

# LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS EN EL MUNDO. ESTADO DE LA CUESTIÓN Y EXPERIENCIAS

## SEGUNDA PARTE. INVENTARIO DE EXPERIENCIAS A NIVEL MUNDIAL

FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. Enrique. TRAGSATEC, MADRID

GARCIA RODRÍGUEZ, Manuel. Universidad Alfonso X El Sabio, Madrid.

### PALABRAS CLAVE

Recarga artificial de acuíferos, dispositivos, ASR, hidrogeología.

## 5. INVENTARIO

Este apartado corresponde al número 5 de la primera parte del artículo.

Con objeto de contextualizar y presentar el grado de divulgación de esta “técnica especial”, a continuación se presentan y describen brevemente algunas de las principales actuaciones realizadas en España, Europa, especialmente de los dos países de mayor tradición en operaciones de AR: Holanda y Alemania (*LBAE, MIMAM, 2000b*), así como en dos países donde la hidrogeología es una carrera universitaria, no una especialidad: Estados Unidos y Australia.

Según el inventario de instalaciones que realiza el Instituto Acacia de Holanda, en coordinación con el Grupo de Recarga Artificial de la Asociación Internacional de hidrogeólogos (AIH), al menos hay 56 instalaciones operativas de ASR/MAR en USA, y una centena más en fase de investigación, diseño y construcción en USA y en el resto del mundo (<http://www.iah.org/recharge>).

### A). Actuaciones en España

En España los primeros antecedentes de recarga artificial datan, al menos, desde la época árabe, como son los *careos* alpujarreños o el sistema de diques y boqueras levantinos (*Díaz-Marta, 1989*). Las acequias de careo aprovechan el deshielo de Sierra Nevada y permiten la infiltración del agua por el fondo de la acequia en el acuífero de las Alpujarras. Se trata de un sistema activo todavía en la actualidad. Buenos ejemplos de acequias de careo pueden ser encontradas en Mecina Bombarón, etc.

Las primeras instalaciones de recarga artificial que se construyeron en la época moderna (1969) están situadas en Cornellá y en los alrededores de Barcelona: aluvial del río Besós y del río Llobregat (*Valdés, 1992; Martín-Alonso, 2003*). En este último acuífero se recargan, en algunos años, hasta un máximo de 20 hm<sup>3</sup> en pozos localizados en el delta, con aguas sobrantes de la planta de tratamiento de San Joan d’Espí. Esta recarga se complementa mediante escarificado del lecho del río Llobregat (*Pérez-Paricio, 1999b*).

Siguiendo un orden cronológico, es preciso apuntar que la segunda experiencia destacable realizada en nuestro país se ubica en Mallorca, en el Llano de Palma. Utiliza un sistema mixto fundamentado en el riego directo con aguas residuales domésticas e inyección de sobrantes, cuando existen, en pozos perforados en calcarenitas muy permeables. Actualmente están en funcionamiento dos sondeos de recarga (*Murillo et al, 2002*).

El Instituto Geológico y Minero de España, en colaboración con otros organismos, como el IRYDA, Gobierno Autónomo de la Rioja, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, BRGM (*Bureau de Recherches Géologiques et Minières*), Diputación de Alicante, etc., ha efectuado, desde 1984, una serie de experiencias piloto, entre las que cabe señalar (*ITGE, 2000a y b*):

- Tres balsas de infiltración en el aluvial del Río Oja (La Rioja).
- Cinco balsas de infiltración en la vega de Guadix (Granada).
- Una balsa de infiltración tipo fosa en las calcarenitas de Carmona (Sevilla). El Aluvial del Guadalquivir y las Calcarenitas de Carmona constituyen una interesante formación almacén susceptible para la recarga artificial, al estar situadas en zonas donde no es posible construir embalses de superficie (*Silgado et al, 2002*).
- Dos zanjas de infiltración en el aluvial del bajo Guadalquivir (Sevilla).
- Un sondeo profundo y represas en el acuífero de Jijona (Alicante).
- Un sondeo profundo en el valle del Esgueva (Valladolid).
- Un sondeo profundo en Mancha Real (Jaén).
- Un pozo de gran diámetro dotado de galerías en la Plana de Gandía-Denia, sector Vergel-Els Poblets (Alicante).
- Dos pozos rellenos de grava en el aluvial del Guadalete (Cádiz).
- Seis balsas de infiltración en Mazagón (Huelva).
- Dos balsas de infiltración en las Dehesas de Guadix (Granada).

