

## LOS HUMEDALES DE DOÑANA Y SU RELACIÓN CON EL AGUA SUBTERRÁNEA

Marisol Manzano

Unidad Asociada de Hidrología Subterránea,  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad Politécnica de Cataluña

La mayor parte de la información que aquí se presenta procede de los estudios que en los últimos diez años ha venido realizando el Grupo de Hidrología Subterránea de la Universidad Politécnica de Cataluña en Doñana, en colaboración con las universidades de Córdoba y Huelva. Incluye, además de un buen número de datos propios, toda la información previa existente procedente de todos los organismos involucrados de una manera u otra en la gestión hídrica y ambiental de Doñana y también en la investigación. Esto significa que incorpora todos los conocimientos previos que había en organismos tales como el antiguo IGME (actual ITGE), la Confederación Hidrográfica, el antiguo ICONA (Parque Nacional), la Estación Biológica de Doñana, el IRIDA, el IARA y la Universidad Complutense de Madrid. Además estos estudios siguen enriqueciéndose en la actualidad con la colaboración de todos esos organismos mencionados.

Antes de hablar de los humedales de Doñana en relación con el agua subterránea, necesariamente hay que hacer una breve síntesis del funcionamiento hidrogeológico de la zona.

### ***Funcionamiento del sistema acuífero de Doñana***

El sistema acuífero de Doñana, también llamado acuífero Almonte-Marismas, está formado por los siguientes materiales de base a techo:

- un nivel de pocos metros de espesor de limos de origen litoral,
- un nivel de arenas de origen aluvial que puede tener entre pocos metros y varias decenas de metros de espesor,
- un nivel de gravas arenosas aluviales de espesor variable (unos pocos metros en el área de Abalarío

- y más de un centenar de metros bajo la marisma) y, por último,
- un potente (30 a 100 m) nivel de arenas cuyo origen varía según la zona: eólicas en la zona litoral y de origen aluvial hacia el noroeste y norte de la marisma.

Estos materiales, que son todos permeables (aunque tienen permeabilidades relativas diferentes), afloran al oeste y norte de la marisma, pero bajo ésta se hundieron progresivamente en dirección sureste de manera que aparecen entre 30 y 70 m de profundidad, según la zona, y cubiertos por las arcillas de estuario y marisma. El conjunto es bastante joven desde el punto de vista geológico, pues los materiales más antiguos son del Plioceno Superior (unos 2.000.000 de años) y la mayor parte es del Pleistoceno (entre 1.700.000 y 12.000 años) y del Holoceno (desde hace unos 12.000 años hasta la actualidad).

En el caso de Doñana no se puede hablar de un acuífero sino de un "sistema acuífero" ya que las arcillas de estuario y marisma, de edad entre pleistocena y holocena (en general bastante menor de 100.000 años), forman parte del conjunto. Aunque de forma intuitiva se tiene la idea de que las arcillas son impermeables, en realidad desde el punto de vista hidrogeológico ningún material es impermeable sino de permeabilidad baja o muy baja: todo es cuestión de cuánto tiempo tardan esos materiales en dejar pasar el agua que contienen en los poros o la que les puede estar entrando desde otros materiales adyacentes. Como es bien sabido, las arcillas de Doñana contienen agua salina y salada en los poros y, desde el momento de su formación hasta la actualidad, esa agua se ha desplazado, fundamentalmente mediante flujos verticales.

El sistema acuífero de Doñana se recarga por el agua de lluvia. La recarga tiene lugar allí donde aflora

ran las arenas, es decir en toda la superficie no cubierta por la marisma. Lo mismo ocurre con la unidad Aljarafe, que aunque administrativamente constituya otro acuífero, geológica e hidrogeológicamente es idéntica al sistema de Almonte-Marismas (la única separación entre ambas unidades es el valle del río Guadiamar) y se puede considerar como el extremo noreste de Doñana. Allí donde afloran los materiales permeables y tiene lugar la recarga, el acuífero de Doñana es libre o freático (es decir, contiene agua a presión atmosférica). Allí donde los materiales permeables están bajo las arcillas de marisma, el acuífero está confinado (es decir, el agua en él está a presión mayor que la atmosférica).

