

Rechargeable SUSTAINABILITY:



**The key is
the storage**

Authors:

Enrique Fernández Escalante (Tragsa)
Jon San Sebastián Sauto (Tragsatec)

Collaborators (DINA-MAR, Tragsa Group):

María Ángeles San Miguel Fraile
Ignacio Prieto Leache
Óscar Martínez Tejero
Pedro Briones García
Francisco Javier Castaños Jover

Spanish version revised by:

Mario Lluria (USA)

English version revised by:

Jordan Clark (California)
Stephanie Diaz (California)

Special thanks to:

Stephanie Moore (New Mexico)
José Antonio de la Orden (IGME, Spain)
Catalina Sesmero (Cobre las Cruces, Spain)
Ilka Sobowale (Nigeria)
Peter Dillon (Australia)
Ian Gale (UK)
Wang Weiping (China)
Adriana Palma (Mexico)
Haim Cikurel (Israel)



DINA-MAR cuenta con el apoyo de:



2012 May

ISBN - 10: 84-615-8704-9/ISBN 13: 978-84-615-8704-9 (03/05/2012)

Legal Deposit: M-21039-2012

(c) All rights reserved

RECHARGEABLE SUSTAINABILITY THE KEY IS THE STORAGE

How to be in (re)charge of our future



INTRODUCTION

Between 2007 and mid-2011, the Tragsa Group has financed the project of R&D DINA-MAR, "Management of Aquifer Recharge within the framework of sustainable development". The project has been centered on studies related to aquifer management from different perspectives and on its potential for consolidation as an effective water management technique.

In October 2010 the Group published a book compiling the major contributions of the research team, entitled: "DINA-MAR," "Management of aquifer artificial recharge in the context of sustainable development: Technological stage", with 496 pages written in Spanish. The book collected visions and results of technicians from more than eight different disciplines. However, some aspects were not included, such as those contributions and conclusions reached in the periodic coordination meetings, formal and informal, and from both Workshops and open debates held in the course of the project. In order to unify emanating contributions from different actors over four years' time, the final synthesis book was written with the aim of providing additional and complementary information to the above-mentioned publication. It was translated in English to make it accessible to a larger scientific community.

The text has four sections: 1) a summary of the Workshop held on June 30, 2008, 2) a summary and conclusions of the final publication, 3) a summary of the closing workshop held 25 May 2011 and 4) general project conclusions. As it is a continuous learning process, the publication lacks the usual conclusions section, provided that it occupies the entire book, as well as the bibliography, which provide only two reviews, having a broad development in the book which complements.

We hope that this is of interest and accomplishes the Mission for which has been carried out, dissemination, technology transfer and a study of pros and cons of a water management technique that is becoming more common.

-Demonstration sites as it is the case of the hydrogeological routes “*Caminitos de Agua*” (little paths of water), implemented during the development of the project, represent an important line of action in terms of dissemination and environmental education. This example, currently being applied in Spain, should be implemented in other places of interest.






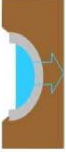
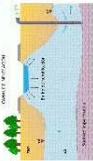


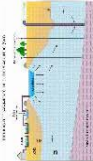


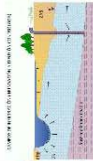


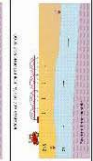





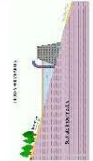

Figure 1. “DINA-MAR movie” Banner.

The paper describes some action lines and their most remarkable results and conclusions related to water management.

Inventory of existing generic devices and proposal of other “new” devices

The starting point was an inventory of devices available for Managed Aquifer Recharge (hereinafter, MAR) at a global level to create a catalogue of practical experiences. These were grouped according to the Gale (2005) classification. To these original 15 classifications, eight more were defined (at the end of the Table 1) and some have slight changes. The new devices are generally based on variations of irrigation systems that increase water return to aquifers and the implementation of MAR techniques in urban zones.

SYSTEM	TYPE OF DEVICE
DISPERSE	INFILTRATION PONDS
	INFILTRATION CHANNELS
	SOIL/AQUIFER TREATMENT TECHNIQUES
	INFILTRATION FIELDS
	RECHARGING BY IRRIGATION CHANNELS
CHANNELS	RETAINING DYKES AND RESERVOIRS
	PERMEABLE DYKES
	DIVERSIONS
	BED SCARIFICATION
	SUB-SURFACE/SUBTERRANEAN DYKES
	PERFORATED DYKES
WELL	QANATS (SUBTERRANEAN GALLERIES)
	OPEN INFILTRATION WELLS
	DEEP WELLS AND MINI-PROBES
	PROBES
	DOLINES, COLLAPSES, etc.
	ASR/ASTR
FILTRATION	FILTRATION BANKS IN RIVERBEDS (RBF)
	INTER-DUNE FILTRATION
	SUBTERRANEAN IRRIGATION
RAIN	UNPRODUCTIVE RAINWATER CAPTURE
SDUS	ACCIDENTAL CONDUCTION AND SEWERAGE RECHARGE
	SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS

N	SYSTEM	MAR DEVICE	LOGO	FIGURE	PHOTO	LEGEND
1	DISPERSE	INFILTRATION PONDS/WETLANDS				Artificial wetland to recharge in Sanción, Coca, Segovia (Spain). Photo: DINA-MAR
2		CHANNELS AND INFILTRATION DITCHES				Artificial recharge channel or the Basin of Santuste, Segovia, Spain, operative since 2002. Photo: DINA-MAR.
3		RIDGES/ SOIL AND AQUIFER TREATMENT TECHNIQUES				Ridges in the bottom of a infiltration pond, California. Photo: D. Peyton.
4		INFILTRATION FIELDS (FLOOD AND CONTROLLED SPREADING)				Infiltration field in Omdal (Namibia). Photo: G. Tredoux.
5		ACCIDENTAL RECHARGE BY IRRIGATION RETURN				Artificial recharge by irrigation return. Extremadura, Spain. Photo: Tragsa
6		RESERVOIR DAMS AND DAMS				Artificial recharge dam in basin head, Alicante, Spain.
7		PERMEABLE DAMS				Permeable dam in Huesca, Spain. Photo: Tragsatec.

N	SYSTEM	MAR DEVICE	LOGO	FIGURE	PHOTO	LEGEND
8	CHANNELS	LEVEES				Levees in Santa Ana river, Orange County, California, USA. Photo: A. Hutchinson.
9		RIVERBED SCARIFICATION				Scarification at Besòs riverbed, Barcelona, Spain. Photo: J. Armenter.
10		SUB-SURFACE/ UNDERGROUND DAMS				Sub-surface dam in Kitui, Kenya. Photo: Sander de Haas.
11		DRILLED DAMS				Drilled dam, Lanjarón, Granada, Spain. Photo: Tragsatec.
12		QANATS (UNDERGROUND GALLERIES)				Qanat at Colobara de Mayor, Segovia, Spain. Photo: E.F. Escalante
13		OPEN INFILTRATION WELLS				Infiltration well, Arizona, USA. Photo: DINA-MAR
14	WELLS	DEEP WELLS AND BOREHOLES				Artificial recharge well, Cornellá, Barcelona, Spain. Photo: DINA-MAR
15		BOREHOLES				Borehole (ASR) in Adelajida. Photo: P. Dillon.
16		SINKHOLES, COLLAPSES...				Sinkhole called "El Hundimiento", Alicante, Spain. Photo: DINA-MAR
17		ASR				ASR device in Scottsdale, Arizona, USA. Photo: DINA-MAR
18		ASTR				ASTR device in California, USA.

N	SYSTEM	MAR DEVICE	LOGO	FIGURE	PHOTO	LEGEND
19	FILTRATION	RIVER BANK FILTRATION (RBF)				MAR RBF-system in Efteling, Photo: A. Tórnild.
20		INTERDUNE FILTRATION				Interdune filtration near Amsterdam, Netherlands, Photo: Allus.
21		UNDERGROUND IRRIGATION				Underground irrigation in Andalucía, Spain, Photo: Tragesa.
22	RAIN	RAINFALL HARVESTING IN UNPRODUCTIVE				Rainwater harvesting in unproductives for IAR techniques.
23	SUDS	ACCIDENTAL RECHARGE PIPES AND SEWER SYSTEM				Artificial recharge from sewer system in Spain, Photo: Tragesa
24		SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS				SDUS, Comenarero park, Madrid, Spain, Photo: E.F. Escalante.

Table 1 a) y b). Summary and MAR schemes inventory grouped by typologies (modified from Gale, 2005). The table has been divided to the adapted format.

Study to determine “MAR zones” in Spain and attribution of the most ideal devices

A GIS study has been undertaken to determine most appropriate areas in Spain for the application of managed aquifer recharge techniques, which have been designated “MAR zones”, with potential fluvial and waste water treatment plants origins.

The process has been repetitive, testing different algebraic map options on reductive maps with up to 83 layers and GIS coverage. Permeable outcrop layers, lithology, aquifers, water level, fluvial riverbeds, purifying plants, data collection stations with superfluous measurements, inclines, altitude, distance to the coast, etc. must all be taken into consideration. The main R&D component is based on studying the deductive sequence leading to similar results in existing inventories. The “MAR zones” in Spain have been defined after several trials. Their grouping by hydrographic basins appears in Table 2.