Las principales características de estas experiencias piloto figuran en varias publicaciones del IGME (*Murillo et al, 2001 y 2002; Murillo, 2002; De la Orden et al, 2003*).

Otras instituciones, como es el MAPA, a través de la Empresa de Transformación Agraria (TRAGSA), han promovido experiencias de recarga artificial de forma experimental. A este respecto cabe destacar la experiencia,

ya citada, llevada a cabo en el invierno de 1997 entre Alcázar de San Juan y Argamasilla de Alba (Ciudad Real), si bien no ha habido publicaciones al respecto por parte del organismo promotor (comunicación verbal).

En este mismo contexto cabe incluir las instalaciones de la Cubeta de Santiuste de San Juan Bautista (operativa desde noviembre de 2002) y del Carracillo (actualmente en fase de obras y experimentación).

Dos nuevas experiencias, en etapa de experimentación son:

- Batería de pozos con drenes o galerías horizontales en profundidad aprovechando antiguas captaciones abandonadas o fuera de uso al objeto de disminuir costes con excedentes procedentes del río Girona (*Murillo et al, 2000*).

Recientemente se ha analizado la posibilidad de la recarga artificial con aguas residuales en el contexto hidrológico de la cuenca del río Onyar, Cuencas Internas de Cataluña (*Menció et al, 2003*); así como en el acuífero de la Moraña (Ávila), quedando rechazada esta última opción ante la falta de recursos hídricos superficiales excedentarios suficientes.

Los resultados obtenidos en todas las experiencias citadas anteriormente, donde los dispositivos de infiltración han funcionado a lo largo de uno o varios años con diferente duración del ciclo de recarga, son esperanzadores. En este sentido los distintos Planes Hidrológicos de cuenca han previsto diversas áreas en distintos acuíferos donde efectuar operaciones de recarga artificial, tarea que para su correcta realización precisa de la participación de las comunidades de usuarios de los acuíferos (*Murillo et al, 2001*).

La distribución geográfica de estas experiencias queda reflejada en la siguiente figura (Fig. 2.).



*Fig. 2. Principales estructuras y dispositivos de MAR operativos o en proyecto en España. No han sido representados los experimentos escasamente divulgados, como es el tema de las experiencias en la Cuenca del Guadiana.*

**Nota:** La imagen de fondo de las figuras de este apartado ha sido tomada de Internet:  
[http://www.earthetc.com/ecwearth/asps/ecwearth\\_frame.asp?Image=geodetic/world/landsat742](http://www.earthetc.com/ecwearth/asps/ecwearth_frame.asp?Image=geodetic/world/landsat742)

## B). Algunas experiencias en Europa

Con objeto de contextualizar, en este apartado se citan algunas de las experiencias de AR y ASR (Aquifer Storage and Recovery) llevadas a cabo en los distintos continentes.

En Europa se han ensayado distintos esquemas de recarga artificial desde 1870 en Dusseldorf (Alemania) y desde 1879 en Nigmejen (Holanda). Desde entonces se han practicado diferentes alternativas, caracterizadas por la carencia de un protocolo común europeo, carencia que persiste en la actualidad.

Las aguas de recarga derivadas de algún río representan un 45% del abastecimiento en Hungría, un 16% en Alemania, un 5% en Holanda, un 50% en Eslovaquia, etc.

La ciudad de Dusseldorf depende en un 100% de las aguas de AR, así como Budapest. Berlín en un 75%, etc.

