

# Evaluación preliminar de los servicios de las aguas subterráneas al bienestar humano en España

Marisol Manzano<sup>1</sup>, L. Javier Lambán<sup>2</sup> y Carlos Montes<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Cartagena, P<sup>o</sup> de Alfonso XIII 52, 30203 Cartagena, España.

<sup>2</sup> Instituto Geológico y Minero de España, C/Manuel Lasala, 44, 50.006 Zaragoza. España

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias, 28.049 Tres Cantos, Madrid. España

Mail de contacto: [marisol.manzano@upct.es](mailto:marisol.manzano@upct.es)

---

## RESUMEN

Con base en el programa científico de Naciones Unidas *Evaluación de los Servicios de los Ecosistemas del Milenio*, España ha evaluado los servicios de sus ecosistemas recientemente. Las aguas subterráneas proporcionan multitud de servicios básicos para el bienestar humano y por primera vez se ha realizado un intento de evaluación de los servicios de los acuíferos con la metodología aplicada a los otros ecosistemas. Se han estudiado servicios de abastecimiento, de regulación y culturales. El estado de funcionalidad y las tendencias de evolución de los servicios, así como los factores que producen cambios en su funcionamiento, se han evaluado tomando indicadores de la documentación confiable disponible. Muchos servicios de abastecimiento y regulación básicos para el bienestar humano se están deteriorando en amplias zonas de España como consecuencia de las múltiples presiones que afectan a la cantidad y la calidad del agua subterránea. Los servicios culturales son los que más mejoran.

Palabras clave: aguas subterráneas, evaluación de servicios, humedales, España.

---

## ABSTRACT

Based in the United Nations' scientific programme *The Millenium Ecosystems Assessment*, Spain has recently performed an evaluation of the services of its ecosystems. Groundwater provides many basic services to human well-being and, for the first time, groundwater services have been evaluated with the same approach used with the other ecosystems. The status and trends of provisioning, regulating and cultural services, as well as the main drivers causing changes in groundwater services, have been studied using indicators from the existing reliable information. Many provisioning and regulating services which are basic for well-being are decreasing in wide areas of Spain, due to the many factors affecting groundwater quantity and quality. On the other hand, cultural services are increasing.

Keywords: groundwater, ecosystem services evaluation, wetlands, Spain.

---

## Introducción

Entre los años 2000 y 2005, y bajo la coordinación de Naciones Unidas, se desarrolló el programa científico internacional *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio* (MEA en Inglés). El objetivo fue suministrar información científica a políticos, gestores y público en general acerca de las consecuencias que sobre el bienestar humano tienen las alteraciones de que están produciendo en los ecosistemas del planeta. Científicos de todo el mundo crearon un consorcio que generó un conocimiento multidisciplinar sobre la línea de base de las relaciones entre los ecosistemas y el bienestar humano. Se realizaron informes que recogen el estado del arte y las tendencias de evolución de los ecosistemas del planeta y de los servicios que proporcionan al ser humano

(<http://www.unep.org/maweb/en/index.aspx>).

Dicha información es la base científica para el uso sostenible de los ecosistemas. Desde 2005 han surgido muchas iniciativas regionales, nacionales e internacionales que han aplicado la filosofía de MA a distintas escalas territoriales. En este contexto, en 2009 la Fundación Biodiversidad del entonces Ministerio de Medio Ambiente de España (actual Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) puso en marcha el proyecto *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España* (Ecomilenio, [www.ecomilenio.es](http://www.ecomilenio.es)). Los acuíferos han sido uno de los catorce ecosistemas evaluados (Manzano y Lambán, 2011).

Oficialmente en España hay 740 masas de agua subterránea (a los efectos de este documento, masa es sinónimo administrativo de acuífero), las cuales cubren unos 350.000 km<sup>2</sup>, alrededor del 70 % del territorio nacional (MMA,

2007). Se consideran acuíferos aquellas formaciones que abastecen a más de 50 personas o proporcionan más de 10 m<sup>3</sup>/día.