La configuración piezométrica del sistema acuífero de Doñana se adapta con bastante fidelidad a la topografía del terreno. En la zona de El Abalarío la superficie piezométrica (mapa "topográfico" del agua subterránea, es decir mapa de isolíneas que indican la altura sobre el nivel del mar del agua subterránea que hay en el acuífero, considerando el nivel del mar como posición o cota cero) forma un domo que reproduce la forma del terreno. Hacia el noroeste y noreste la piezometría se va elevando de cota conforme lo hace la topografía, de forma que en las zonas de altos topográficos existen también altos piezométricos.

Si hiciésemos un corte en el terreno entre Mazagón, El Abalarío y el centro de la marisma, en el paquete de arenas eólicas y litorales que forman la mayor parte del acuífero en El Abalarío el agua subterránea se mueve de forma descendente y vertical desde el nivel freático hacia los niveles más profundos del acuífero. Al llegar al nivel más profundo, un nivel de gravas situado encima de las margas azules miocenas y bastante más permeable que las arenas que tiene por encima, el agua subterránea fluye lateralmente por las gravas hacia la costa, hacia el ecotono y hacia la Rocina.

La descarga del sistema acuífero ocurre, de forma natural, hacia el mar (a lo largo de toda la franja costera), hacia arroyos como La Rocina, El Partido, La Cañada Mayor, el Río Loro (o Río Oro), ríos como el Guadiamar (en su tramo bajo) y el Tinto y a lo largo del borde de la marisma (ecotonos) mediante flujos verticales ascendentes y mediante la evapotranspiración de la vegetación. Hoy en día también descarga a través de los bombeos en pozos.

Una parte del agua subterránea que llega al borde de la marisma no descarga a través de los ecotonos sino que continúa fluyendo hacia el sur y sureste por el sector de acuífero confinado bajo la marisma. Buena parte de esta agua descarga hacia la superficie de la marisma por flujos ascendentes a través de las arcillas a una velocidad muy pequeña. A esta veloci-

dad tan pequeña en hidrogeología se le llama "goteo". El goteo ha tenido lugar a lo largo de los 6.000 años que lleva constituido el sistema acuífero tal y como lo conocemos en la actualidad. Sin embargo, esa situación se ha modificado ligeramente en el sector noreste de la marisma debido a las fuertes extracciones de agua subterránea de los últimos años, que han disminuido e incluso invertido (localmente) el gradiente hidráulico y por tanto también los flujos.

### ***Tipos de humedales en Doñana y su relación con las aguas subterráneas***

La frecuencia y la permanencia de la inundación, así como las características hidrogeoquímicas de los humedales, dependen en gran medida de la ubicación de éstos respecto a la red de flujo del agua subterránea en el acuífero.

Desde el punto de vista de su relación con el acuífero, los humedales existentes en Doñana se pueden agrupar en tres conjuntos: a) humedales situados sobre marisma, b) humedales situados en zona de recarga del acuífero y c) humedales situados en zona de descarga del acuífero. Atendiendo a los factores hidrológicos (frecuencia y permanencia de la inundación y origen del agua), cada uno de estos grupos se divide en los siguientes tipos de humedales:

**a. Humedales en marisma.** Desde el punto de vista hidrológico son de dos tipos:

1. Temporales-estacionales (atendiendo a la frecuencia y permanencia de la inundación) y epigénicos (atendiendo al origen del agua, los que se alimentan fundamentalmente por agua superficial y no por agua subterránea). Es el caso de la mayoría de los humedales de marisma en Doñana, representados por la propia marisma inundable (tanto dulce como salobre);
2. Permanentes e hipogénicos (es decir, de alimentación subterránea). Este tipo de humedales es poco frecuente hoy en día en la marisma, pero lo fue más en el pasado. Estaban originados por esos flujos ascendentes de agua subterránea a través de las arcillas antes mencionados. Testimonio de la existencia de estos flujos son aún los "ojos" de marisma, y quizá también los lucios (del Lobo, de Mari López,...) cuando éstos funcionaban según un sistema de flujo natural, no controlado por la actividad humana como ocurre hoy en día.