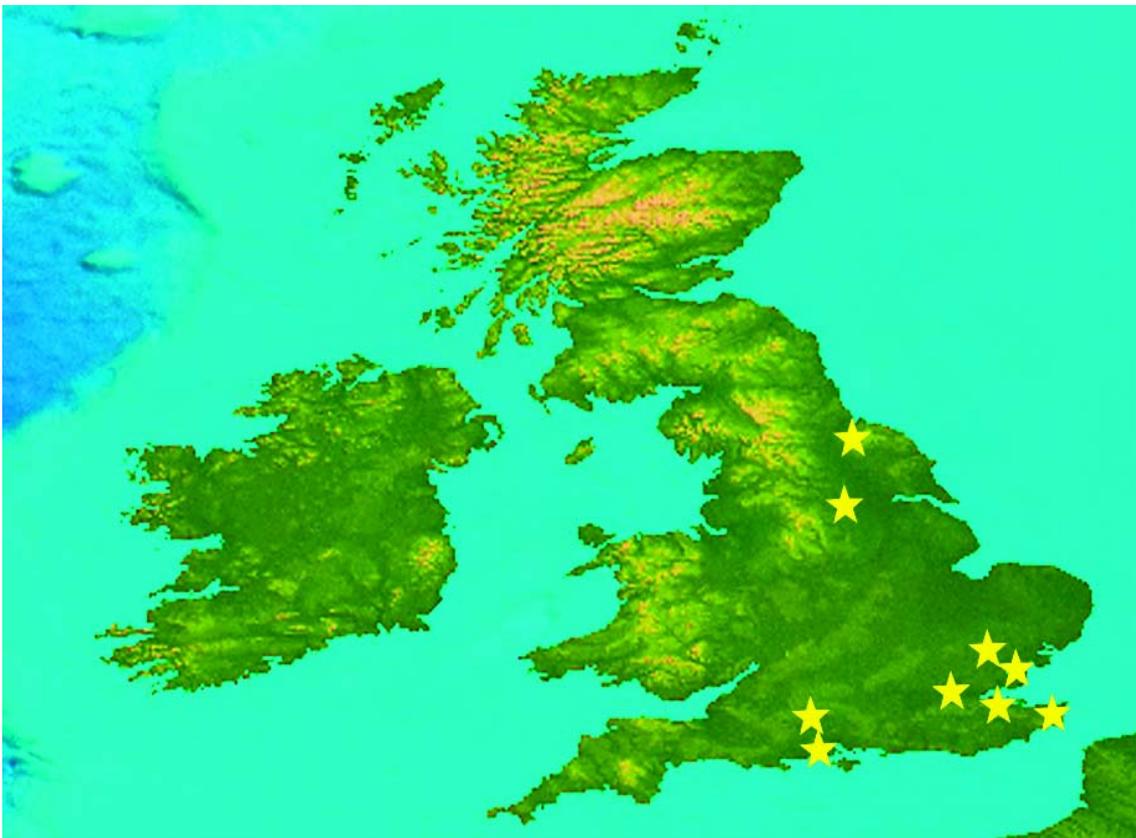
Además de las estructuras de AR y ASR, hay un amplio desarrollo de RBF o Bancos de Filtración en Europa. La mayor densidad se sitúa junto al cauce de los ríos Rin, Elba, Danubio y en el lago Tegel (*Grischek et al, 2002b*). Existen varias plantas de RBF en ciudades como Colonia, Ginebra, Dresden, Zurich, Lindau, Kuopio y Maribor.