La evaluación de los servicios de las aguas subterráneas al ser humano se ha realizado desde la perspectiva de los usos conocidos de las aguas subterráneas en España, ya sean directos o indirectos, tradicionales, recientes y emergentes. El presente trabajo es la primera síntesis que se publica en un foro científico.

## **Marco conceptual: los servicios de las aguas subterráneas al bienestar humano**

Las aguas subterráneas son el soporte de ecosistemas acuáticos superficiales muy valiosos tales como ríos, riberas, humedales, manantiales, bosques de freatofitas, praderas, etc., muchos de cuyos servicios dependen del aporte de agua subterránea o bien deben parte de su valor al aporte de agua subterránea en cantidad y calidad adecuadas. Pero los acuíferos constituyen valiosos ecosistemas acuáticos en sí mismos, y muchas de las funciones que tienen lugar en el propio acuífero proporcionan multitud de servicios básicos para el bienestar humano.

El marco conceptual aplicado supone un cambio de perspectiva importante ya que, sin desatender a los valores intrínsecos de la naturaleza, la propuesta promueve considerar también sus valores instrumentales (suministro de alimentos, agua potable...), vinculando la conservación de los ecosistemas con el bienestar humano.

El modelo conceptual adoptado se fundamenta en los siguientes componentes básicos: 1) Ecosistema, 2) Bienestar humano, 3) Servicios de los ecosistemas, 4) Impulsores directos de cambio en los servicios; 5) Sinergias entre servicios.

### **Servicios de abastecimiento**

Los servicios de abastecimiento son los productos obtenidos directamente de los ecosistemas, como el alimento, la fibra, la madera, el agua potable, la caza o la pesca. Con respecto al abastecimiento de agua potable, la mayor parte del agua dulce no se encuentra en ríos ni lagos, sino en los acuíferos. El agua subterránea supone el 94 % de toda el agua dulce del planeta (excluyendo los casquetes polares y glaciares) y representa el almacenamiento más importante accesible del planeta (Ward y Robinson, 1990). Una de las funciones más importante del agua subterránea es el abastecimiento para uso doméstico, industrial y agrícola. El agua subterránea

también aporta organismos capaces de reducir la contaminación (NRC, 2004), y contiene nutrientes esenciales, como sulfatos y nitratos, provenientes de las formaciones geológicas y de la actividad microbiana, capaces de biodegradar compuestos orgánicos (Bergkamp y Cross, 2006). La presencia de agua subterránea posibilita la existencia de vegetación silvestre que proporciona alimento, fibras vegetales, plantas y principios medicinales, materia prima para la generación de energía, etc. Y a través del riego proporciona alimento a buena parte de la población mundial.

### **Servicios de regulación**

Los servicios de regulación son los beneficios obtenidos de manera indirecta de los ecosistemas. Las aguas subterráneas pueden considerarse como un servicio de regulación ya que son necesarias para que existan otras formas de vida y, además, juegan un papel esencial tanto en el ciclo del agua como en el ciclo de nutrientes (Bergkamp y Cross, 2006). Los procesos de recarga y descarga de agua subterránea no solo son parte esencial del ciclo hidrológico, sino que son esenciales para la vida de los organismos. El descenso de niveles piezométricos y la degradación del agua subterránea puede influir de forma significativa en todos los componentes del ciclo del agua, pudiendo afectar el flujo hacia los ríos y zonas húmedas, reduciendo así la salud de los ecosistemas. Además, las aguas subterráneas juegan un papel esencial en el transporte y almacenamiento de nutrientes.