Atendiendo a la química del agua, los humedales sobre marisma tienen grados de mineralización variable tanto espacial como temporalmente. No

obstante, en general son de carácter clorurado sódico. Ello es debido tanto al aporte de sal del terreno de la propia marisma, como al aporte ocasional de agua salobre superficial y también al efecto de la concentración salina que causa la evaporación en los cuerpos de agua embalsados.

**b. Humedales situados en el área de recarga del acuífero.** Desde el punto de vista hidrológico se distinguen los siguientes cuatro tipos:

1. Estacionales e hipogénicos (atendiendo al origen subterráneo del agua). Es el caso de la mayoría de humedales en zona de recarga en Doñana. Algunos ejemplos se han comentado ya aquí: lagunas de Ribatehilos, Peladillo, Ansares, etc. en la zona de El Abalarío. Estos únicamente tienen agua en su superficie en época de niveles freáticos altos; en época seca y de niveles freáticos bajos no vemos agua en superficie pero sí existe una vegetación cuyas raíces llegan hasta el nivel freático y que es la que mantiene el humedal activo.

Los humedales estacionales en zona de recarga se deben a que, en la época de niveles freáticos altos, el nivel freático interseca o queda muy cerca de la superficie del terreno en las pequeñas depresiones topográficas.

2. Permanentes e hipogénicos: es el caso de un número restringido de humedales en zona de recarga en Doñana y, aunque hoy en día esa permanencia está en general mantenida de forma artificial, en el pasado era natural. Es el caso del conjunto de lagunas Acebuche-Dulce-Las Pajas (hoy alimentadas con agua subterránea mediante bombeo), o de las del entorno de El Alamillo (hoy persiste alguna por haber sido excavado su fondo, sea como sacatierras o como zacallón). También es el caso de lagunas tales como la de La Anguila, Del Rincón, etc., que son de las pocas que persisten en la zona de recarga del acuífero situada al norte de la marisma, pues la mayor parte de ellas ha desaparecido por el cambio de usos del suelo, la roturación, reforestación etc. y también por el descenso del nivel freático debido a las extracciones.

La presencia de humedales permanentes de alimentación subterránea situados en zona de recarga de acuíferos se debe a la existencia de los flujos de agua subterránea de corto y medio recorrido de los que ha hablado el señor Emilio Custodio en su exposición.

3. Un pequeño número de lagunas es de tipo estacional o esporádico y de origen epigénico (de alimentación superficial). Tal es el caso de las lagunas de Río Loro (o Río Oro) o Jiménez, en la zona de El Abalarío. En ellas el nivel freático nunca interseca la superficie del terreno, y sin embargo recogen agua de lluvia en época húmeda y pueden mantenerla durante meses debido a que el fondo de la cubeta es menos permeable que el terreno que la rodea debido a la acumulación de materia orgánica, material fino (polvo) etc. y también a la compactación que produce el tránsito frecuente de las vacas por la cubeta cuando no hay agua.

4. Estacionales o esporádicos y de tipo mixto (reciben agua superficial y también subterránea). Es el caso de bastantes lagunas de la zona de recarga occidental del acuífero. A este grupo pertenecen algunos de los humedales más orientales de la lineación de Ribatehilos, los cuáles reciben agua antes quizá por escorrentía superficial (procedente de los humedales adyacentes más occidentales) que por aporte subterráneo. Otro ejemplo es la Laguna de Sancho Mingo, en el carril de El Abalarío a El Acebuche. En muy raras ocasiones tiene agua debido a la intersección del nivel freático con el terreno, generalmente tiene el agua que le viene por escorrentía superficial y por flujos hipodérmicos. Estos flujos tienen lugar a escasa profundidad en el terreno y por encima del nivel freático. Se generan debido a la existencia en el suelo de horizontes o capas de material menos permeable que el que hay por encima y por debajo de ellos. Estas capas son más o menos horizontales, generalmente delgadas y de continuidad lateral muy restringida, por lo que suelen generar flujos hipodérmicos de recorrido métrico o menor, es decir, de ámbito restringido.

