

[ GESTIÓN HÍDRICA ]

## Recarga de acuíferos en España, en el marco del Desarrollo Sostenible

**Oscar Martínez Tejero**

Tragsatec

**Enrique Fernández Escalante**

Tragsa

La gestión de recarga de acuíferos, más conocida por sus siglas del término en inglés **Manager Aquifer Recharge (MAR)**, consiste básicamente en introducir agua en niveles inferiores del suelo. El origen del agua procede en general de ríos, pero también de depuradoras y desaladoras. Almacenada en los acuíferos, el recurso hídrico se extraería por ejemplo para uso agrícola o abastecimiento. A diferencia de otros países, aquí suscita aún cierto recelo a pesar de su gran potencial.

Considerada como “técnica especial” en España, la gestión de la recarga de acuífero permite actuar sobre la cantidad y calidad de las reservas de agua en los acuíferos, mediante la intervención en las entradas y salidas de agua del sistema, de la mano de varios métodos que permiten intervenir sobre acuíferos someros, intermedios y profundos. Sin embargo, estas actuaciones requieren un conocimiento detallado de la composición química del agua de recarga, del agua natural del acuífero y de la posible interacción entre ellas.

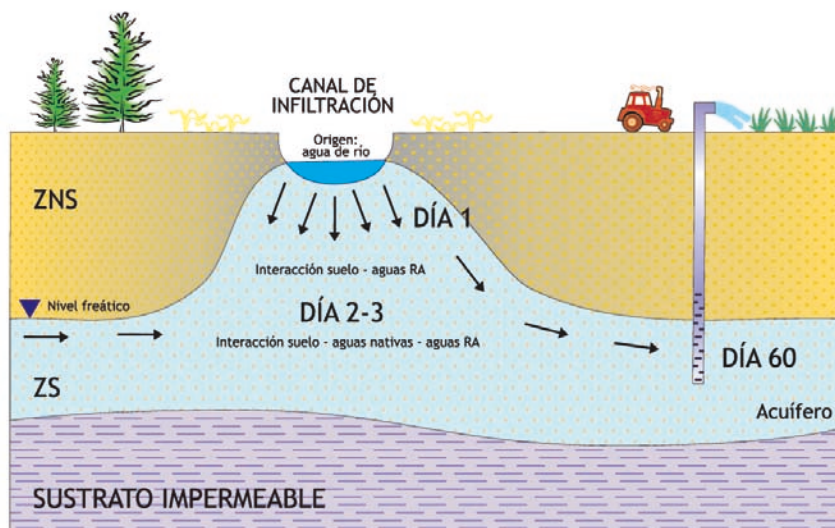
El agua, que puede proceder de ríos, depuradoras, escorrentía urbana e incluso humedales, se introduce en el acuífero por medio de zanjas, balsas, pozos o sondeos de inyección, por ejemplo, y generalmente en invierno. Ya almacenada en cantidad superior a lo normal, el agua sigue su circuito natural subterráneo, depurándose durante un tiempo variable. Al hacer falta, el agua se extrae para abastecimiento, regadío o llenar la intrusión marina.

Por poner un ejemplo, sólo el acuífero Terciario Detrítico de Madrid tiene una capacidad de almacenamiento de unos 11.000 hm<sup>3</sup>, que dobla la de todos los embalses de la cuenca del Tago: 5.709 hm<sup>3</sup> (Hispagua, 2005). Actualmente el Grupo Tragsa lleva a cabo una serie de ensayos piloto en Santiuste (**fotos 1 y 2**) y Carracillo (Segovia) con resultados positivos, contribuyendo a desarrollar e implantar esta técnica en nuestro país. En el año hidrológico 2006/07 se han introducido 17 hm<sup>3</sup> en el acuífero de los Arenales (sur del Duero) mediante técnicas MAR.

Imagen de la balsa y canal de recarga artificial del dispositivo de la Cubeta de Santiuste (Segovia).