### **Servicios culturales**

Los servicios culturales son los beneficios no materiales que las personas obtienen a través de las experiencias estéticas, el turismo, el sentido de pertenencia a un lugar y el enriquecimiento espiritual o religioso. Las aguas subterráneas constituyen un componente esencial para la vida e integran diversos servicios culturales. Por ejemplo, un descenso de nivel piezométrico, por causas naturales (climáticas) o antrópicas (explotación intensa de aguas subterráneas, cambios en la gestión del territorio, etc.) puede hacer desaparecer manantiales y humedales singulares, generando conflictos entre usuarios, incrementando las diferencias entre ricos y pobres, induciendo el abandono de poblaciones locales a otros lugares, etc. Por otro lado, el creciente interés por la naturaleza y el reconocimiento de sus valores y servicios está haciendo que pobladores cercanos y lejanos se interesen cada vez más por el origen, funcionamiento y

conservación de fuentes, lagunas, cascadas de origen cársico, etc.

## Metodología

El trabajo ha consistido en realizar una primera evaluación del estado actual de funcionalidad, y de las tendencias de evolución en las últimas décadas, de un conjunto de servicios que las aguas subterráneas proveen al bienestar humano en España. La lista de servicios evaluados fue única para los catorce ecosistemas considerados en el proyecto Ecomilenio, y básicamente son los mismos establecidos por Naciones Unidas (MEA, 2005). No obstante, el marco conceptual deja claro que ni todos los ecosistemas realizan todos los servicios ni todos los servicios realizados se proveen en igual magnitud. Los servicios se han agrupado en tres tipos principales: de abastecimiento, de regulación y culturales.

También se han estudiado los principales factores que inducen cambios en el funcionamiento de los acuíferos y que producen impactos en los servicios que estos proporcionan al bienestar humano, evaluándose el estatus y las tendencias de evolución de los mismos en las últimas décadas. Además, se ha realizado un análisis preliminar de los compromisos (trade-offs) y sinergias entre los distintos tipos de servicios que proporcionan las aguas subterráneas, así como de sus posibles previsiones de evolución bajo distintos escenarios futuros.

Para hacer este primer diagnóstico no se han llevado a cabo investigaciones empíricas. La evaluación del estado y las tendencias de cada servicio particular, de cada factor que induce cambios, así como de los compromisos y sinergias entre distintos servicios, se ha llevado a cabo usando como indicadores información científica y técnica muy variada pero confiable (o filtrada, en algunos casos). Dicha información procede de publicaciones científicas (artículos en revistas científicas, tesis doctorales y de maestría; informes finales de proyectos de investigación); informes técnicos de organismos públicos oficiales tales como el Ministerio de Medio Ambiente, el Ministerio de Agricultura, el Instituto Geológico y Minero de España, el Observatorio Español de la Biodiversidad, etc. (por ejemplo, sobre la variación de la superficie regada en España, la evolución de la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas, etc.); informes de síntesis de la Agencia Europea de Medio Ambiente y de grupos de trabajos sectoriales de la Comisión Europea, tales como el Grupo de Aguas Subterráneas; etc. En algunos casos también se

ha usado información procedente de sitios web de organizaciones no gubernamentales tales como World Wild Foundation, de municipalidades y de fundaciones culturales. Finalmente, en muchas ocasiones se ha usado la experiencia y conocimientos de los propios autores.

En la Tabla 1 se muestra un ejemplo del tipo de indicadores usados. Como no existe (o no se ha encontrado) información relacionable con todos los servicios evaluados, el trabajo es una primera aproximación en muchos aspectos.

## Resultados

### Estado y tendencias de los servicios de las aguas subterráneas al bienestar humano en España.

Los servicios identificados y una valoración preliminar del estado cualitativo de su funcionamiento se muestran en la Tabla 2. A modo de síntesis se puede decir que muchos de los servicios básicos para el bienestar humano están deteriorados o se están deteriorando en amplias zonas de España como consecuencia de las múltiples presiones que afectan a la cantidad y la calidad del agua subterránea, aunque otros servicios están mejorando:

i) Los servicios de abastecimiento se han visto alterados significativamente en los últimos años. Entre las décadas de 1960 a 1990 el servicio de proporcionar agua para la agricultura aumentó extraordinariamente, multiplicándose por más de 600 la extracción de aguas subterráneas para regadío. Y aunque en estos últimos años la superficie de cultivo de riego en España ha disminuido en cifras globales (entre 1987 y 2006 han desaparecido 36.355 ha), en algunas zonas del país aún se ha producido un aumento significativo de la superficie agrícola regada con aguas subterráneas: entre 1987 y 2006 han aparecido 67.444 ha de olivar de regadío, la mayor parte (97,5 %) en Andalucía, convirtiendo terrenos de secano en regadío mediante la explotación de aguas subterráneas (OSE, 2010).

ii) Los servicios de regulación también han empeorado de manera global. Las causas son principalmente dos: el manejo de los flujos del ciclo hídrico y los cambios de los usos del suelo, singularmente la conversión de terreno natural (agrícola o forestal) en terrenos antropizados. El manejo de los flujos hídricos, principalmente los superficiales (encauzamientos, extracciones para usos agrícolas, industriales y urbanos impermeabilizaciones, almacenamientos de grandes volúmenes en áreas puntuales detrayendo caudales de otras zonas, drenaje de

**Tabla 1.** Ejemplo de indicadores usados para evaluar el estado y la tendencia de evolución de los servicios de las aguas subterráneas.

Tipo	Servicio	Indicadores y fuentes	
ABASTECIMIENTO	Alimentos	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evolución de la superficie dedicada a agricultura en la última década. Fuente: OSE (2007; 2008; 2009; 2010); MMA (2006); <a href="http://www.mapa.es">http://www.mapa.es</a>.</li> </ul>
		Acuicultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estadísticas del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación sobre la instalaciones de acuicultura de agua dulce en España (<a href="http://www.mapa.es/eu/estadistica/pags/anuario/2009/indice.asp">http://www.mapa.es/eu/estadistica/pags/anuario/2009/indice.asp</a>)</li> <li>• Contactos personales con empresas en Isla Mayor (Sevilla) y Sant Carles de la Rápita (delta del Ebro)</li> </ul>
		Recolección de plantas y frutos silvestres	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valoración personal con base en la experiencia propia.</li> </ul>
	Agua de buena calidad	Agua para todo uso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explotación de aguas subterráneas y sus usos. Fuente: MARM (2009); Custodio et al, 2009.</li> <li>• Nitratos en aguas subterráneas. Fuente: Porras et al. (1985); Fernández-Ruiz (2007); MMA (2000, 2006, 2007); MARM (2009, 2010); OSE (2007; 2009, 2010).</li> <li>• Plaguicidas y sus metabolitos en aguas subterráneas. Fuente: OSE (2007, 2010); MARM (2008; 2010); INE (2010); <a href="http://www.mapa.es">http://www.mapa.es</a>.</li> <li>• Contaminantes emergentes en aguas subterráneas. Fuente: Teji3n et al. (2010).</li> <li>• Acu3feros salinizados. Fuente: MMA (2000, 2005, 2006, 2007); MARM (2009, 2010); Aragu3s et al. (1996).</li> </ul>
	Materias primas de origen biol3gico	Turba, madera, le3a	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuci3n de la superficie de bosque, matorral y pastizal como consecuencia de la conversi3n de terreno forestal en terreno agr3cola y urbano y como consecuencia de incendios. Fuente: OSE (2010).</li> </ul>

áreas encharcables y humedales, etc.) y subterráneos (extracciones) ha inducido la reducci3n de las descargas naturales de agua subterránea en muchos lugares, disminuyendo así la disponibilidad hídrica para la vegetaci3n y la biota, incluyendo el ser humano. En muchas zonas la disponibilidad de agua subterránea solo es posible ya mediante extracci3n en pozos cada vez más profundos, lo que en bastantes casos hace inaccesible el agua por motivos económicos.

iii) Los servicios culturales, en general, están mejorando; tal es el caso del conocimiento científico y la generaci3n de oportunidades para la educaci3n ambiental o para las actividades recreativas.