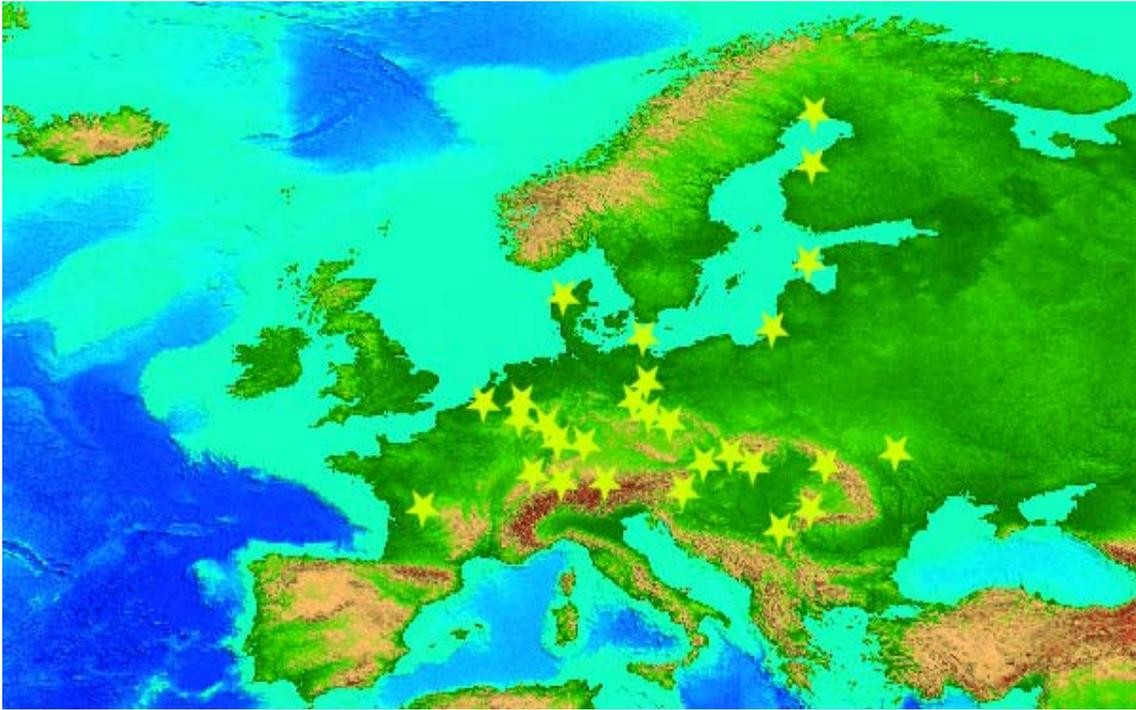
Algunas de las experiencias europeas más relevantes en MAR, ASR y RBF se citan a continuación, con mención de la fuente para el lector interesado. En su totalidad sobrepasa escasamente la cifra de 70 actuaciones en Europa.

La ubicación de las mismas se presenta en las figuras siguientes para el Reino Unido y Europa (excluidas las experiencias de la Península Ibérica en la figura 4, al haber sido representadas en la n.º 2).

- Alemania: Dresden-Tolkewitz, Meissen-Siebeneichen, Torgau, Flehe, Dusseldorf, Auf den Grind, Berlín-Tegel, Berlín-Friedrichshagen (*Grischek et al, 2002b*).
- Austria: Ulfiswiese, Innsbruck, Donauinsel y Viena (*Grischek et al, 2002b*).
- Dinamarca (*Madsen et al, 1998*).
- Eslovaquia: Rusovce, Kalinkovo, Samorin, Gabcikovo (*Grischek et al, 2002b*).
- Eslovenia: Maribor (*Grischek et al, 2002*).
- Finlandia: (*Miettinen et al, 2003*).
- Finlandia: Hietasalo, Kuopio, Riku, Kangasala (*Grischek et al, 2002b*).
- Francia: Capdenac-Gare, Geneuille (*Grischek et al, 2002a*); París (*Haeffner et al, 1998*).
- Holanda: Nijmegen, Roosteren (*Grischek et al, 2002a; Van Bremen & Walls, 2002*).
- Hungría (*Laszlo, 2003*); Budapest, isla de Csepel, Szentendre, Esztergom, Koppanymonostor, Nagybajcs-Szogye, Gyor (*Grischek et al, 2002b*).
- Inglaterra (*Montgomery, 1987*).
- Inglaterra: Essex. (*Cook & Moncaster, 1998*).
- Latvia: Baltezers, Riga (*Grischek et al, 2002*).
- Noruega (*Sandlund & Viken, 1997*).