**Figura 1:** Perfil tipo de un dispositivo de recarga artificial (canal) en “control lateral” en una zona regable.



“ El agua por MAR tiene unos costes ligeramente inferiores al coste medio del agua desalada y más de la mitad que el agua embalsada en presas y balsas ”

## Ventajas de la MAR

- Almacenar agua en los acuíferos, en especial en zonas de escasa disponibilidad de terreno en superficie o sin posibilidad de otras formas de embalsamiento.
- Eliminación de patógenos o sustancias químicas del agua durante el proceso de infiltración a través del suelo y su posterior permanencia en el acuífero para suavizar diferencias cualitativas y reducir riesgos medioambientales, incluidos aquellos relacionados con la salud.
- Utilización del acuífero como embalse regulador, almacén y red de distribución dentro de un sistema integrado. Así se suavizan las fluctuaciones en la demanda y se reduce el descenso del nivel del agua por sobrebombeo.
- Reducir las pérdidas por evaporación respecto a presas y balsas, además de compensar la pérdida de recarga natural en un acuífero por actividades antrópicas.
- Integración de actividades lesivas en el marco del desarrollo sostenible.
- Mejora económica de zonas deprimidas.
- Intervención en el combate a la desertización y cambio climático.



Algunos análisis económicos realizados indican que el agua procedente de la gestión de la recarga de acuíferos (MAR) tiene unos costes ligeramente inferiores al coste medio del agua desalada y más de la mitad que el agua embalsada en presas y balsas. Aunque el agua recuperada tras la recarga artificial requiere tratamiento, su salinidad siempre será inferior a la del agua del mar, por lo que la energía requerida en el proceso y sus costes son menores a los de la desalinización.

### Proyecto DINA-MAR

Financiado por el Grupo Tragsa, este proyecto de I+D+i tiene la finalidad de determinar qué zonas de España son susceptibles para operaciones de recarga artificial de acuíferos (AR) y su gestión (MAR), dentro del marco del desarrollo sostenible y bajo normas de mínimo impacto ambiental. A pesar de las

## Inconvenientes de la MAR

- Grado de conocimiento incipiente de su potencial.
- Visión principalmente hidráulica de la política de gestión hídrica en España.
- Escasez y falta de continuidad en las experiencias, que van cobrando importancia creciente (p. e. MAPA 2002-03).
- Escasa dedicación en las publicaciones de gestión hídrica del país hasta la fecha.
- Para minimizar los riesgos e impactos ambientales, es preciso un control durante el diseño y construcción, así como realizar varios estudios y proyectos.

actividades promovidas por el MAPA en el mencionado acuífero de los Arenales y los estudios realizados sobre el tema por el Instituto Geológico y Minero de España, el proyecto DINAMAR parte en la actualidad con el inconveniente de que la técnica ha sido escasamente desarrollada, por lo que se desglosa por fases:

### • Fase 1: Determinación de las formaciones geológicas como objetivo para la recarga artificial

El proceso de cálculo se apoya en el análisis GIS, mediante el empleo de más de treinta coberturas temáticas y el ensayo de distintos métodos deductivos. Así, el área total calculada de la España peninsular e islas Baleares oscila en el intervalo de 27.000 a 43.000 km<sup>2</sup> en zonas de acuífero en las inmediaciones de cauces fluviales de cierta entidad, la mayoría con implantación de zonas de regadío con aguas subterráneas (**Tabla 1**).

Al hilo del diagnóstico, el área del terreno susceptible de albergar volúmenes adicionales a los aportados por la recarga natural con uso forestal, ubicado en la cabeceras de cuenca por regla general, es ligeramente inferior a 9.000 km<sup>2</sup>. Entretanto, los terrenos asociados a cauces fluviales o humedales con la misma particularidad del caso anterior alcanzan los 10.500 km<sup>2</sup>.