**Factores que inducen cambios rápidos en las aguas subterráneas y en sus servicios al bienestar humano en España**

Los principales impulsores directos de cambios en los servicios de las aguas

subterráneas en España, ordenados de mayor a menor relevancia de su impacto, son (Tabla 3):

i) La explotaci3n intensiva. Con frecuencia concentrada espacialmente, induce cambios en la red de flujo de las aguas subterráneas que tienen impactos directos sobre los servicios de abastecimiento y regulaci3n principalmente: disminuci3n de la magnitud de los flujos de descarga natural; descenso de la cota de los niveles piezométricos; aumento de los gradientes hidráulicos verticales descendentes; movilizaci3n de aguas subterráneas salinas; etc.

ii) La contaminaci3n, singularmente la difusa, que puede afectar a grandes volúmenes de agua subterránea y es más difícil de atenuar que la puntual. Induce impactos directos principalmente sobre los servicios de abastecimiento: provisi3n de agua de buena calidad, aporte de materias primas de origen biol3gico, provisi3n de medicinas naturales y de principios activos. Además, en muchos casos la contaminaci3n influye sobre la regulaci3n de la

fertilidad del suelo, pues muchos contaminantes inducen cambios de condiciones oxidantes a reductoras en zonas del terreno que deberían ser oxidantes.

iii) Los cambios de usos del suelo. Los cambios que producen modificaciones en la red de flujo y en la hidroquímica de las aguas subterráneas que, a su vez, inducen impactos directos sobre los servicios de abastecimiento, regulación y culturales, suelen estar localizados en las zonas de recarga de los acuíferos. Las actividades con mayor impacto son la deforestación, la sustitución de vegetación natural por cultivos de regadío, la sustitución del riego en lámina libre por riego localizado, la sustitución de la vegetación natural por otra con distintos requerimientos de agua y de nutrientes, la pavimentación y la urbanización. En España hay algo más de 1 Mha artificiales, la mayor

parte concentrada a lo largo de la costa mediterránea, donde el clima es semiárido, lo que supone una disminución considerable de la superficie disponible para infiltración del agua de lluvia y de escorrentía y por tanto, de la recarga a los acuíferos.

iv) La manipulación de los flujos del ciclo hídrico por el ser humano tiene efectos directos sobre las aguas subterráneas e induce impactos sobre los servicios de abastecimiento, regulación y culturales de forma más o menos directa, en función del tipo de acción y de su ubicación respecto a la red de flujo de agua subterránea. Los cambios de servicios más frecuentes afectan al balance, al régimen hídrico y a la calidad de las aguas subterráneas, y se derivan de actuaciones tales como la extracción intensiva y sostenida de aguas subterráneas, la recarga artificial de acuíferos, la modificación

**Tabla 2.** Evaluación global del estado de los servicios de las aguas subterráneas en España y tendencias de evolución.

TIPO	SERVICIOS		ESTADO
ABASTECIMIENTO	Alimentos	Agricultura	
		Acuicultura	
		Recolección de plantas y frutos silvestres	
	Agua de buena calidad	Agua para todo uso	
	Materias primas de origen biológico	Turba/madera/leña	
	Materias primas de origen mineral	Sales y carbonatos	
		Agua mineral	
		Metales	
	Energías renovables	Energía hidráulica	
		Energía geotérmica	
Medicinas naturales y principios activos			
REGULACIÓN	Regulación climática local y regional	Mantenimiento de vegetación	
		Almacenamiento de CO <sub>2</sub>	
	Regulación hídrica	Aumento de la disponibilidad	
		Mejora de la calidad	
	Regulación morfosedimentaria		
	Formación y fertilidad del suelo		
Regulación de las perturbaciones naturales			
CULTURALES	Conocimiento científico		
	Conocimiento ecológico local		
	Identidad cultural y sentido de pertenencia		
	Disfrute espiritual y religioso		
	Paisaje-Servicio estético		
	Actividades recreativas y ecoturismo		
	Educación ambiental		

