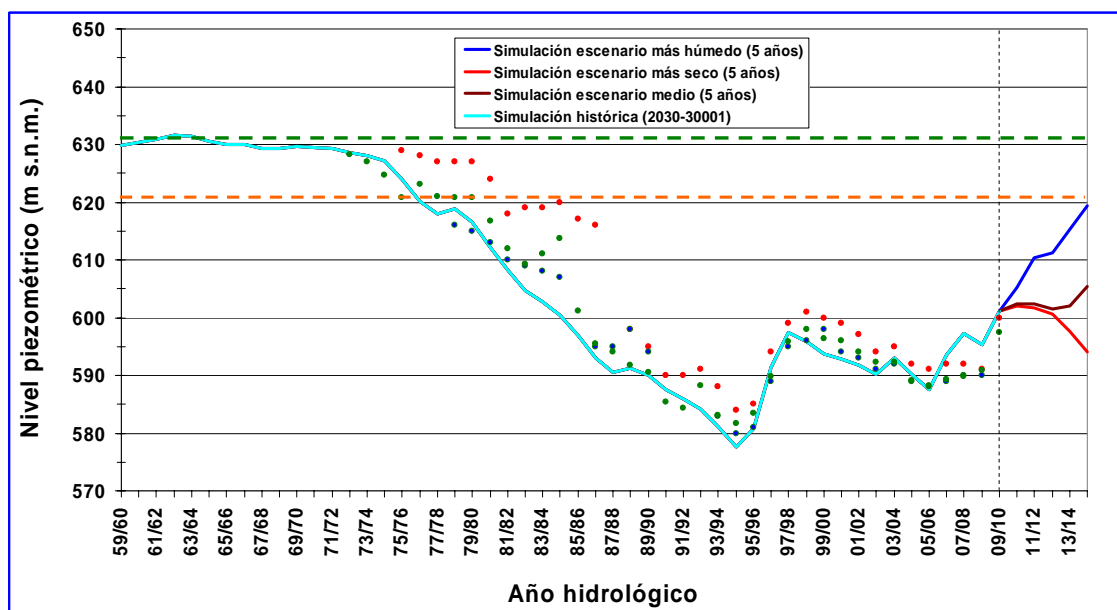


Figura 11. Simulación periodo 2010/11–2014/15. Escenario de explotación: extracción disminuyendo a razón de 25 hm³ cada año, desde 350 hasta 250 hm³/año (GRA-350_25).

7.2. Análisis del Horizonte 2021

Los 11 años hidrológicos comprendidos entre 2010/11 y 2020/21 permiten una simulación más adecuada para analizar el comportamiento piezométrico futuro de los acuíferos centrales. Las series meteorológicas más húmeda y más seca utilizadas (ver Sección 6.2.2), correspondientes a las secuencias históricas de 11 años con esas características, presentan valores medios de 480 y 375 mm/año (15% y 11% por encima y por debajo de la media respectivamente), bastante menos extremos que en el caso de secuencias de 5 años. Además, la serie de 11 años permite analizar mejor la respuesta a diferentes estrategias de explotación (valor constante desde el principio, reducción gradual, reducción por escalones).

Las Figuras 12 y 13 muestran las simulaciones para extracciones anuales constantes de 350 y 275 hm³/año respectivamente (CTE-350 y CTE-275). Como se indicó en el apartado anterior, el caso de 350 hm³ representa el escenario en el que los niveles

piezométricos tienden a mantenerse a largo plazo (y por tanto con secuencias meteorológicas medias) en las cotas actuales.

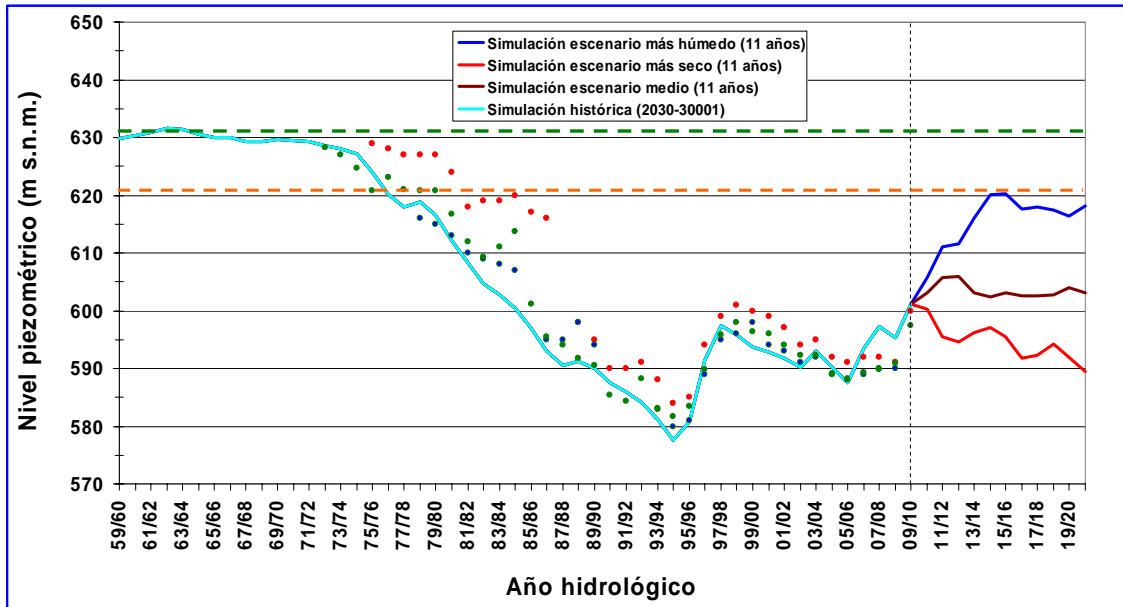


Figura 12. Simulación periodo 2010/11–2020/21. Escenario de explotación: extracción constante de 350 hm³/año (CTE–350).

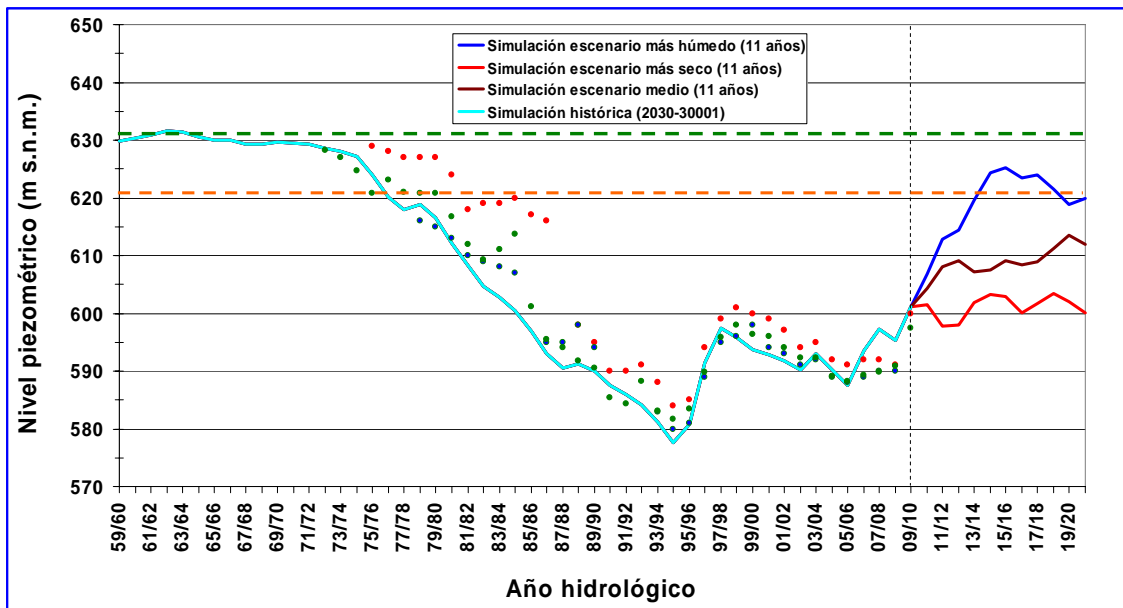


Figura 13. Simulación periodo 2010/11–2020/21. Escenario de explotación: extracción constante de 275 hm³/año (CTE–275).

El escenario de extracciones de 275 hm³/año supone un ascenso de los niveles de unos 7–8 metros con respecto al caso anterior, para una secuencia meteorológica media. Para la secuencia histórica húmeda más extrema puede verse que los niveles ascienden hasta situarse cerca de la zona en la que se puede empezar a hablar de una cierta recuperación,

pero hay que tener en cuenta que dicha recuperación está estrechamente ligada con esa secuencia pluviométrica extrema.

Las Figuras 14 y 15 muestran los resultados de dos simulaciones bastante más ambiciosas desde el punto de vista de la reducción de las extracciones de agua subterránea.