### • Fase 2: Establecimiento y control en “zonas piloto”

Se ha comenzado la toma de datos

**Tabla 1:**

**Resultados preliminares del área susceptible para ser recargada de modo artificial, según el primer análisis GIS.**

Nº	Cuenca	Cruce 2 (km <sup>2</sup> )	%	Cruce 3 (km <sup>2</sup> )	%
1	Norte II	1	0,01	1.473	3,48
2	Duero	2.699	25,95	11.113	26,23
3	Tajo	973	9,35	5.515	13,02
4	Guadiana I	881	8,47	2.972	7,02
5	Guadiana II	24	0,23	91	0,22
6	Guadalquivir	1.406	13,51	3.500	8,26
7	Sur	468	4,50	1.674	3,95
8	Segura	494	4,74	1.633	3,85
9	Júcar	1.224	11,77	5.884	13,89
10	Ebro	1.822	17,51	6.599	15,58
	C.I. de Cataluña	413	3,97	1.910	4,51
TOTAL		10.403	100,00	42.364	100,00

en continuo en dos zonas piloto, pero está previsto añadir dos más con brevedad. En ellas, se llevan a cabo estudios con objeto de determinar la evolución de las tasas de infiltración y probar la efectividad de prototipos de dispositivos de recarga artificial de acuíferos.

• **Fase 3. Estudio y diseño de dispositivos específicos para lograr una alta tasa de infiltración**

Se apoya en la técnica de escenarios análogos. En la actualidad, se están realizando ensayos de diferentes dispositivos de recarga artificial de acuíferos en las zonas piloto, con objeto de establecer la técnica más adecuada a cada una de las posibles zonas de aplicación.

• **Fase 4. Aspectos medioambientales**

El primero se basa en el desarrollo una metodología para establecer qué caudales ecológicos deben ser preservados en los cauces fluviales de toma, en función de varios aspectos hidrológicos y ambientales. Entre los elementos clave como la recuperación de manantiales, la restauración de manantiales o de sistemas dunares, cabe destacar la regeneración hídrica de humedales mediante AR, como es el caso de la experiencia llevada a cabo por la Junta de Castilla y León, y el Grupo Tragsa en la laguna de la Iglesia de Co-ca (Segovia).

Otro aspecto medioambiental son los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), que favorecen la infiltración del agua superficial en las áreas

urbanas y se perfilan como un instrumento que debe ser utilizado en un adecuado modelo de gestión medioambiental y desarrollo sostenible.

En paralelo a la investigación de la técnica se está elaborando un listado de nuevos indicadores ambientales que permita obtener una aproximación del efecto real de la posible implementación de las infraestructuras de recarga artificial de acuíferos.

• **Fase 5. Educación ambiental y divulgación**

El proyecto contempla la difusión y divulgación de la información generada en diversos ámbitos diferenciados por grupos de actuación, así como difundir premisas de educación ambiental. En este sentido, se está diseñando y difundiendo material divulgativo es-

## Desalación y reutilización: otras “técnicas especiales” de gestión hídrica

Junto a la gestión de la recarga de acuíferos, son la desalación y la reutilización las denominadas “técnicas especiales” de gestión hídrica, que se erigen como una alternativa o un apoyo a las “técnicas convencionales”, como embalses y trasvases. Su principal ventaja reside en que generalmente presentan mayores posibilidades de desarrollo sostenible, pero en su contra juegan el bajo conocimiento por parte de organismos e instituciones públicas y la escasa experiencia que existe en nuestro país sobre sus pormenores.