LEYENDA

Estado de funcionalidad

Alto  
 Medio-Alto  
 Medio-Bajo  
 Bajo

Tendencia de evolución

↑ Mejora rápida  
↗ Tiende a mejorar  
↔ Se mantiene  
↘ Tiende a empeorar  
↓ Empeora rápido

**Tabla 3.** Principales impulsores de cambios en los servicios de las aguas subterráneas.

ECOSISTEMA	Explotación intensiva	Cambios de usos de suelo	Cambio climático	Contaminación	Manipulación del ciclo hídrico	Cambio en los ciclos biogeoquímicos
Aguas subterráneas						

Intensidad de los impulsores

	Muy alto
	Alto
	Moderado
	Bajo

Tendencias de los impulsores

- ↑ Aumenta muy rápido el impacto
- ↗ Aumenta el impacto
- ↔ Se mantiene el impacto
- ↘ Disminuye el impacto

del trazado de la red de flujo superficial y el almacenamiento de agua superficial en embalses y presas.

v) El cambio climático. A pesar de la incertidumbre que aún existe sobre las previsiones de sus efectos en el área mediterránea, es necesario tener en cuenta algunas posibles situaciones que tendrían un efecto notable sobre los servicios de abastecimiento, regulación y culturales de las aguas subterráneas. El principal impacto previsible en la latitud de España es el descenso de los niveles piezométricos como consecuencia de la disminución de la recarga, lo que a su vez ocasionaría la reducción de la descarga a muchos manantiales así como de las descargas difusas a ríos, arroyos, humedales y costas, haciendo desaparecer esos ecosistemas y también bosques de vegetación freatófita. También ocasionaría subsidencia e intrusión salina en muchos acuíferos.

Además, el aumento de la aridez induciría un incremento de la concentración en solutos de las aguas de lluvia, superficiales (antes de infiltrarse) y subterráneas (durante la infiltración), originando aguas subterráneas más salinas.

Adicionalmente, el cambio previsto en la regularidad e intensidad de los eventos lluviosos induciría cambios en la magnitud de los procesos de recarga y descarga así como también en la entrada de materia orgánica y contaminantes en los acuíferos.

vi) Cambios en los ciclos biogeoquímicos como consecuencia de la entrada en el agua subterránea de muchos productos (derivados de la actividad agrícola, urbana e industrial) por encima de la capacidad natural de la biota para degradarlos, fijarlos y reciclarlos. El servicio más afectado es el de provisión de agua de buena calidad para los distintos usos.

**Análisis de sinergias entre los servicios de las aguas subterráneas**

En el momento actual es difícil realizar un análisis detallado de los compromisos y sinergias entre los distintos tipos de servicios que proporcionan las aguas subterráneas, ya que sería necesario disponer de un marco conceptual aún no existente. Por ello lo realizado es un ensayo a nivel conceptual y en términos muy generales, considerando cuáles serían los posibles efectos que sobre los servicios de las aguas subterráneas producirían tres actuaciones concretas de gestión: una del agua, otra de un humedal y la tercera de la vegetación (Tabla 4):

i) En el caso de la recarga artificial a un acuífero costero con aguas residuales depuradas, los servicios que decrecerían serían principalmente los de regulación: disminución de regulación natural de la calidad del agua y ascenso de niveles piezométricos, disminuyendo la recarga. Los ganadores serían los usuarios con usos domésticos, industriales y agrícolas, mientras que los perdedores serían algunos usuarios, por ejemplo por problemas en las conducciones por cambios en la calidad del agua, y la población local, al disminuir la capacidad de infiltración y aumentar el riesgo de inundación.