Desde el punto de vista hidroquímico, la característica fundamental de los humedales en la zona de recarga al oeste de la marisma es que tienen aguas muy poco mineralizadas, ya que el terreno no tiene prácticamente minerales hidrolizables (solubles). Está formado fundamentalmente por arenas silíceas con algunos feldspatos y arcillas y prácticamente sin carbonatos, que son los minerales más solubles. El agua de lluvia se infiltra en el suelo casi sin disolver nada, por lo que el agua freática que alimenta esos humedales tiene las mismas características químicas que la lluvia local, que es ligeramente clorurada sódica y poco mineralizada. En la zona de recarga al norte de la marisma sí hay carbonatos en el terreno, por lo

que el agua freática y también la de los humedales es bicarbonatada-clorurada-sódica-cálcica, como resultado de la disolución del carbonato cálcico del terreno por el agua de lluvia cuando ésta se infiltra.

### c. Humedales situados en zona de descarga.

Son de tres tipos:

- 1 Permanentes hipogénicos: es el caso de los caños y cañadas que rodean la marisma, especialmente por los ecotonos norte y este. Salvo en la época de lluvias, en la cuál reciben principalmente escorrentía superficial procedente de toda la cuenca de los arroyos, en época seca los caños y cañadas no son más que drenes del acuífero en su tramo más cercano a la marisma. Debido a su alimentación por agua subterránea, los caños y cañadas constituyen, en muchos casos, el único tramo de los arroyos que mantiene agua todo el año. Esta es también la causa de su aspecto habitual densamente vegetado. Ejemplo de ello son la Cañada Mayor, el arroyo de La Rocina, el del Río Loro (o Río Oro) y algún otro de menor entidad en el acantilado de El Asperillo y, hasta no hace muchos años, los caños de La Vera tales como el Soto Chico, el Soto Grande, etc.
- 2 Estacionales hipogénicos: ésta es en realidad la situación actual del Soto Chico, Soto Grande y otros caños de La Vera, así como la de las algaidas y cañadas que desembocan en La Rocina mayoritariamente por su orilla sur. También es el caso de muchas zonas de rezume y de surgencias en el acantilado de El Asperillo, los cuáles generan zonas encharcadas muy vegetadas durante la época húmeda y de extensión métrica o decamétrica. En cuanto a los caños de La Vera, aunque ya no mantengan agua en superficie en época seca (debido al descenso de los niveles freáticos en el entorno del Rocío en los últimos 10-15 años), sí mantienen una densa vegetación cuyas raíces llegan al nivel freático. Y es bien sabido que la existencia de agua en superficie o a poca profundidad en los caños de La Vera es el factor responsable de la concentración y pervivencia de buena parte de la macro fauna de Doñana durante la época seca.
- 3 Estacionales epigénicos o mixtos: es el caso de la Madre de las Marismas en su tramo más cercano a El Rocío. El origen de agua aquí se puede considerar mixto porque, aunque la mayor parte es de origen subterráneo (tal como acabamos de ver, debido al afloramiento del nivel freático en caños, cañadas, algaidas y Rocina), otra parte procede de la escorrentía superficial

y epidérmica que se genera especialmente en las zonas regables del entorno de El Rocío.