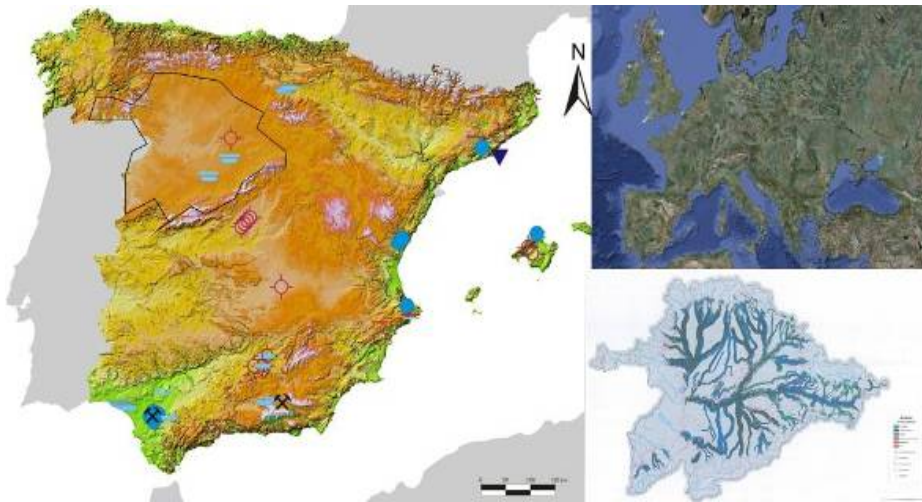
ID	Major Basin	MAR zones areas within basin (km ²)	Total basin areas (km ²)	% MAR zones/Basin	% total
1	NORTH	1952.98	53780.90	3.63	2.92
2	DUERO	21565.45	78955.69	27.31	32.26
3	TAGUS	10186.19	55814.90	18.25	15.24
4	GUADIANA	5183.57	60125.19	8.62	7.75
5	GUADALQUIVIR	4878.02	63298.10	7.71	7.3
6	SOUTH	1457.55	18408.22	7.92	2.18
7	SEGURA	2282.97	18833.04	12.12	3.41
8	JUCAR	7891.79	42682.26	18.49	11.8
9	EBRO	8686.32	85936.39	10.11	12.99
10	PYRENEES	1746	16555.28	10.55	2.61
11	BALEARIC	1023.07	5038.33	20.31	1.53
	TOTAL	66853.9	499428.31	13.39	100

Table 2. Results relating to “MAR zones” by hydrographic major basins or demarcations. Columns: Basin surface and the MAR zone contained in it and the percentage represented with respect to each basin and the MAR total area.

Approximately 16% (67,000km²) of the Spanish peninsular and Balearic Islands territory is suitable for recharge management. The

most ideal basins are Duero and Balearics and the least ideal are those in the north and the Guadalquivir.

To facilitate identification of the MAR zones, 11 choropleth maps by hydrographic basins have been created. An example of the results for the most ideal basin is shown in figure 1. The entire cartography is available at www.dina-mar.es.



Figures 1 a) to c). Location map of the MAR sites and, as an example, distribution of “MAR zones” for the Spanish Duero basin.

Search criteria to associate devices with each “MAR zone”

With the physical elements well defined and knowing the specifications of the 23 inventoried AR devices, a grades/weights system has been designed and automated in such a way that each device receives a weight according to its suitability and is adjusted to the physical characteristics and the other indicators with GIS support.

The main association criteria considered, supported in layers and thematic coverage, are based on a grades/weights system.

The grades established are the distribution of permeabilities, lithologies, nitrate contaminations, irrigable areas and irrigation origin, proximity to forests, purifying plants (with their treatment types), dams (with their associated capacities), wetlands, rivers (with their average associated flows), to the coast and major aqueducts; incline, height, flood risk, water level, water quality, meteorological stations with

surplus hydraulics and mainly urban areas. The weights range between zero (inadequate) and three (very favorable).

Creating a relational structure between physical factors and indicators with GIS support and MAR devices, an association matrix that supplies the *Hidrogeoportal DINA-MAR* (table 3) has been designed and automated. The result is a large scale cartography ranking the most to the least recommended devices (figure 2).