ii) En un abastecimiento artificial a un humedal con aguas de origen distinto al original los servicios de las aguas subterráneas afectados serían también los de regulación. Probablemente el humedal se convierta en un foco de contaminación puntual, quizás afecte también al flujo de base de arroyos, manantiales u otros humedales situados aguas abajo y, además, disminuya la capacidad de infiltración del terreno. Los ganadores

serían tanto la población local como los ecosistemas locales y los situados aguas abajo por incremento de la cantidad de agua, mientras que los perdedores serían también la población local, por posibles inundaciones, pérdida de suelo fértil y/o problemas de contaminación.

iii) Por último, en el caso de eliminar la vegetación foránea y sustituirla por vegetación nativa con menos necesidades hídricas, nuevamente los servicios de las aguas subterráneas más afectados serían los de

regulación, en relación tanto con la cantidad y calidad del agua subterránea como con el clima local. Los ganadores serían los usuarios del acuífero situados aguas abajo (población y ecosistemas asociados) al aumentar la disponibilidad del agua almacenada, mientras que los perdedores serán también la población local, por mayores oscilaciones térmicas y menor temperatura ambiente, así como otros posibles ecosistemas vinculados a la vegetación eliminada.

**Tabla 4.** Ejemplo de análisis de las sinergias entre distintos servicios que se derivan de actuaciones dirigidas a gestionar tres aspectos distintos.

DECISIÓN	OBJETIVO	GANADOR/ES	SERVICIOS QUE DECRECERÍAN	PERDEDORES
Recargar artificialmente un acuífero costero con aguas residuales depuradas	Mejorar la calidad del agua disponible en zonas de captación para abastecimiento, estabilizando la posición del frente salino	Usuarios (usos domésticos, industriales, agrícolas)	Regulación natural de la calidad del agua subterránea (la composición de la mezcla entre el agua inyectada y el agua salina dominará). Regulación de perturbaciones hídricas naturales (al elevar los niveles piezométricos disminuirá la capacidad natural de infiltración)	Usuarios: en algunos sectores del acuífero el agua se puede volver blanda o dura, ocasionando problemas en las conducciones. Población local: mayor riesgo de inundaciones al disminuir la capacidad de infiltración
Abastecer artificialmente, con aguas de origen no local, humedales que en estado natural dependían de las aguas subterráneas locales	Aumentar la recarga al acuífero. Mantener la funcionalidad de los humedales y sus servicios, principalmente los culturales, pero también otros	La población local (la infiltración supondrá un incremento de la cantidad de agua subterránea). Ecosistemas locales y otros ubicados aguas abajo y que dependen de las descargas de este acuífero.	Regulación natural de la cantidad y de la calidad del agua subterránea (es probable que los humedales sean foco de contaminación puntual). Quizás regulación del flujo de base de arroyos, manantiales y otros humedales dependientes del acuífero ubicados aguas abajo en la cuenca. Capacidad de regulación de la escorrentía local, pues la elevación de niveles bajo los humedales disminuirá la capacidad de infiltración del terreno	Población local: en caso de inundaciones y de pérdida de suelo fértil en tramos bajos de la cuenca por saturación del terreno al aumentar la descarga o aparecer zonas de descarga antes no existentes. Seres humanos y otros usuarios, en caso de contaminación del agua subterránea.
Eliminar vegetación foránea con alta demanda de agua de la zona de recarga de un acuífero, y sustituirla por vegetación nativa y con menos necesidades hídricas	Aumentar la recarga natural y la disponibilidad de agua almacenada	Usuarios del acuífero aguas abajo, tanto seres humanos como otros ecosistemas dependientes de las descargas naturales del acuífero	Regulación natural de la cantidad y la calidad: se verá modificada durante un tiempo que puede oscilar entre décadas y algún centenar de años, hasta alcanzar un nuevo equilibrio. Regulación del clima local: al disminuir la transpiración lo hará también la humedad ambiente y la regularidad térmica del aire.	Población local, como consecuencia de las modificaciones climáticas (mayores oscilaciones térmicas y menor humedad ambiente). Otros ecosistemas valiosos vinculados o incluso dependientes de la vegetación eliminada