Desde el punto de vista químico, las aguas de los humedales situados en la zona de descarga del acuífero son algo más mineralizadas que las de la zona de recarga porque reciben agua subterránea que ha tenido un mayor tiempo de contacto con los minerales de terreno. Sin embargo, salvo excepciones, la mineralización total no es muy alta y las aguas oscilan entre bicarbonatadas-cálcicas y cloruradas-sódicas. No obstante, algunos manantiales y arroyos de la zona de descarga ubicada a lo largo del acantilado costero de El Asperillo son bastante mineralizados y de carácter marcadamente clorurado-sódico. Ello se debe a la incorporación al agua subterránea local de sales procedentes del aerosol marino que se genera en la zona. El aerosol (las pequeñas gotitas de agua de mar que se generan en la zona de rompiente) aporta fundamentalmente cloruro y sodio al agua freática mediante dos mecanismos: 1) humectación de la superficie del terreno e infiltración de las gotitas en la vertiente de barlovento del acantilado hasta alcanzar el nivel freático local (ocurre principalmente en épocas de temporal) y 2) evaporación de las gotitas, deposición sobre el terreno de las sales marinas y redisolución e infiltración de las mismas con el agua de lluvia (probablemente sea el mecanismo más frecuente).

Combinando la variabilidad hidrológica con la hidrogeoquímica, los distintos tipos de humedales existentes en las tres zonas mencionadas son los responsables directos de una buena parte de la diversidad ecológica de Doñana.

### ***Afecciones a los humedales de Doñana***

Sin embargo, el funcionamiento natural de una buena parte de los humedales de Doñana está modificado por la influencia de diversos factores, fundamentalmente los tres siguientes:

- **Deforestación, reforestación y transformación agraria:** ha supuesto una progresiva desaparición de humedales por diversas causas. Una de ellas es el movimiento de tierras y la consiguiente pérdida de cohesión del suelo, que ha ocasionado cambios en la topografía del terreno debido a los procesos de erosión y sedimentación localizada. Estos cambios pueden haber sido de escala decimétrica, pero eso es suficiente para crear o hacer desaparecer depresiones del terreno capaces de intersectar el nivel freático en época

húmeda o de almacenar agua de lluvia. Ejemplo característico de este efecto son los humedales situados tanto en la cuenca alta como en ambos márgenes de La Rocina (en general, arroyos poco encajados y algunas lagunas).

En relación con la reforestación, otra causa de desaparición de humedales es la introducción de especies alóctonas con mayores requerimientos hídricos y con mayor accesibilidad de sus raíces al agua freática que las autóctonas, como es el caso bien conocido del eucalipto. Desde el punto de vista hidrogeológico, el resultado ha sido un descenso del nivel freático debido al incremento de la evapotranspiración de agua freática por parte de esa vegetación.

- **Contaminación de aguas y suelos:** es otra de las afecciones importantes a los humedales, pues supone un deterioro ecológico progresivo que es difícil y muy lento de revertir, si es que es posible. En la zona de Doñana la contaminación tiene estos tres orígenes:

1 agrícola: hay estudios que revelan la presencia tanto de fertilizantes como de plaguicidas en el suelo y en los primeros metros de la zona saturada del acuífero en las zonas regables;

2 industrial: en la zona hay una industria relativamente importante, sobre todo vitivinícola y aceitera, que genera fundamentalmente residuos orgánicos; también hay granjas de animales que generan fundamentalmente purines, sustancias orgánicas altamente contaminantes y difíciles de eliminar en el terreno y el agua subterránea. Los dos tipos de industrias están además ubicadas en la zona de recarga del acuífero; urbana: se debe fundamentalmente al vertido de las aguas urbanas sin depurar tanto a arroyos y ríos directamente, como a fosas sépticas que están contaminando directamente tanto la zona no saturada del acuífero como la zona saturada.