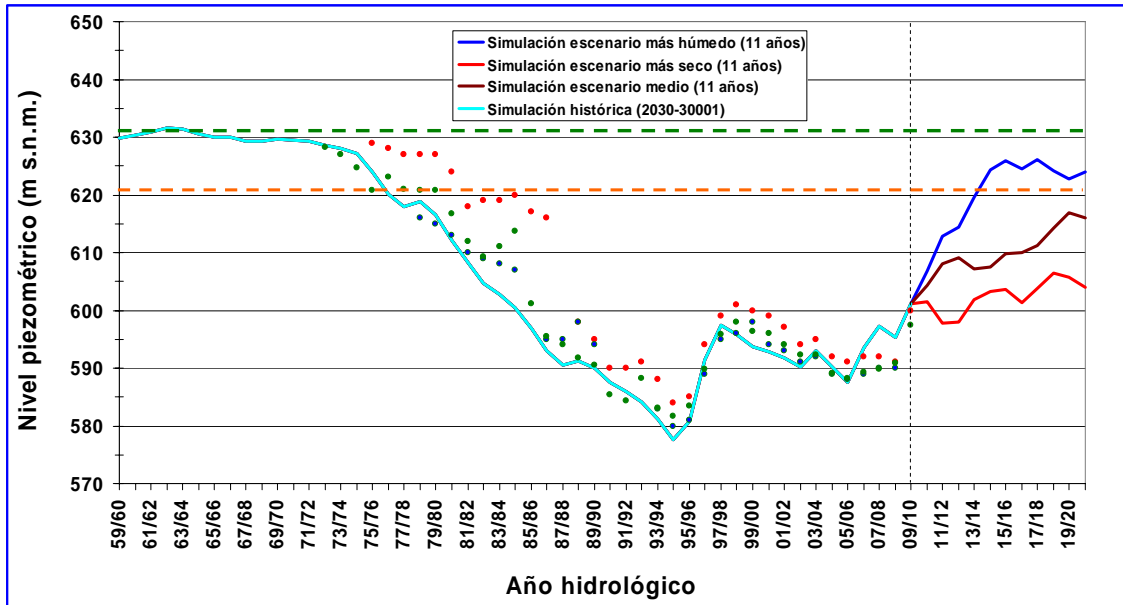


Figura 14. Simulación periodo 2010/11–2020/21. Escenario de explotación: volúmenes de extracción en dos escalones: 5 años de 275 hm³/año (2010/11–2014/15), y 6 años de 200 hm³/año (2015/16–2020/21) (ESC–275/200).

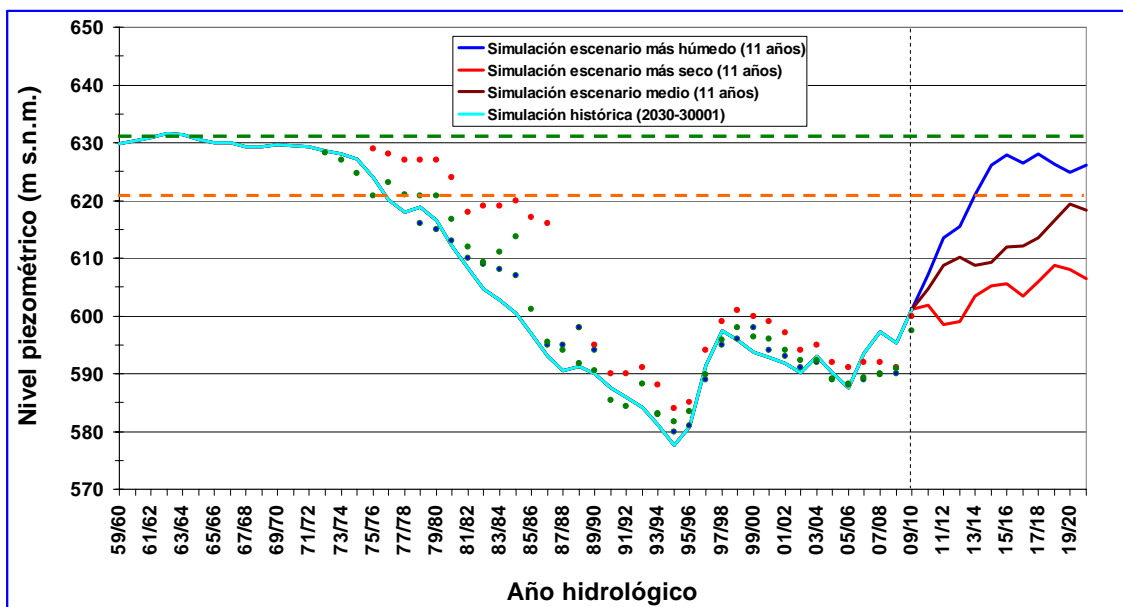


Figura 15. Simulación periodo 2010/11–2020/21. Escenario de explotación: volúmenes de extracción en dos escalones: 5 años de 230 hm³/año (2010/11–2014/15), y 6 años de 190 hm³/año (2015/16–2020/21) (ESC–230/190).

En ambos casos se han simulado dos escalones de volúmenes de extracción de aguas subterráneas, con un determinado volumen durante los 5 primeros años (hasta 2015) y otro volumen menor durante los 6 últimos años de la simulación. En el primer caso los dos escalones son de 275 y 200 hm³/año (ESC-275/200), y en el segundo caso de 230 y 190 hm³/año (ESC-230/190). Aunque el primer escalón de cada caso coincide con los valores simulados en el análisis de escenarios hasta 2015 (Figuras 9 y 10), la evolución no coincide durante esos 5 años puesto que ahora se está simulando con distintos escenarios meteorológicos.

Con estos escenarios de explotación, y aun considerando una secuencia meteorológica media, las recuperaciones de niveles son ya muy importantes en los 11 años simulados, y podrían llegar a producirse descargas del acuífero en las zonas topográficamente más bajas en secuencias extremadamente húmedas. Aun así, desde el punto de vista de la recuperación medioambiental y de la conexión de acuíferos y corrientes superficiales no se puede considerar cumplido el objetivo. Desde un punto de vista práctico, los niveles recuperados (especialmente en el segundo caso), unido a la experiencia, comprobación y mejora de las previsiones existentes durante el periodo transcurrido, permitirían definir con más detalle la estrategia a seguir durante los siguientes años de cara a alcanzar los objetivos de recuperación hídrica y medioambiental.

El último escenario analizado (Figura 16) considera una reducción progresiva del volumen extraído en 25 hm³ cada año, partiendo de 350 hm³ en el año 2010/11 hasta llegar a 100 hm³ en el último año de la simulación (GRA-350_25).

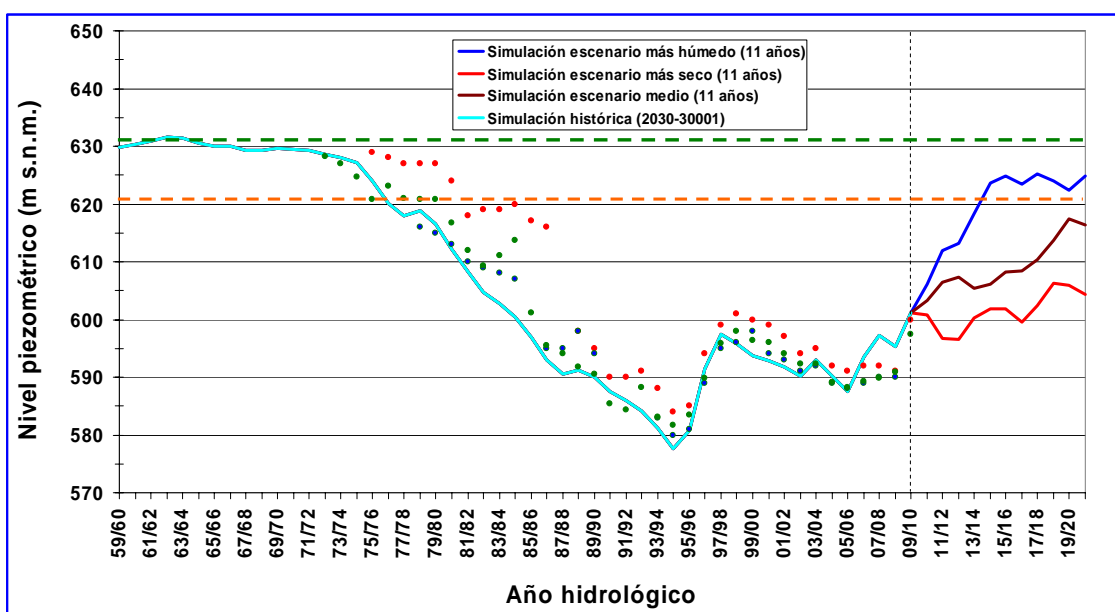


Figura 16. Simulación periodo 2010/11–2020/21. Escenario de explotación: extracción disminuyendo a razón de 25 hm³ cada año, desde 350 hm³/año hasta 100 hm³/año (GRA-350_25).

Durante el periodo de simulación pueden hacerse consideraciones similares a las del caso anterior. Las recuperaciones son menores al principio, ya que corresponden mayores extracciones en este caso. Sin embargo, conseguir llegar al final de ese periodo con un volumen de extracciones de 100 hm³ garantizaría, como veremos posteriormente en el análisis del horizonte 2027, una recuperación muy importante del sistema en el caso de que se mantuviera ese volumen durante los siguientes años.