## Conclusiones

La valoración preliminar del estado cualitativo de funcionamiento de los servicios de las aguas subterráneas de España sugiere que muchos de los servicios básicos para el bienestar humano están deteriorados o se están deteriorando en amplias zonas de España como consecuencia de las múltiples presiones que afectan a la cantidad y la calidad del agua subterránea, aunque otros servicios están mejorando. Así, los servicios de abastecimiento han sido alterados significativamente en las últimas décadas debido a la explotación intensiva (principalmente para regadío), que ha hecho descender los niveles y, en muchos casos, empeorar la calidad del agua disponible.

Los servicios de regulación también han empeorado de manera global debido principalmente a dos causas: el manejo de los flujos del ciclo hídrico y los cambios de los usos del suelo, singularmente la conversión de terreno natural (agrícola o forestal) en terreno antropizado. El manejo de los flujos hídricos superficiales (extracciones para usos agrícolas, industriales y urbanos, encauzamientos, impermeabilizaciones, almacenamiento de grandes volúmenes en zonas puntuales, detrayendo caudales de otras zonas, drenaje de zonas encharcables y humedales, etc.) y subterráneos (extracciones) ha inducido la reducción de las descargas naturales de agua subterránea en muchos lugares, disminuyendo así la disponibilidad hídrica para la vegetación y la biota, incluyendo el ser humano. En muchas zonas la disponibilidad de agua subterránea solo es posible ya mediante extracción en pozos cada vez más profundos, lo que en bastantes casos hace inaccesible el agua por motivos económicos.

Los servicios culturales en general están mejorando; tal es el caso del conocimiento científico y la generación de oportunidades para la educación ambiental o para las actividades recreativas.

Se trata de una primera aproximación que debe ser revisada, completada y mejorada. Se ha realizado en base a información técnica y científica disponible y confiable, pero la información que ha resultado útil no es abundante, a veces no está fácilmente localizable, o resulta incompleta por ser su enfoque muy ajeno al de este contexto. En muchos aspectos la carencia de información para evaluar el estado de un servicio concreto se ha suplido con el conocimiento y la experiencia personal de los autores, que

obviamente tienen carencias y pueden resultar sesgadas.

## Agradecimientos

El trabajo es una síntesis del informe realizado por los dos primeros autores para la Fundación Biodiversidad en el marco del proyecto *Evaluación de los servicios de los ecosistemas del milenio en España* (proyecto Ecomilenio, 2009-2011). El proyecto Ecomilenio fue coordinado por el tercer autor, que es el responsable de la introducción de los primeros en el ámbito de las relaciones entre el medio natural y la sociedad.

## Referencias

- Bergkamp, G. y Cross, K. 2006. Groundwater and Ecosystem Services: towards their sustainable use. Proceedings of the International Symposium on Groundwater Sustainability (ISGWAS). Ed: Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 177-193.
- Manzano, M. y Lambán, L.J. 2011. Acuíferos. En: Evaluación de los Servicios de los Ecosistemas del Milenio en España. Conservación de los Servicios de los Ecosistemas y de la Biodiversidad para el Bienestar Humano. Sección III, Evaluación de los tipos operativos de ecosistemas. Ed. Fundación Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente de España. Capítulo 12, 71 pp. Accesible en: <http://www.ecomilenio.es>.
- MMA, 2007. Síntesis de los estudios generales de las Demarcaciones Hidrográficas en España. Programa AGUA. Dirección General del Agua. Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible del Agua, Madrid, 76 pp.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington.
- NRC. 2004. Valuing Ecosystem Services: Toward better environmental decision-making. Water Science and Technology Board, National Research Council. The National Academies Press. Washington, D.C.
- OSE, 2010. Sostenibilidad en España 2010. Observatorio de la Sostenibilidad en España, 479 pp.
- Ward, R.C. y Robinson, M. 1990. Principles of Hydrology. McGraw Hill Book Company, Londres.