- **Extracción de aguas subterráneas:** constituye una de las afecciones principales a los humedales de Doñana, ya que ocasiona un descenso tanto de los niveles freáticos (posición del agua subterránea en el terreno allí donde el acuífero es libre) como de los niveles piezométricos profundos (posición del agua subterránea en los niveles confinados del acuífero). Esta segunda situación incrementa los gradientes hidráulicos entre las zonas superiores y profundas del acuífero, forzando de esa manera que el agua de recarga actual

tienda a infiltrarse a mayor velocidad y, una vez en la zona saturada, fluya hacia posiciones más profundas del acuífero. En última instancia, esto ocasiona también un descenso de los niveles freáticos. El resultado final es doble: por un lado el agua freática se aleja del alcance de las raíces de las plantas, disminuyendo así la densidad y persistencia de la vegetación en estado óptimo; por otro disminuye la frecuencia de inundación de las cubetas y pequeñas irregularidades del terreno.

Si miramos un mapa de situación de los principales centros de bombeo de aguas subterráneas en el acuífero de Doñana, vemos que éstos están concentrados preferentemente cerca del contacto entre las zonas de recarga y de descarga del acuífero (entorno de La Rocina cerca de la marisma, ecotono noreste y comienzo de la marisma). Estas zonas coinciden con áreas donde antes había una gran concentración de humedales (lagunas, caños, algaidas).

El efecto de las extracciones para uso agrícola, que comenzaron hacia los años de 1973-74, ha tenido distinta incidencia en toda la zona. Observando la evolución temporal de la profundidad del agua en los pozos de control de las redes de observación del IARA y la CHG desde esa fecha hasta hoy, se ve lo siguiente:

- En el sector noreste del área de El Abalarío cercano a la zona cultivada, a pesar del patente descenso progresivo de los niveles freáticos las afecciones que más llaman la atención a primera vista son las extracciones estacionales para riego. Estas se manifiestan en descensos y recuperaciones muy acusados, del orden de decenas de metros, del nivel del agua subterránea en los pozos. Pero además se observa cómo a lo largo de los años las recuperaciones tienden a ser cada vez más incompletas debido al descenso interanual acumulado del nivel freático.

- En áreas cercanas a la zona de descarga de los ecotonos (este y norte) se ve claramente el descenso neto de los niveles a causa de las extracciones. En el ecotono norte y en la zona regable de la marisma noreste transformada, los puntos de control disponibles muestran cómo el efecto de las extracciones ha sido más significativo y más drástico que en otras zonas, alcanzando descensos de hasta 20 metros en algunos puntos. Comparando las superficies piezométricas del acuífero en esta zona entre octubre de 1972 y octubre de 1992 se ve que, en

1992, al noreste de la marisma hay una depresión de la piezometría que alcanza posiciones de entre 15 y 20 metros por debajo del nivel del mar. Una de las consecuencias de esto es que muchas de las lagunas de esta zona hoy en día sólo pueden ser observadas en documentos históricos, si bien el efecto de la deforestación (en épocas anteriores) de las cuencas del Guadamar, Cigüeña, etc. ya había comenzado a dejarse notar también.

La existencia de antiguas zonas húmedas en áreas donde no existen ya desde hace algunas décadas se hace patente en la toponimia local, a veces sólo recogida en documentación antigua o en aquella moderna que recopila la nomenclatura antigua, como es el caso del mapa del Parque Nacional de Doñana del Doctor Castroviejo.

Los resultados de simular con modelos numéricos (ITGE, UPC) la evolución piezométrica de todo el acuífero de Doñana entre 1970 y la actualidad (período para el cuál se dispone de datos medidos en el acuífero), muestran claramente el efecto acumulado de los descensos freáticos y piezométricos debido a los bombeos y también la disminución de las salidas naturales del acuífero tales como las descargas subterráneas al arroyo de La Rocina y al ecotono de La Vera. Si a eso se le suma el efecto localizado en el tiempo de los periodos de sequía, se puede llegar a situaciones puntuales tales como la de 1994, año en el que las descargas a La Rocina y al ecotono de La Vera fueron un 50% menos de las ocurridas en 1970. Esa es una situación puntual debido al efecto combinado de una situación circunstancial (la sequía) y otra que es sostenida en el tiempo y creciente (descenso acumulado de los niveles). Pero sus efectos negativos sobre, por ejemplo, la vegetación del ecotono, pueden mantenerse patentes durante muchos años y algunos pueden incluso ser en parte irreversibles.