7.3. Análisis del Horizonte 2027

El análisis de las simulaciones de un periodo más largo, 17 años, permitirá acotar algo más las incertidumbres existentes respecto a la evolución futura de los niveles piezométricos. Además, permitirá comparar los mismos escenarios de explotación analizados con las secuencias extremas correspondientes a los horizontes temporales anteriores, con otros escenarios meteorológicos extremos, pero a más largo plazo. Y fundamentalmente, dado que en algunos de los escenarios contemplados hasta 2021 los niveles se acercaban ya a la zona de una cierta recuperación hídrica del sistema, se podrá analizar la fase decisiva de esa recuperación partiendo de los escenarios de explotación considerados anteriormente y con otra serie de escenarios que se planteen para esta última fase.

Las primeras dos Figuras (17 y 18) muestran las simulaciones para extracciones anuales de 350 y 275 hm³/año (CTE-350 y CTE-275).

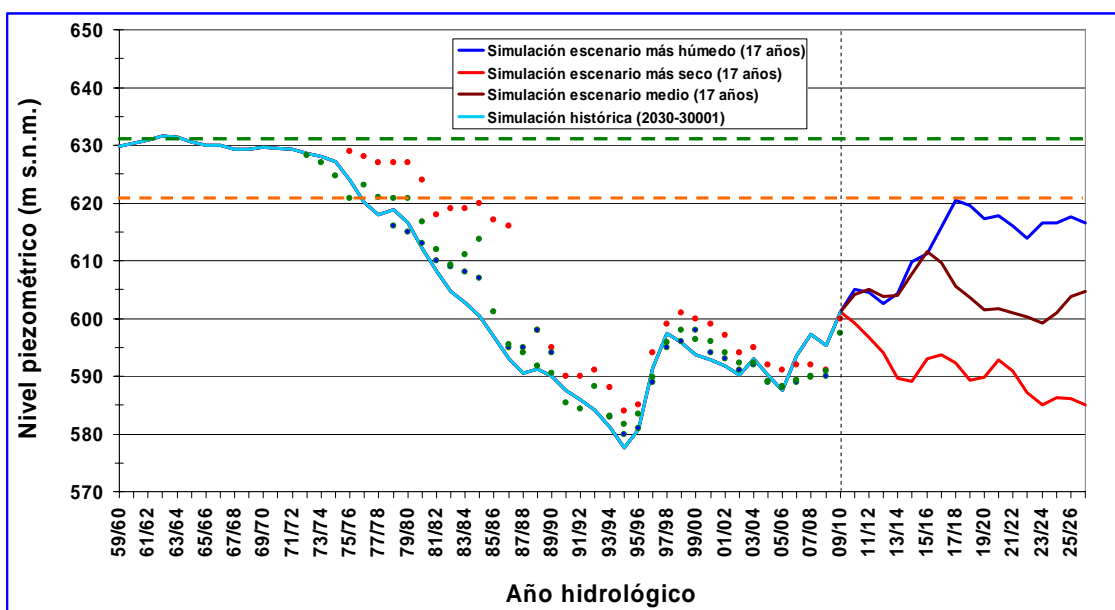


Figura 17. Simulación periodo 2010/11–2020/21. Escenario de explotación: extracción constante de 350 hm³/año (CTE-350).

Con estos niveles de extracciones no puede esperarse a largo plazo ninguna recuperación del sistema hídrico y medioambiental. Si lo referimos a secuencias pluviométricas medias a largo plazo, en el caso CTE-275 se produce un ascenso sobre la situación actual, que llevaría el nivel piezométrico medio hasta unos 10–12 metros por encima del nivel ahora existente. Allí se llega a un nivel de estabilización (con fluctuaciones más o menos importantes según la pluviometría), pero sin poder mantener un ascenso que conduzca a la recuperación hídrica.

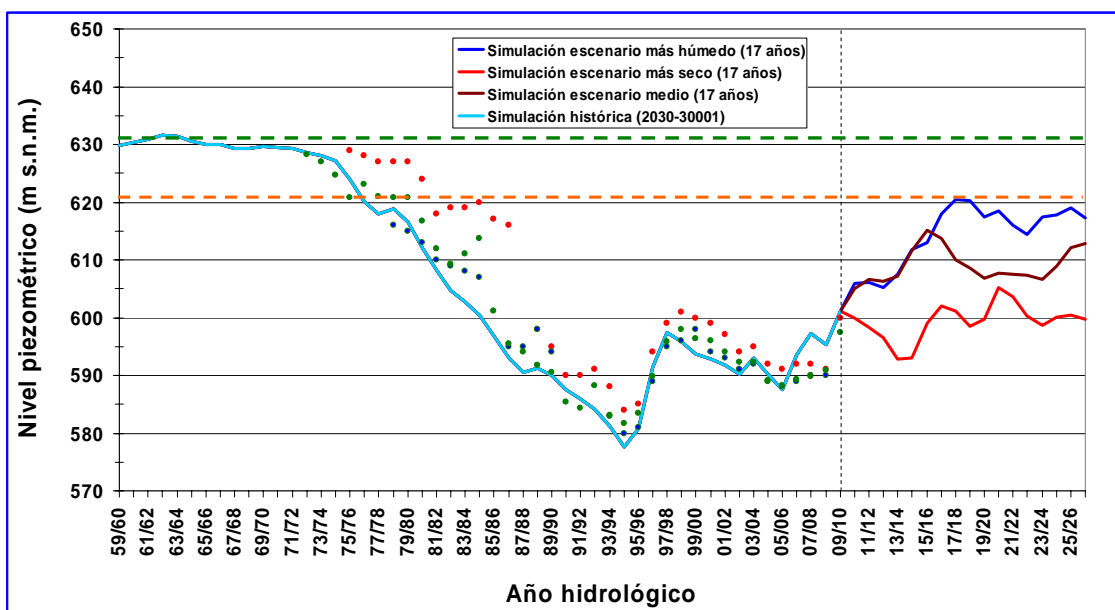


Figura 18. Simulación periodo 2010/11–2020/21. Escenario de explotación: extracción constante de 275 hm³/año (CTE-275).

Por su parte, las figuras 19 y 20 están referidas a escenarios en que las extracciones se han establecido por escalones en los diferentes horizontes temporales planteados. Corresponden a los dos casos planteados en los apartados anteriores, con escalones de 275 (5 años) y 200 (6 años) hm³/año para un caso, y de 230 y 190 hm³/año en el otro caso. Para la simulación de 17 años, ambos casos se van a complementar con un último escalón (6 años) de 150 hm³/año de volumen de extracciones. Serían por tanto ESC-275/200/150 y ESC-230/190/150 respectivamente.

En estos casos tampoco podría hablarse en un escenario meteorológico normal de recuperación hídrica y medioambiental en el sentido de lo establecido por la DMA. Sí es cierto (especialmente en el segundo caso) que una secuencia de pluviometría alta podría ya producir algunas descargas, y que el mantenimiento durante algo más de tiempo de los 150 hm³ de extracciones llegaría a generalizar la existencia de descargas, siempre asociadas a secuencias de precipitaciones de cierta entidad. Podría por tanto

hablarse de *sistema en vías de recuperación*. El apartado siguiente clarificará, dentro del rango de incertidumbre existente, el estado que previsiblemente alcanzará el sistema ante un volumen de extracción mantenido en el futuro de 150 hm³ en el conjunto de las tres masas analizadas.

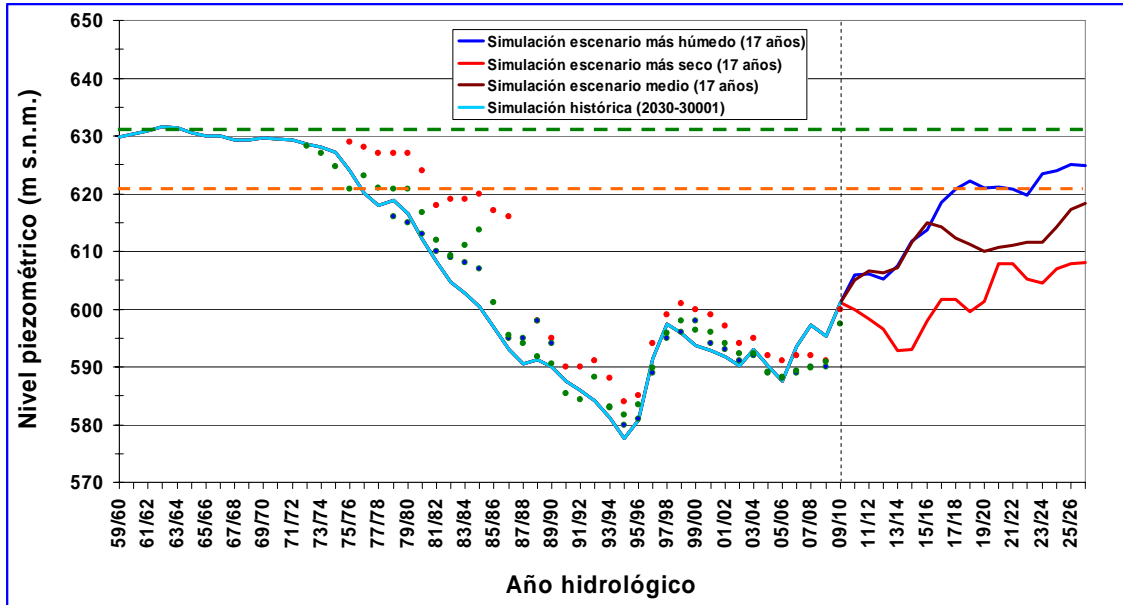


Figura 19. Simulación periodo 2010/11–2026/27. Escenario de explotación: volúmenes de extracción en tres escalones: 5 años de 275 hm³/año (2010/11–2014/15), 6 años de 200 hm³/año (2015/16–2020/21), y 6 años de 150 hm³/año (2021/22–2026/27) (ESC–275/200/150).