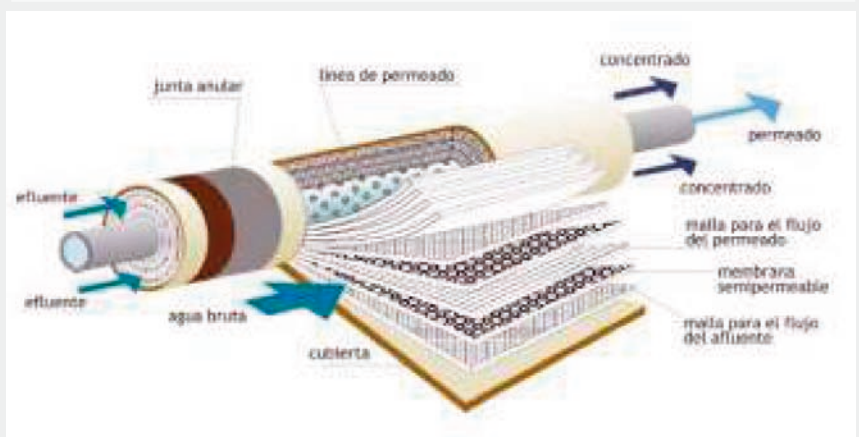
### Desalación

Constituye una alternativa en las zonas costeras. Hoy en día, existen en nuestro país más de 900 desaladoras, que producen más de 800.000 m<sup>3</sup> /día (Hispagua, 2006). Hay diversos procesos de desalación, siendo la ósmosis inversa (Figura 2) el más rentable. Las principales ventajas que ofrece son la posibilidad de utilizar agua salobre de los acuíferos, frenando así la intrusión salina, la estabilidad del suministro tanto en cantidad como calidad y la posibilidad de adaptarse de manera rápida a la demanda, dentro de unos límites. El principal problema que presenta es su elevado coste energético, que supone un factor limitante para muchos Usuarios, y la gestión de los residuos (salmueras). Según la Asociación Española de Desalación y Reutilización, el consumo energético medio en España durante el 2005 fue del orden de 3 kwh/m<sup>3</sup> en agua de mar. Una línea de investigación recientemente abierta es la desalación utilizando energías renovables.

### Reutilización

La utilización sucesiva del recurso acuífero permite satisfacer más usos con el mismo volumen, incrementando la efi-

**Figura 2:** Dispositivo de ósmosis inversa



**Tabla 2:** Ratios medios de inversión

Nº	Cuenca
Balsas	9,75 €/m <sup>3</sup>
Presas	9,75 €/m <sup>3</sup>
Desaladoras	0,45 a 0,90 €/m <sup>3</sup>
Ratio dispositivo AR superficial	0,21 €/m <sup>3</sup>
Ratio dispositivo AR profunda	0,03 €/m <sup>3</sup>

pecífico sobre la gestión de la recarga de acuíferos y creando estrategias de actuación.

## Experiencias en España

Si en Europa se ha hecho un inventario al menos de 40 dispositivos y experiencias en 18 países, como los que dependen de las aguas de MAR en un 100% en Düsseldorf (Alemania) y Budapest (Hungría) o en un 75% en Berlín, en España se han desarrollado una interesante serie de dispositivos de recarga artificial.

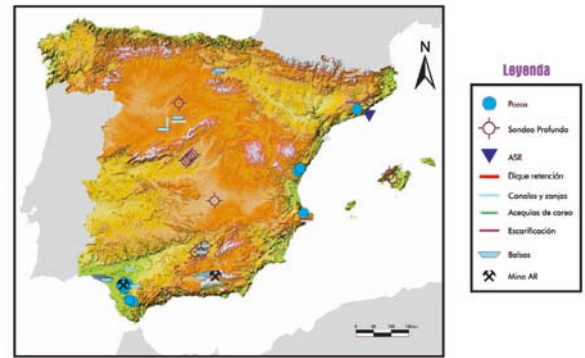
En el **Mapa 1** se describe la variedad de dispositivos que se encuentran operativos en nuestro país y que ahora se describen por regiones. En Cataluña predominan sistemas de infiltración por pozos y sondeos en el aluvial de ríos, de escarificación del lecho e incluso

un sondeo de infiltración profunda. El resto en el arco mediterráneo e islas Baleares predominan los pozos, galerías y balsas de infiltración, con abundantes diques de retención y boqueras en el este peninsular.