- Reino Unido: Fochabers, Gatehampton (*Grischek et al, 2002b*).
- República Checa: Karany (*Grischek et al, 2002b*).
- Rumanía: Gheraiesti, Bacau (*Grischek et al, 2002b*).
- Rusia: Kaliningrado (*Grischek et al, 2002b*).
- Suiza: Ginebra , Linsental, Winterthur, Zurcí, Ginebra (*De los Cobos, 2002*).
- Yugoslavia: Kraljevo (*Grischek et al, 2002b*).





*Fig. 3 y 4. Principales estructuras y dispositivos de MAR operativos o en proyecto en Inglaterra; y en Europa (excluidas España e Inglaterra).*

### C). Algunas experiencias en América

Según el inventario de instalaciones del Instituto Acacia de Holanda, al menos hay 56 instalaciones operativas de ASR/MAR en USA, y una centena más en fase de investigación, diseño y construcción en USA y en el resto del mundo (Pyne, 1998; <http://www.iah.org/recharge>).

En la siguiente figura se representa la ubicación de los principales dispositivos conocidos (Fig. 5.).

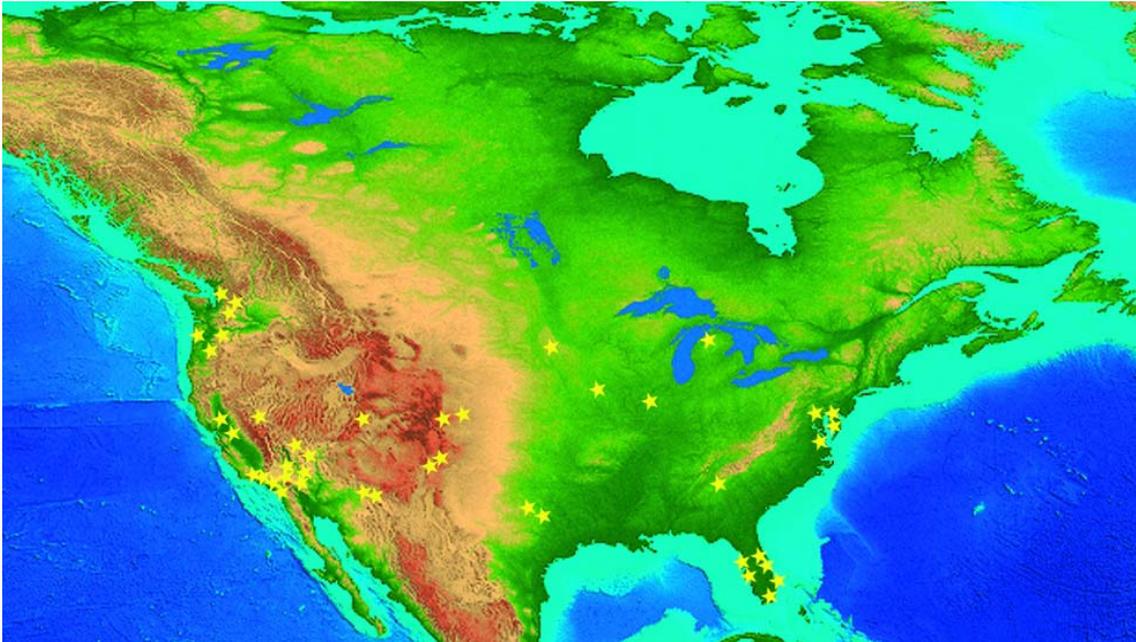


Fig. 5. Principales estructuras y dispositivos de MAR operativos o en proyecto en USA.

Se han hallado referencias de actividades de MAR, además de en América del Norte, en México y Argentina (Tuinhof, 2002; Tuinhof et al, 2004).