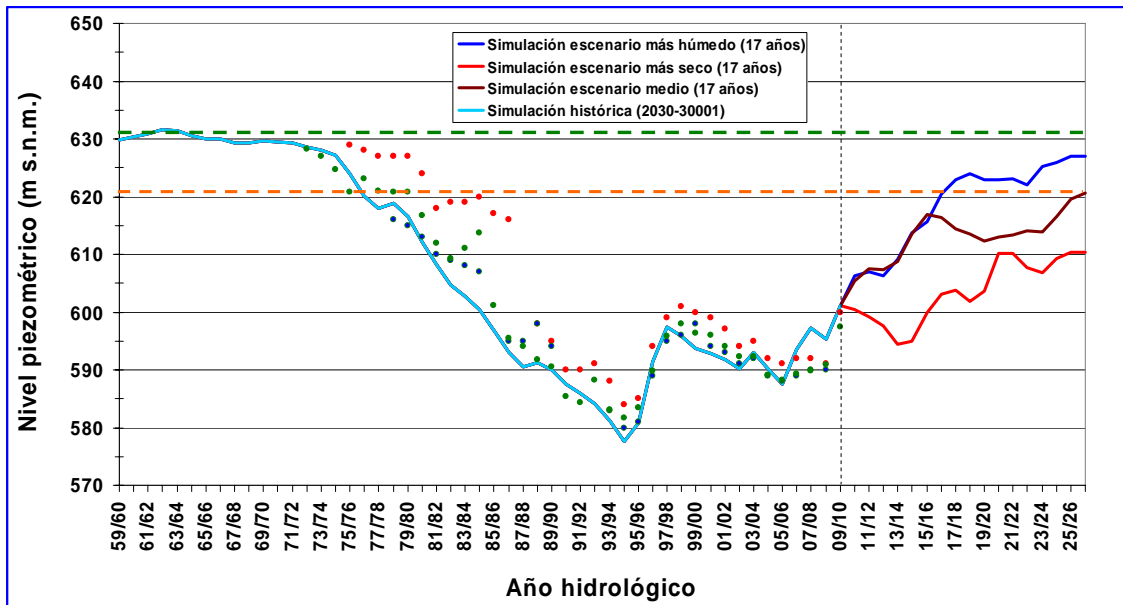


Figura 20. Simulación periodo 2010/11–2026/27. Escenario de explotación: volúmenes de extracción en tres escalones: 5 años de 230 hm³/año (2010/11–2014/15), 6 años de 190 hm³/año (2015/16–2020/21), y 6 años de 150 hm³/año (2021/22–2026/27) (ESC–230/190/150).

Las Figuras 21 y 22 muestran la evolución en dos escenarios en los que se ha establecido una disminución progresiva de las extracciones año a año. El primer caso parte de una extracción inicial, en 2010/11, de 275 hm³/año, con una reducción gradual muy moderada de 5 hm³/año, lo que supone que la extracción en 2026/27, último año de la simulación, es de 195 hm³/año (GRA-275_5). El segundo caso es el más ambicioso de los simulados en cuanto a la reducción del volumen extraído. Comienza con un volumen de 350 hm³/año, pero se reduce a razón de 25 hm³ cada año, hasta alcanzar los 100 hm³ en el año 2020/21, volumen que se mantiene ya constante en los 6 últimos años de la simulación (GRA-350_25/100).

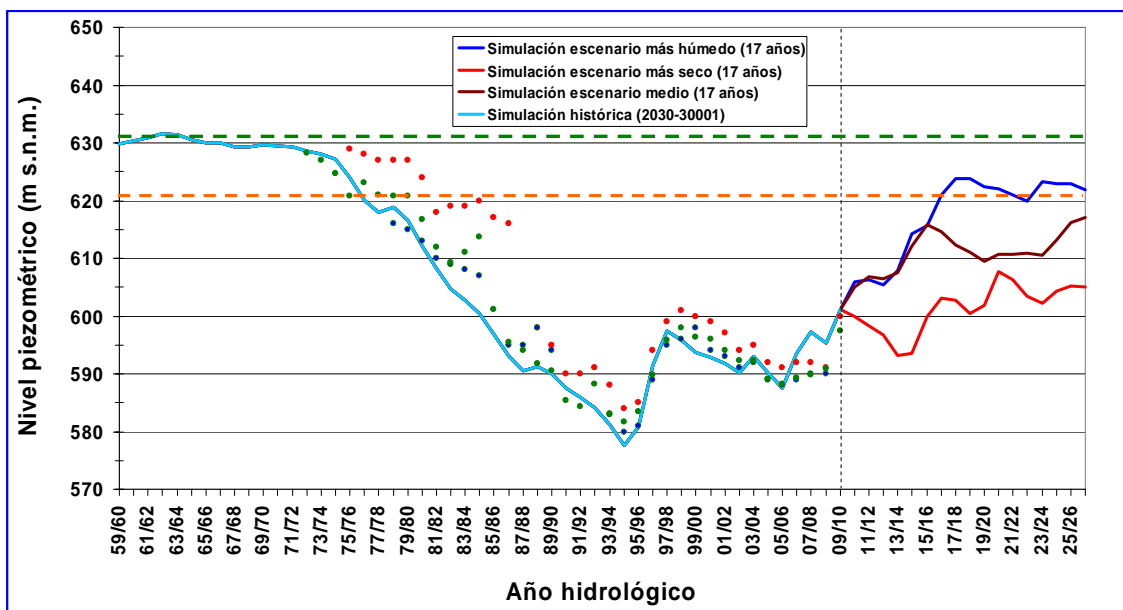


Figura 21. Simulación periodo 2010/11–2026/27. Escenario de explotación: extracción disminuyendo a razón de 5 hm³ cada año, desde 275 hm³/año hasta 195 hm³/año (GRA-275_5).

En el primero de los casos se producen recuperaciones importantes de los niveles piezométricos, pero limitadas (en el caso de un escenario meteorológico medio) por el hecho de que la cifra final de extracciones (195 hm³/año), no es suficientemente baja para hablar de grandes recuperaciones, y además el sistema no se ha estabilizado todavía con ese volumen de extracciones. Caso de mantenerse ese volumen durante más años, el equilibrio que alcanzaría el sistema permitiría posiblemente algunas descargas en secuencias muy húmedas.

En el segundo caso puede hablarse de una recuperación muy importante, que además se consolidaría aún más en los años siguientes manteniendo el nivel de extracciones (con escenarios meteorológicos normales).

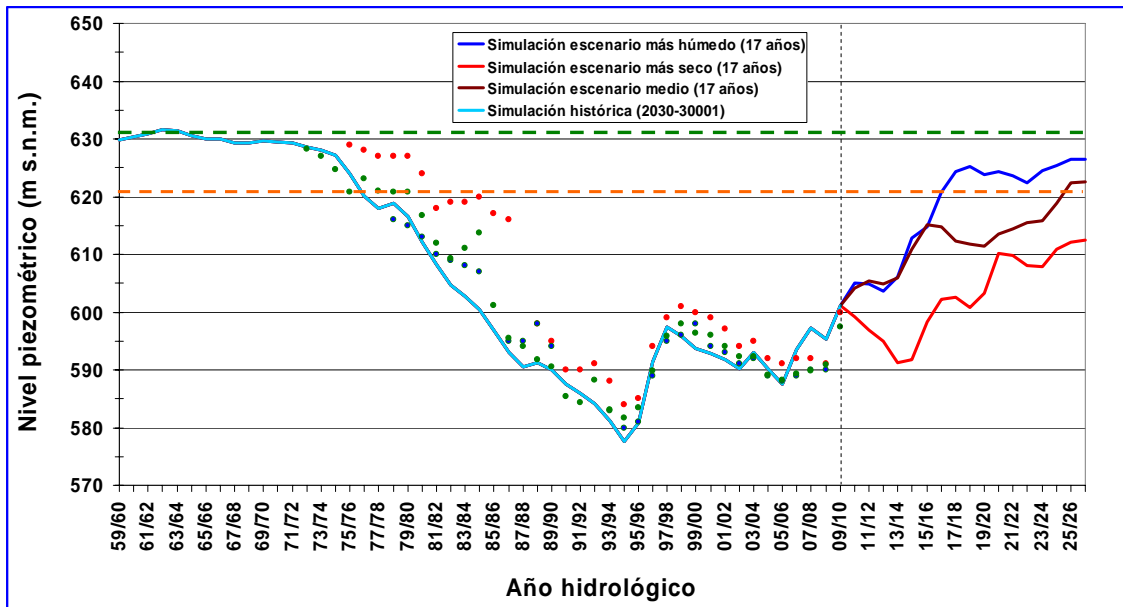


Figura 22. Simulación periodo 2010/11–2026/27. Escenario de explotación: extracción disminuyendo a razón de 25 hm³ cada año, desde 350 hm³/año hasta 100 hm³/año (GRA–350_25/100).