Un balance hidráulico del agua que entra y que sale del acuífero entre 1970 y 1997 pone de manifiesto que durante todo ese periodo la salida acumulada de agua ha sido de 10 hm<sup>3</sup> al año más de lo que entró. Estos 10 hm<sup>3</sup> obviamente han salido del agua que estaba almacenada en el acuífero, y eso significa que los niveles freáticos han tenido necesariamente que descender al disminuir el almacenamiento.

### **Restauración del funcionamiento de los humedales de Doñana**

Integrando todo lo hasta aquí expuesto, e incorporando parte de lo que han dicho antes otros comunicantes, las medidas prioritarias de actuación para restaurar el funcionamiento natural de los humedales de Doñana pasan por una serie de aspectos claves entre los cuales destacan dos:

- En relación a la disponibilidad hídrica, es prioritaria la restauración del equilibrio hidráulico del acuífero: esto significa medidas tales como una contención de las extracciones para evitar su crecimiento y, muy probablemente, la reubicación de bombeos allí donde sea necesario, conveniente y adecuado. De forma complementaria, es imprescindible poner en marcha una gestión adecuada de la vegetación, tanto de la natural como de la introducida (por ejemplo, la eliminación indiscriminada de vegetación "alóctona" y la reforestación con especies "autóctonas" puede ser un fracaso si no se tiene en cuenta que, en gran parte de Doñana, las condiciones actuales del suelo y el acuífero no son las de hace 50 o 100 años)
- En relación a la calidad del agua, es prioritario el control de la calidad de las aguas residuales y también la reducción del impacto de las actividades agrícolas (recuperación de hábitos agrícolas menos agresivos para la calidad del agua mediante cultivos ecológicos, cultivos de especies adecuadas a las características del suelo, etc.).

Para garantizar el éxito de las actuaciones a realizar en ambos ámbitos, es imprescindible realizar previamente simulaciones de la respuesta futura del medio a las medidas que se proponen. Estas simulaciones se deben realizar con modelos que reproduzcan razonablemente bien el comportamiento actual y pasado del ecosistema, pues sólo así las simulaciones futuras serán fiables. No es necesario que los modelos sean sofisticadas herramientas numéricas, aunque si existen y están bien calibradas (como es el caso el modelo de flujo del acuífero de Doñana), es absurdo no aprovecharlas. Pero un buen modelo puede ser un simple conjunto de ideas, hipótesis y razonamientos que explique suficientemente bien la situación y el comportamiento actual de aquéllos aspectos del medio natural que se quiere gestionar.

Por otro lado, la principal utilidad de los modelos de simulación no es conocer la respuesta detallada del medio ante una actuación determinada, sino seleccionar, a priori, cuáles de entre el abanico posible de medidas propuestas van a ser más efectivas y cuáles se pueden descartar de antemano. Lo ideal sería utilizar este tipo de herramienta de forma con-

tinua y habitual para la gestión del medio natural, pero para ello es necesario que la herramienta exista. Sin embargo esta tarea es más fácil de realizar de lo que habitualmente se piensa: sólo requiere la integración, por parte de los técnicos y científicos especialistas, del conjunto de conocimientos históricos y actuales ya existentes sobre el funcionamiento de una zona en concreto y, en algunos casos, la obtención de información complementaria mediante estudios puntuales y específicos.

En el caso del Doñana, además de los modelos de simulación del funcionamiento del acuífero ya existentes (de zonas concretas y de todo el acuífero), en el marco de un proyecto CICYT se está llevando a cabo un estudio específico para proponer modelos de funcionamiento integrado (hidrológico, ecológico y morfológico) de algunos de los tipos más significativos y emblemáticos de los humedales existentes en la zona.