#### D). Algunas experiencias en África

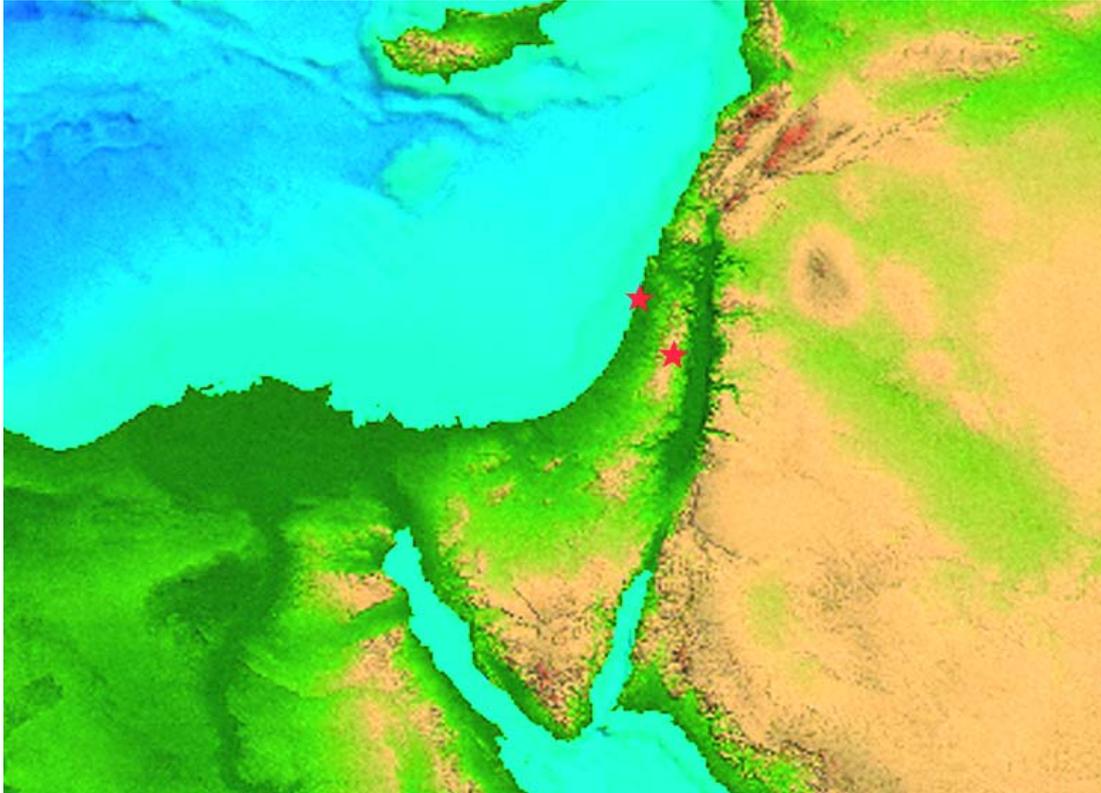
Las experiencias más extendidas han sido llevadas a cabo en Israel, República Surafricana y Namibia.

Los estudios preliminares llevados a cabo por el CSIR, el Departamento de “*Water Affairs and Forestry*” y los Ayuntamientos de Windhoek (Namibia), Calvinia, Kharkams (Cabo del Norte) y Petersburgo, han concluido en que la recarga artificial puede representar una solución efectiva para países propensos a las sequías a bajo coste (<http://www.csir.co.za>, 2002).

En Israel existen dos proyectos que aprovechan aguas de inundaciones para recargar los acuíferos de Shiquma, al norte de la franja de Gaza, y de Nahalei Menashe, cerca de Cesarea (Acreman, 2000).

El primero consta de una presa que retiene las aguas de inundación, para más tarde distribuirlas hacia estanques de infiltración intercalados en dunas arenosas en la costa. Presenta problemas de colmatación importantes y altos costes de bombeo.

El segundo consta de un embalse de almacenamiento, uno de decantación y una serie de estanques de infiltración. La conducción del agua se produce por gravedad. La figura 6 muestra la posición de estos dispositivos.



*Fig. 6. Principales estructuras y dispositivos de MAR operativos o en proyecto en Israel.*

Nuevas experiencias de MAR se han llevado a cabo empleando embalses subsuperficiales, embalses arenosos de recarga, tanques de precolación y gabiones en Egipto, Kenia y Namibia (Tuinhof et al, 2004).