En la mayor parte de los casos analizados se ha procurado que los escenarios tengan cierto criterio *realista*. Muchos de ellos conducen a situaciones en las que se puede hablar de cierta recuperación, pero en ningún caso total o prácticamente total (con pluviometría media). Como se indicaba anteriormente se ha procurado que en conjunto den una idea de lo que se puede esperar del futuro del sistema en función de la evolución de las extracciones que consideremos, y por ello no se han considerado casos muy extremos, que ya han sido comentados en el texto, y que serán también incluidos en la tabla-resumen del apartado 7.6.

7.4. Escenarios de equilibrio

La evolución del nivel piezométrico se ha simulado en los casos anteriores a partir de series reales de precipitación, tal y como se justificó anteriormente. En este apartado se va a realizar un ejercicio más teórico que real, que pretende servir de complemento a los análisis anteriores, con el objetivo de acotar más las previsiones futuras de evolución del sistema en función de la explotación que se haga de las aguas subterráneas.

El análisis está basado en el hecho de que si mantenemos constante en el tiempo un determinado volumen de agua subterránea extraída, el sistema llegará a alcanzar una situación de equilibrio (por así decirlo, una nueva situación estacionaria con un bombeo constante), caracterizada por un cierto balance hídrico (que tendrá incorporado dicho bombeo constante) y unos determinados niveles piezométricos, que podremos considerar de referencia para cada volumen de extracción.

En la Figura 23 se han incluido las simulaciones considerando la pluviometría media anual constante, y en cada caso un valor constante mantenido en el tiempo de la extracción de aguas subterráneas en las tres masas centrales de la cuenca alta. El valor asintótico al que tiende cada una de las simulaciones nos da una idea de la situación de equilibrio a la que tiende el nivel piezométrico para cada régimen de extracciones mantenido a largo plazo que consideremos.

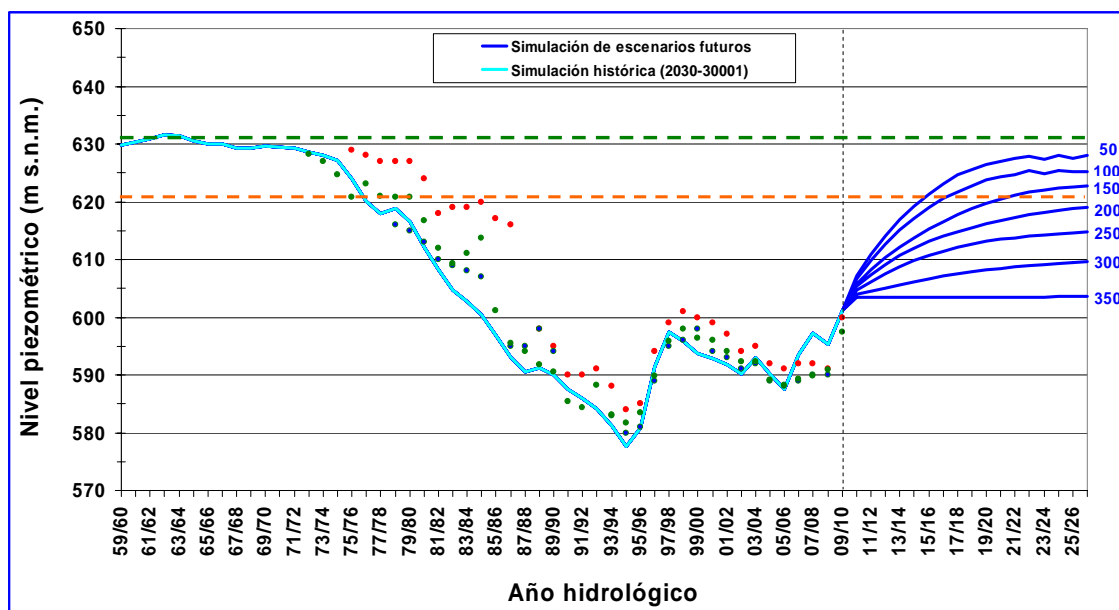


Figura 23. Simulación periodo 2010/11–2026/27. Escenarios de equilibrio a largo plazo: pluviometría anual constante de 419 mm; diferentes valores de extracción mantenida en el tiempo (350, 300, 250, 200, 150, 100 y 50 $\text{hm}^3/\text{año}$) (CTE–350, CTE–300, CTE–250, CTE–200, CTE–150, CTE–100 y CTE–50).

Evidentemente, al igual que sucede en una situación teórica de régimen estacionario, la situación de equilibrio no es estricta, y se ve alterada por la propia variabilidad meteorológica. Esta variabilidad hará que los niveles piezométricos oscilen alrededor de los niveles considerados de referencia. Cuando los niveles de referencia son cercanos a la situación límite de recuperación de la conexión entre acuíferos y corrientes superficiales, la meteorología resulta decisiva en el comportamiento del sistema y en el grado de recuperación medioambiental que puede apreciarse en un momento dado y en una zona determinada.

En cualquier caso y a la vista de la Figura 23, puede estimarse que a largo plazo es necesario reducir las extracciones por debajo de los 150 $\text{hm}^3/\text{año}$ para conseguir recuperaciones con cierto grado importante de permanencia en el espacio y en el tiempo, en la línea de los objetivos de la DMA. Puede estimarse que manteniendo el volumen de extracción por debajo de los 200 $\text{hm}^3/\text{año}$ se producirán episodios más o menos cercanos al funcionamiento hídrico natural asociados a secuencias húmedas.

Por debajo de los 150 hm³ de extracción anual mantenida en el tiempo, la recuperación ya es muy importante. A medida que dicha cifra se redujera más, aumentarían gradualmente las descargas naturales de los acuíferos y la extensión de las zonas húmedas, y el sistema sería menos sensible a la estacionalidad de dichas descargas. Pueden estimarse como referencias las cifras de 100 hm³/año en el conjunto de las tres masas consideradas para una recuperación hídrica y medioambiental muy notable, y 50 hm³/año para alcanzar la situación poco influenciada existente a mediados del siglo XX.

7.5. Escenarios de cambio climático

En el apartado 6.4 se establecían las bases e hipótesis en las que va a ser planteado el análisis de la posible influencia del cambio climático. Se trata de simular los escenarios de equilibrio analizados en el apartado anterior, pero considerando una reducción anual del 11% en el valor de la recarga procedente de la lluvia. Los resultados obtenidos pueden verse en la Figura 24.

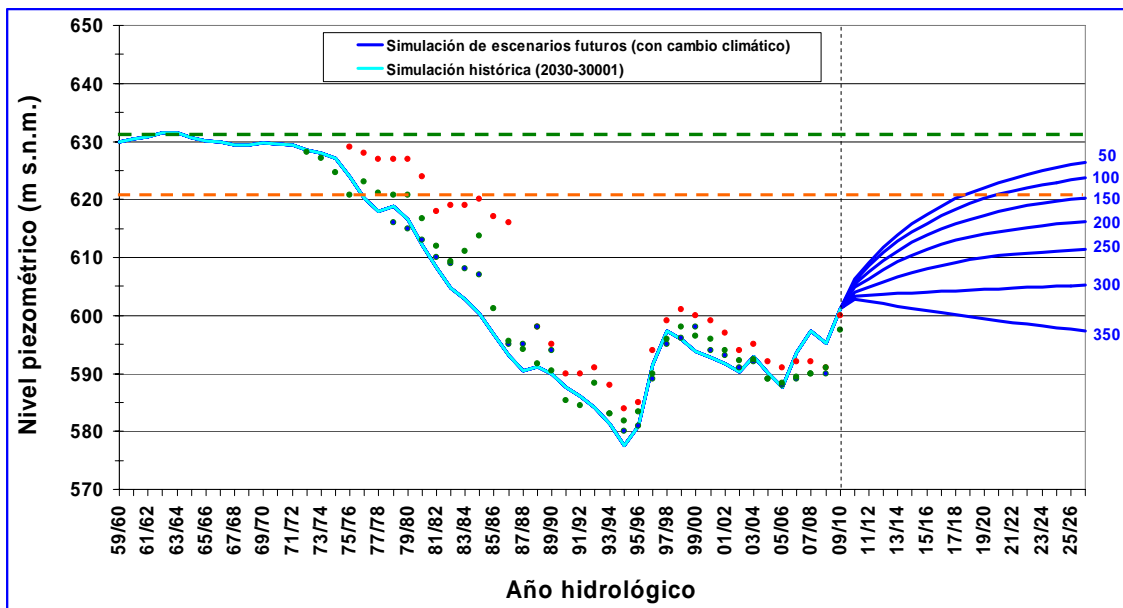


Figura 24. Simulación periodo 2010/11–2026/27. Escenarios de equilibrio a largo plazo: pluviometría anual constante de 419 mm; diferentes valores de extracción mantenida en el tiempo (350, 300, 250, 200, 150, 100 y 50 hm³/año). Consideración de cambio climático: reducción anual del 11% en el valor de la recarga procedente de la lluvia (CTE–350, CTE–300, CTE–250, CTE–200, CTE–150, CTE–100 y CTE–50).