En las zonas mesetarias abundan los dispositivos de recarga artificial por canales y zanjas (Segovia), además de una serie de instalaciones con pozos en el aluvial de ríos (Valladolid y La Rioja). En Madrid y Castilla-La Mancha, las experiencias más notables se han realizado mediante sondeos profundos.

En Andalucía Central, hay sistemas de acequias (careos), drenajes de minas y sondeos, mientras que en la parte

**Mapa 1:**  
Dispositivos operativos en España



Occidental predominan los pozos y balsas como dispositivos de infiltración inducida.

## Experiencias de Tragsa

El grupo Tragsa inició su actividad en los 90 con la planificación y ejecución de obras para la recarga artificial en zonas forestales en la cabecera de las cuencas, especialmente a través de diques, caballones, etc. El primer dispositivo experimental de MAR fue realizado en 1996 en la cuenca alta del Guadiana, mediante la introducción de aguas al acuífero 23 por medio de sondeos ubicados en los alledaños de Alcazar de San Juan.

En torno a 2000, la empresa pública completó el inventario de acequias de careo en el Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada y Almería), con las georeferencias de 23 acequias y 36 intervenciones en varios tramos de acequias, al menos siete de careo, con lo que se incrementaba su efectividad sin perder la originalidad.

Hasta la fecha, Tragsa ha llevado a cabo el proyecto y construcción de nuevos dispositivos de MAR, en unos casos pozos y sondeos, y otros de gran envergadura destinados al regadío. Así descollan los dos localizados en la Cubeta de Santiuste y Carracillo (Segovia), promovidos y financiados por el MAPA y la Junta de Castilla y León. En resumen, se trata de dispositivos que toman agua de los ríos Eresma y Cega y Pirón, respectivamente, y a través de una tubería hacen llegar el caudal derivado a otro dispositivo superficial tipo canal, de hasta 12 km de longitud, con balsas intercaladas, que permite la infiltración de aguas en el acuífero en invierno y el riego con las mismas en verano. •

ciencia del sistema. Conviene diferenciar entre reutilización directa, en la que el segundo uso se produce a continuación del primero, y reutilización indirecta, en la que el segundo uso se produce después de transcurrido un tiempo, durante el cual el agua residual se ha diluido en el caudal de algún curso de agua.

En España existen en la actualidad más de 100 actuaciones de reutilización directa, siendo uno de los países más avanzados en este campo. La reutilización directa requiere una planificación previa y pre-tratamiento. El agua se transporta desde el primer punto de uso hasta el segundo por una conducción, sin ser vertida a ningún cauce, generalmente para uso industrial. En general, España presenta una reutilización de aguas residuales que permite atender una demanda de 230 hm<sup>3</sup> /año, esto es, el 83% para riego, el resto se reparte entre usos recreativos, industriales, municipales, entre otros. (Libro Blanco del Agua 2000, MMA).

Los principales problemas a los que se enfrenta la reutilización son la inexistencia de una normativa específica que regule los criterios de calidad exigibles y los aspectos relativos a su gestión. En este sentido, el MMA ha presentado en Febrero de 2007 un proyecto de Real Decreto para regular la reutilización de aguas depuradas, que modificará parcialmente el Reglamento de Dominio

Público Hidráulico, en consonancia con el RD 509/1996 del 15 de marzo. Normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas.

En cuanto a los aspectos económicos de las técnicas alternativas en España, en el Tabla 2 se muestran algunos ratios de inversión calculados a partir de expe-



Desaladora del Cangrejo T.M. Valverde, El Hierro, Canarias.

riencias realizadas por el Grupo Tragsa (en CONAMA, 2006 y www.dina-mar.es). Cabe destacar que el precio de las técnicas "alternativas, y en especial la gestión de la recarga de acuíferos, presentan costes más bajos que las técnicas convencionales, además de un impacto ambiental menor.

La ocupación del terreno es mínima frente a la superficie ocupada por embalses tradicionales y los costes del agua son asumibles y descendentes a medida que se avanza en el conocimiento de la técnica.