#### E). Algunas experiencias en Asia

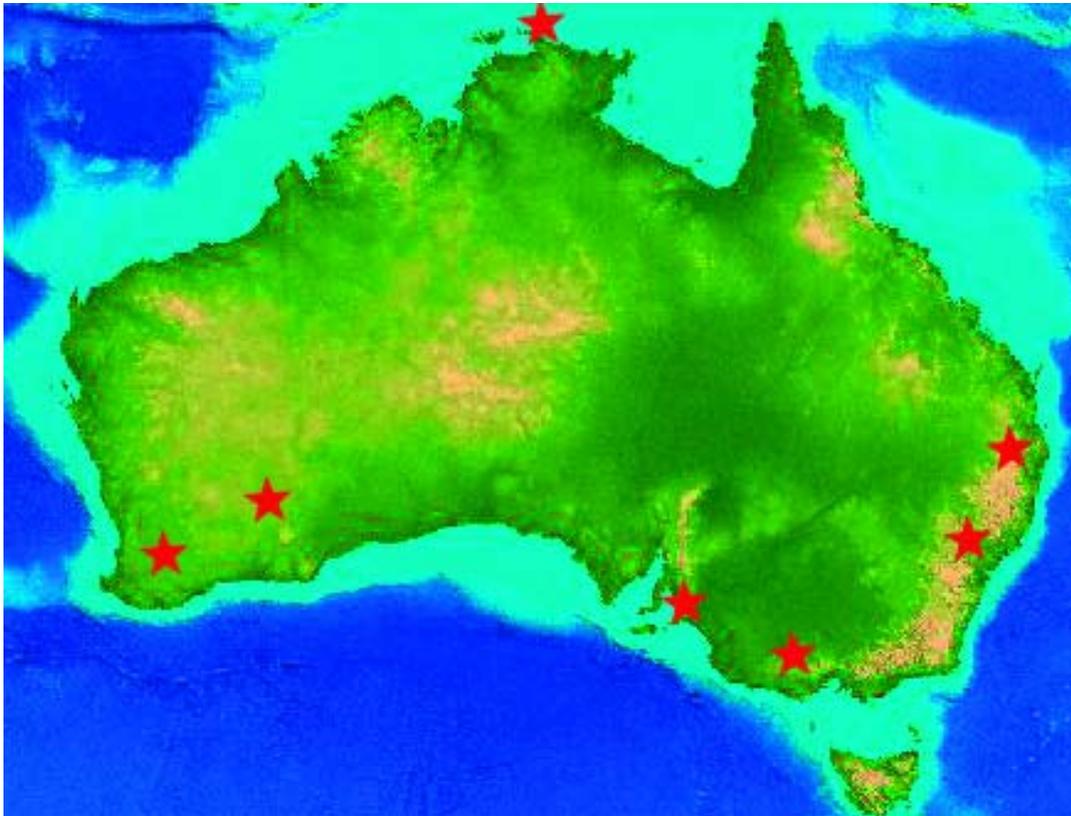
Algunas de las experiencias más destacables son la desarrolladas en Tailandia, Taiwán, Kuwait y la Unión India, donde hay catalogadas al menos 10 experiencias en recarga artificial en Delhi, Chandigarh, New Delhi, Haryana, Punjab, Himachal Pradesh, Palampur (Kangra), Indore (Madhya Pradesh), Jaipur (Rajasthan), etc. (<http://www.cgwaindia.com/success.htm>).

A pesar de las reiteradas peticiones a instituciones de la Unión India para ampliar esta información, hasta la fecha no se han recibido noticias adicionales.

#### F). Algunas experiencias en Oceanía

En Australia y Nueva Zelanda se ha desarrollado la técnica de ASR/MAR con gran efectividad. En la actualidad existen al menos cinco programas en

desarrollo comandados por CSIRO y CGS (*Pavelic, 2003, en [www.iah.org/recharge](http://www.iah.org/recharge)*), cuya representación consta en la figura 7.



*Fig. 7. Principales estructuras y dispositivos de MAR operativos o en proyecto en Australia.*