Como puede verse comparando las Figuras 23 y 24, la consideración del cambio climático en la medida descrita puede tener una repercusión importante en el nivel piezométrico de equilibrio que se alcanzaría en cada escenario de explotación considerado. Esto conduciría a la necesidad de reducir aún más las extracciones a las

que habría que llegar a largo plazo para conseguir el mismo grado de recuperación que existía sin la influencia del cambio climático.

Hay que tener en cuenta que el 11% de reducción de la recarga considerado en estas simulaciones supone un volumen muy cercano a los 50 hm³/año (estos escenarios de equilibrio se simulan con el valor medio anual de precipitaciones constante, y por tanto también el de recarga procedente de la lluvia) en el conjunto de la cuenca alta del Guadiana. Como se comentó en el apartado 6.4., las características particulares que confluyen en las aguas subterráneas y en la cuenca alta del Guadiana parecen indicar que la hipótesis planteada en este escenario de cambio climático es excesivamente pesimista, pero resulta interesante su consideración, aunque sea como límite superior en cuanto a esta posible repercusión.

Como sucede en otros órdenes del conocimiento hidrogeológico en la cuenca alta del Guadiana, la necesaria transición que en su caso ha de producirse hacia la recuperación hidrológica del sistema permitirá la obtención de datos, contraste de previsiones, y consiguiente mejora del conocimiento, que ayudarán a reducir las incertidumbres existentes y en el caso del cambio climático permitirán tener modelos más aproximados y adecuados a la escala regional, de cara a la mejor cuantificación de su repercusión futura.

7.6. Tabla-resumen de escenarios

Del conjunto de escenarios simulados en los apartados anteriores se obtiene un panorama general de las posibilidades de recuperación ambiental de las masas de agua subterránea y ecosistemas acuáticos de la cuenca alta, en función de las extracciones de agua subterránea realizadas, y tanto a corto-medio plazo (5, 11 17 años) como a largo plazo.

La recuperación a corto plazo exige una reducción muy rápida y drástica de las extracciones, mientras que a largo plazo depende fundamentalmente de la cifra de extracciones a la que se llegue y que se mantenga más o menos constante en el tiempo.

Por otra parte en el corto plazo hay una gran influencia y una incertidumbre muy alta en cuanto a la secuencia meteorológica que se produzca, mientras que a largo plazo la incertidumbre climatológica principal es la relacionada con el posible efecto del cambio climático.

Es difícil sintetizar los resultados obtenidos en las simulaciones anteriores, tratando de relacionar directamente cada escenario de extracciones con un *veredicto* sobre si se

produce o no la recuperación ambiental en un periodo de tiempo determinado. A las incertidumbres mencionadas se une el hecho de la gran sensibilidad que el sistema tiene a pequeñas variaciones piezométricas en situaciones que pueden considerarse de recuperación o muy cercanas. Como se vio en el apartado 4.4, las pequeñas oscilaciones de los niveles piezométricos producidas en esa situación hacen variar mucho los volúmenes de descarga de los acuíferos, o hacer que estas descargas cesen, lo que por ejemplo cambia totalmente el panorama si la recuperación se está relacionando principalmente con los caudales ambientales. En estas situaciones límite pueden producirse también diferencias importantes espacialmente, en cuanto a la existencia de estos caudales ambientales, entre unas zonas y otras.

Escenarios de extracciones	Situación 2015	Situación 2021	Situación 2027	Largo plazo (sin c.c.)	Largo plazo (con c.c.)
CTE-350	G (F)	G (F)	G (F)	G	G
CTE-275	F (E)	F (E)	F	F	F
CTE-200	F (E)	F (D)	E (D)	E	E / F
CTE-150	F (E)	E (D)	D (C)	D	D / E
CTE-100	E (D)	D (C)	C (B)	C	C / D
CTE-50	D / E (C)	C	B	B	B / C
CTE-0	C (A)	B (A)	A	A	A / B
ESC-275/200/150	F (E)	F (E)	E (D)	D	D / E
ESC-230/190/150/100 (l.p.)	F (E)	F (D)	E (D)	D	D / E
ESC-275/175/100	F (E)	F (E)	D / E (C)	C	C / D
ESC-250/200/150/100 (l.p.)	F (E)	F (E)	E (D)	C	C / D
ESC-275/225/175/125 (l.p.)	F (E)	F (E)	E / F (D)	C / D	D
GRA-350_25/100	F (E)	F (E)	D / E (C)	C	C / D
GRA-350_25/50	F (E)	F (E)	D (C)	B	B / C
GRA-275_5/100	F (E)	F (E)	F (E)	C	C / D
GRA-250_25/100	F (E)	E (D)	D (C)	C	C / D
GRA-250_25/50	F (E)	D / E (C)	C (B)	B	B / C

Tabla 11. Situación hidrológica alcanzada en los horizontes temporales considerados, para distintos escenarios de explotación.

CTE: extracción constante; ESC: escalones de volumen de extracción; GRA: reducción gradual de las extracciones; Cifras de volúmenes de extracción en $\text{hm}^3/\text{año}$; (l.p.): la cuarta cifra corresponde a la extracción a largo plazo; (sin c.c.): sin considerar efectos de cambio climático; (con c.c.): considerando efectos del cambio climático; A, B, C, D, E, F, G y escala de colores: indicadores de la situación alcanzada por el sistema para cada escenario (explicación en el texto); Letras separadas con barra (por ejemplo, D/E): situación alcanzada intermedia a las dos indicadas; Letra entre paréntesis: situación que podría alcanzarse si la secuencia correspondiente es extremadamente húmeda.

Por tanto, la tabla-resumen adjunta (Tabla 11) debe ser interpretada con suficiente cautela y sin olvidar las consideraciones anteriores. En dicha tabla se han intentado resumir los escenarios de explotación presentados anteriormente (y alguno más), mostrando las previsiones de recuperación hidrológica y medioambiental en cada caso, y para cada uno de los horizontes temporales analizados, incluyendo la previsión a largo plazo.

En la Tabla 11, la columna de “Escenarios de extracciones” utiliza la nomenclatura ya definida en el apartado 6.3, distinguiendo entre escenarios de extracciones constantes (CTE); escenarios con escalones de 5, 6 y 6 años de extracciones constantes (añadiendo en algunos casos un cuarto escalón que determina un valor de la extracción constante a largo plazo) (ESC); y escenarios con reducción gradual de las extracciones anuales (GRA).

Las columnas restantes muestran, para cada escenario de extracciones, la situación prevista en cada uno de los horizontes temporales considerados: 2015 (5 años), 2021 (11 años) y 2027 (17 años), así como la previsión de la situación alcanzada con ese escenario a largo plazo, sin considerar los posibles efectos del cambio climático (sin c.c.), o teniéndolos en cuenta (con c.c.).

Para definir la situación hidrológica-medioambiental a la que se llega en cada caso, se han diferenciado 7 categorías, indicadas con las letras A, B, C, D, E, F y G. Los significados aproximados de cada una son los siguientes:

A (color verde):

Recuperación absoluta. Desde el punto de vista de los niveles piezométricos representaría prácticamente el régimen natural, sin extracciones de agua subterránea. Supondría descargas y superficies de zonas húmedas aún mayores que las conocidas a mediados del siglo XX.

B (color amarillo):

Recuperación casi total. Hidrológicamente supondría recuperar la situación existente a mediados del siglo pasado. Cuantitativamente puede relacionarse con una extracción a largo plazo de 50 hm³/año (que podrían corresponder de forma aproximada a 21, 24 y 5 hm³/año en Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos respectivamente)

C (color azul):

Recuperación muy importante. Se restablecería la conexión de los acuíferos con ríos y zonas húmedas, aunque con una cierta vulnerabilidad a las secuencias secas, produciéndose estacionalmente el cese de las descargas del acuífero. Esta vulnerabilidad dependerá de la zona y de la intensidad de la secuencia seca. Cuantitativamente puede relacionarse con una extracción a largo plazo de 100 hm³/año (atribuidos aproximadamente: 41, 49 y 10 hm³/año en Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos).

D (color rosa):

Recuperación media. Recuperación muy importante de los niveles piezométricos, pero comportamiento de la relación acuífero-río, y por tanto de las descargas y de la superficie de zonas húmedas muy condicionado por la pluviometría, de modo que las descargas se producirán estacionalmente, en secuencias suficientemente húmedas. El grado de esta vulnerabilidad meteorológica dependerá también de las zonas. Cuantitativamente puede relacionarse con una extracción a largo plazo de 150 hm³/año (atribuidos aproximadamente: 62, 73 y 15 hm³/año en Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos).

E (color rojo):

Ligera recuperación. Los niveles piezométricos sí se recuperan de forma importante, pero se quedarían en general pocos metros por debajo de volver a producirse descargas, y por tanto de poder considerar una recuperación medioambiental importante. En secuencias muy húmedas sí podrían producirse estas descargas. Cuantitativamente puede relacionarse con una extracción a largo plazo de 200 hm³/año (atribuidos aproximadamente: 83, 97 y 20 hm³/año en Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos).

F (color marrón):

Mínima recuperación (sólo de niveles). Implica ascensos de niveles con respecto a la situación actual, pero medioambientalmente la situación seguiría siendo la misma. Desde ese punto de vista es indiferente que los niveles estén en la situación actual o que estén 10 ó 12 metros más arriba. Cuantitativamente puede relacionarse con una extracción a largo plazo entre 250 y 350 hm³/año (atribuidos aproximadamente en unos rangos de: 104–145, 121–170 y 25–35 hm³/año en Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos respectivamente)

G (color gris):

Sin ningún tipo de recuperación con respecto a la situación actual. Cuantitativamente puede relacionarse con una extracción a largo plazo de 350 hm³/año (145, 170 y 35 hm³/año en Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos respectivamente).

Las letras indicadas entre paréntesis indican la situación que podría alcanzarse en ese escenario para el caso de que la secuencia meteorológica que se produjera hasta ese horizonte fuera extremadamente húmeda.

En algunas ocasiones se incluyen dos letras (por ejemplo, D / E), por ser especialmente difícil discernir entre las dos posibles situaciones alcanzadas. En esos casos, el color atribuido es el de la primera letra indicada.

Por otra parte, en el caso del largo plazo con consideración de cambio climático, se ha tenido en cuenta que la hipótesis utilizada es excesivamente pesimista, y en casi todos los casos se ha preferido asignar dos letras: la que existía sin la consideración del cambio climático, y la que resulta de la hipótesis realizada de reducir la recarga de la lluvia en el 11%. A modo únicamente de convenio, se ha asignado el color de la hipótesis más favorable. Como se indicó anteriormente la incertidumbre de estos escenarios de cambio climático sólo puede irse reduciendo con los datos y análisis que se vayan realizando sobre la evolución del sistema, y con la mejora de los modelos de cambio climático a escala regional.

En general, y con todos los matices que han sido expuestos, podría identificarse de alguna manera la recuperación ambiental de la cuenca alta del Guadiana en los términos establecidos por la DMA, con los indicadores A, B y C (verde, azul y amarillo). El indicador D (rosa) quedaría bastante cercano, por lo que dependería de la secuencia climatológica, dada la importancia de la misma en periodos de tiempo tan reducidos como 5, 11 o incluso 17 años.

Una última consideración a realizar es que la recuperación hidrológica de la que aquí se habla está referida a la recuperación de los niveles piezométricos que vuelve a producir la conexión de los acuíferos con cauces superficiales y zonas húmedas, y por tanto las consiguientes descargas naturales de los acuíferos, y la evidente recuperación ambiental que ello supone. No es objeto del presente trabajo analizar las funciones ecológicas y medioambientales que puedan no ser recuperables a causa de otras acciones antrópicas o de fenómenos producidos como la combustión de las turbas.

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El presente informe ha tratado de analizar la posible evolución futura del sistema hidrológico de la cuenca alta del Guadiana, y en concreto la viabilidad de su recuperación medioambiental, ligada a su vez a la recuperación de las descargas de los acuíferos y de la conexión de estos con las corrientes superficiales.

Para ello se han simulado una serie de escenarios futuros, determinados por la secuencia meteorológica que se produzca (en cuanto a pluviometría anual) y por la extracción anual de agua que se realice en las tres masas de agua subterránea centrales de la cuenca alta (Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos). Las secuencias meteorológicas, de diferentes características (húmedas, medias, secas), se han elegido a partir de las series históricas de precipitación media anual. Para las extracciones futuras se ha intentado simular diversas hipótesis que en conjunto permitieran tener una idea general de la evolución que puede esperarse del sistema.

Las simulaciones se han realizado mediante modelos empíricos elaborados a partir de los datos y resultados obtenidos en varios modelos numéricos de flujo subterráneo desarrollados en la cuenca alta del Guadiana, y del conocimiento del funcionamiento del sistema en las diferentes situaciones en las que éste puede encontrarse. Para ello se ha analizado y cuantificado el comportamiento de los diferentes términos del balance hídrico en dichas situaciones.

Las simulaciones han sido referidas a un punto concreto de la zona central de la Llanura Manchega, relativamente cercano a los Ojos del Guadiana (en el término municipal de Manzanares, prácticamente en el límite entre las masas de Mancha Occidental II y Mancha Occidental I), del que se dispone de su evolución piezométrica histórica, que puede correlacionarse fácilmente con la de otros puntos de la zona central de la cuenca alta, y que por tanto sirve como indicador de la situación del sistema en cuanto a su posible recuperación hídrica y medioambiental.

La recuperación de los niveles piezométricos que permitiría recobrar la conexión entre los acuíferos y las corrientes superficiales depende del volumen de extracción que a largo plazo se establezca de una forma más o menos constante. El sistema evolucionará en cada momento desde la situación que tenga a una nueva situación de equilibrio caracterizada por un nuevo balance hídrico, al que corresponderá una determinada distribución de los niveles piezométricos.

A partir de las simulaciones realizadas (especialmente de los denominados *escenarios de equilibrio*) puede resumirse la situación a la que llegaría el sistema en función de los

volúmenes extraídos de agua subterránea en el conjunto de las masas de Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos, de la siguiente manera.

- Extracción mantenida de 50 hm³/año. Recuperación prácticamente total. Las descargas de los acuíferos y superficies de zonas húmedas volverían a los niveles de mediados del siglo XX. Sus valores dependerían lógicamente de las secuencias climatológicas, que harían oscilar moderadamente los niveles piezométricos, recuperándose el funcionamiento autorregulador de los acuíferos de la cuenca alta.
- Extracción mantenida de 100 hm³/año. Recuperación muy importante. A largo plazo volvería también en este caso a recuperarse la conexión de acuíferos y corrientes superficiales y las zonas de descarga volverían a funcionar como tales. Las descargas, y por tanto la componente subterránea de la escorrentía y las superficies de zonas húmedas serían menores que en el caso anterior. El sistema sería más vulnerable a las secuencias secas, produciéndose estacionalmente el cese estas descargas. Esta vulnerabilidad a periodos de escasas precipitaciones dependerá de la zona y de la intensidad del periodo seco.
- Extracción mantenida de 150 hm³/año. Importante recuperación de los niveles piezométricos, pero comportamiento de la relación acuífero-río muy condicionado por la pluviometría. Los periodos de tiempo en los que existirán descargas del acuífero (por ejemplo en los Ojos del Guadiana), así como los volúmenes descargados y superficies de zonas húmedas serán bastante inferiores a los que históricamente se registraban hasta los años 70 del pasado siglo, con bastantes épocas en las que las descargas desaparecerán en muchas zonas.
- Extracción mantenida de 200 hm³/año. Notable recuperación de los niveles piezométricos respecto a la situación actual, pero sin poder considerar recuperado el sistema desde un punto de vista hidrológico y medioambiental, puesto que el nivel piezométrico *de equilibrio* que se alcanzaría no llega a ser suficiente para garantizar la conexión acuífero-ríos durante periodos de tiempo importantes. En secuencias climatológicas suficientemente húmedas sí llegarían a producirse estas descargas en muchas zonas.
- Extracciones mantenidas superiores a 225 hm³/año. Los niveles piezométricos estarían a largo plazo por encima de los actuales (si la cifra de extracciones se mantiene por debajo de 325–350 hm³/año), pero el funcionamiento del sistema seguiría siendo básicamente el mismo que el actual, totalmente alterado respecto al

régimen natural y sin producirse conexión del acuífero con las corrientes superficiales en toda la zona central de la cuenca alta del Guadiana.

Evidentemente, los resultados anteriores tienen un margen de incertidumbre y las cifras deben ser consideradas como meramente orientativas. No obstante, proporcionan un panorama bastante claro y fiable sobre la situación a largo plazo que se puede esperar en función de las decisiones adoptadas con respecto a la utilización de las aguas subterráneas. Además, la posible recuperación de los acuíferos requiere de una etapa más o menos larga de transición, durante la cual el contraste y actualización de las hipótesis formuladas, y el adecuado seguimiento y análisis de la evolución del sistema permitirá reducir los márgenes de incertidumbre y adaptar los modelos y previsiones existentes. A su vez, esto permitirá tomar decisiones más ajustadas a la realidad en la fase final de recuperación de los acuíferos. En este sentido, en el informe se hace hincapié en la necesidad de tener un conocimiento suficientemente aproximado de las extracciones reales de agua subterránea, espacial y temporalmente.

Los resultados anteriores hacen referencia a la posible recuperación del sistema hidrológico a largo plazo. Uno de los aspectos analizados en el presente informe es la posibilidad de que esa recuperación se produzca dentro de los horizontes temporales establecidos por la legislación, en concreto por la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea. Así, han sido analizadas las posibilidades de recuperación en los años 2015, 2021 y 2027. Las incertidumbres en este caso son notablemente mayores, puesto que los periodos de tiempo son suficientemente reducidos para estar muy condicionados por las secuencias climatológicas registradas. A este respecto, las secuencias simuladas reproducen secuencias históricas extremas (además de las medias) húmedas y secas. Por ello, los casos en que la recuperación sólo se produce en secuencias extremadamente húmedas, son excesivamente ficticios desde el punto de vista de considerar la recuperación hídrica y medioambiental del sistema. Parece más coherente vincular esta recuperación a secuencias climatológicamente medias en cuanto a precipitaciones. Como resumen de los escenarios analizados podría comentarse lo siguiente.

- Horizonte temporal 2015. En términos prácticos, y considerando el contexto actual, parece prácticamente imposible la recuperación en dicho plazo. Sólo un hipotético cese absoluto de las extracciones (incluidas las destinadas a abastecimiento) podría dar lugar a la recuperación del sistema. Un escenario climatológico que reprodujera los 5 años históricamente más húmedos, que además prolongaría el del año

hidrológico 2009/10 que ha sido igualmente muy húmedo, podría conducir a ascensos espectaculares de los niveles piezométricos que quedarían muy cercanos a situaciones que podrían considerarse cercanas a la recuperación, pero en todo caso bastante ficticias. Desde el punto de vista de la posible recuperación en un plazo más largo, este periodo es importante de cara a reducir las extracciones hasta los valores más cercanos posibles a los que se estimen como objetivo final a mantener en el largo plazo, de acuerdo con los valores de referencia que se establecieron anteriormente.

- Horizonte temporal 2021. Con escenarios climatológicos medios la recuperación para ese año es difícil, a no ser que desde el principio se redujeran drásticamente las extracciones. Si desde el principio se consigue adoptar volúmenes de extracción como los indicados anteriormente en el análisis a largo plazo, los 11 años de este periodo, sin llegar a ser suficientes para llegar a la denominada situación de equilibrio, si que serían suficientes para conseguir un porcentaje muy alto del ascenso total esperable a largo plazo con esas extracciones. Por ejemplo, ante escenarios climatológicos medios, y con extracciones que desde el principio se acercaran a los 200 hm³/año, y en la media del periodo estuvieran por debajo de esa cifra, se produciría una recuperación muy notable de los niveles piezométricos. No podría hablarse de recuperación en 2021 en los términos establecidos por la DMA, pero dejaría la situación favorable para conseguirlo en el siguiente periodo de 6 años en el caso de que se consiguiera reducir a otro escalón inferior dicho nivel de extracciones. Para poder hablar de recuperación con una climatología media, sería necesario que en los 11 años que abarca este periodo las extracciones estuvieran claramente por debajo de los 100 hm³/año. En todo caso, un periodo de 11 años sigue siendo muy sensible a la climatología, y así una secuencia extremadamente húmeda (al nivel del máximo histórico en 11 años consecutivos) produciría una recuperación de niveles hasta recobrar en muchas zonas los niveles de descarga de los acuíferos, con cifras de extracción de unos 200 hm³/año.
- Horizonte temporal 2027. Aun con la necesidad de reducción de las extracciones a niveles muy bajos en comparación con los estimados en las últimas décadas, el año 2027 parece un horizonte más realista para contemplar una recuperación real de los niveles piezométricos que produzca la correspondiente recuperación medioambiental, al menos en lo que respecta a la conexión de acuíferos y corrientes superficiales. Si desde el principio se establece un volumen de extracciones

mantenido en el tiempo, en los 17 años del periodo se alcanzaría prácticamente la situación de equilibrio mencionada en los casos anteriores, por lo que la situación obtenida en cada caso (con cada volumen de extracción mantenido constante) sería la que se describió anteriormente. No obstante, el resultado al final del periodo de 17 años está todavía bastante influenciado por la secuencia climatológica, de forma que un periodo demasiado seco haría que el objetivo no se cumpliera.

Si en lugar de considerar una extracción mantenida constante desde el principio se va reduciendo ésta gradualmente, podemos encontrar (siempre hablando de secuencias climatológicas medias) algún escenario en el que se consiga el objetivo de recuperación, pero pasaría porque hubiera una etapa final suficientemente larga (por ejemplo los últimos 12 años) en los que las extracciones no superen los 100 hm³/año, dedicándose los 5 primeros años a alcanzar gradualmente dicho nivel de extracciones. En todo caso hay que recordar que en estos plazos no suficientemente largos, y siempre considerando estos volúmenes de extracción suficientemente reducidos, las características climatológicas del periodo tienen una importancia decisiva para conseguir el objetivo más o menos rápidamente.

Las consideraciones y la tabla-resumen incluidas en el apartado 7.6 dan una idea más detallada de la posibilidad de recuperación del sistema ante los diferentes escenarios.

La recuperación estricta del sistema lleva asociado el cumplimiento de indicadores bastante específicos, como son los de caudales ambientales mínimos en zonas como las Tablas de Daimiel. No hay que perder de vista que la gran sensibilidad del sistema (y en concreto de las descargas de los acuíferos) a pequeñas variaciones piezométricas en las situaciones en que el sistema puede considerarse en el límite de la recuperación, hacen que no tenga mucho sentido relacionar de forma más o menos precisa volúmenes de extracción y secuencias climatológicas futuras con aspectos de detalle cuantitativos relacionados con los volúmenes de descarga en puntos concretos, superficie de determinadas zonas húmedas, etc., que en todo caso habría que desarrollar de forma muy específica para dichas zonas y con una escala y nivel de detalle muy exigentes. No obstante, los escenarios analizados y las cifras aportadas sí suponen una referencia a seguir para conseguir llegar a dicha situación límite en cuanto a recuperación ambiental. En lo contemplado hasta aquí en estas conclusiones no ha sido tenido en cuenta el posible efecto futuro del cambio climático. Su repercusión ha de ser considerada en los estudios que en adelante se realicen sobre la evolución futura del sistema hidrológico. Las incertidumbres sobre los modelos de cambio climático existentes, especialmente

cuando descendemos a niveles regionales, son muy altas, y aun lo son más en cuanto a su afección en una cuenca con tanta importancia de la componente subterránea del recurso. En el presente informe se ha hecho una simulación considerando un escenario de cambio climático aparentemente muy desfavorable, que supone trasladar a la recarga de la lluvia el 11% de disminución sobre la aportación natural de referencia indicado por la Instrucción de Planificación Hidrológica. Esta hipótesis supone reducir en cerca de 50 hm³ el valor medio anual de la recarga procedente de la lluvia en el conjunto de la cuenca alta del Guadiana (algo más de 30 hm³/año en las tres masas centrales). No es una cifra despreciable, y supondría la necesidad de reducir aún más las extracciones para conseguir los mismos objetivos. En todo caso, la incertidumbre relativa al cambio climático requiere un adecuado seguimiento de la evolución del sistema en los próximos años y una mejora en los modelos existentes de cambio climático a escala regional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOE (2003). *Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social*. Boletín Oficial del Estado, 31/12/2003: 46874–46992.
- BOE (2008). *Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica*. Boletín Oficial del Estado, 22/9/2008: 38472–38582.
- CE (2000). *Directiva 2000/60/EC del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*. Comisión Europea, Luxemburgo.
- Cruces, J. y Martínez Cortina, L. (2000). *La Mancha Húmeda. Explotación intensiva de las aguas subterráneas en la cuenca alta del río Guadiana*. Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas, Fundación Marcelino Botín, Serie A, 3: 66 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. Salamanca, 23–26 junio, tomo 2: 285–293.
- IGME (2008). *Marco hidrológico del Campo de Montiel en el contexto de un modelo de gestión participativa de una masa de aguas subterráneas*. Convenio de colaboración entre el IGME y la Confederación Hidrográfica del Guadiana. Instituto Geológico y Minero de España, 40 pp.
- IGME (2010). *Estimación de los recursos disponibles para cada masa de agua subterránea de la cuenca alta del Guadiana, basada en el análisis de los informes y referencias bibliográficas precedentes y en los datos de infraestructura hidrogeológica y conocimiento experto del IGME*. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos

de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Estudio complementario. Instituto Geológico y Minero de España y Dirección General del Agua. 69 pp.

Martínez Cortina, L. (2001). *Estimación de la recarga en grandes cuencas sedimentarias mediante modelos numéricos de flujo subterráneo. Aplicación a la cuenca alta del Guadiana*. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. 418 pp.

Martínez Cortina, L. (2003). Marco hidrológico de la cuenca alta del Guadiana. En: C. Coletto, L. Martínez Cortina y M.R. Llamas (eds.), *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: la cuenca alta del Guadiana*. Fundación Marcelino Botín y Ediciones Mundi-Prensa: 3–68.

Montero, E. (1994). *Funcionamiento hidrogeológico del sistema de las Lagunas de Ruidera*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 2 tomos. 275 pp. + anejos.