Potential for the MAR technique in Spain

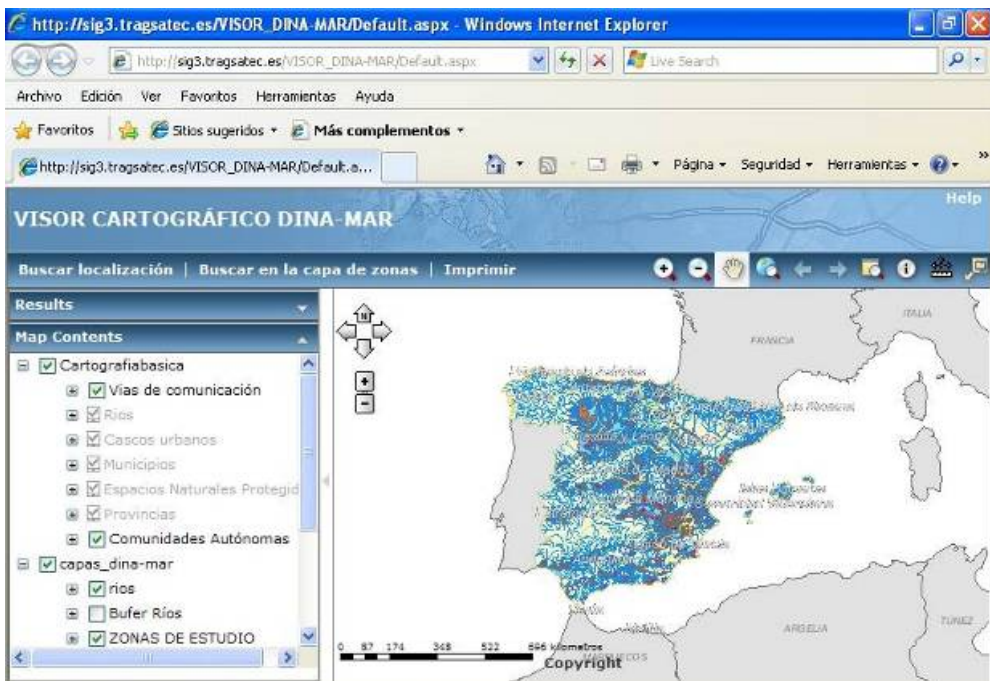
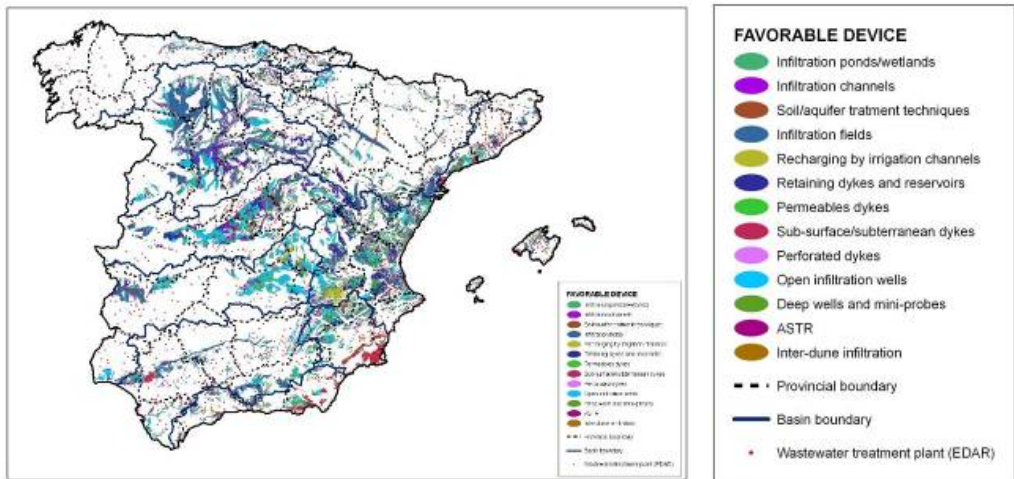
Based on the premise defended by DINA-MAR that the future on the matter of water depends on the capacity to store it, a calculation has been made of the storage potential in currently unsaturated Spanish aquifers against the storage capacity of dams.

Based on the storage in dams in Spain in January 2005, which reached 53198 hm^3 , and the definition of the MAR zones, a calculation has been made with GIS support based on the water level depth, aquifer permeability and storage coefficients. The result is that Spanish subsoil (excluding the Canary Islands) has a storage capacity of approximately $2,0 \text{ hm}^3/\text{km}^2$ in the MAR zones. In other words, the stored volume in the dams could be stored in aquifers in a 260%, safeguarding quality with full viability, also enabling surface occupation of the land.

CASES 1	CODE	WEIGHT	INFILTRATION PONDS/ WETLANDS	CHANNELS AND INFILTRATION DITCHES	RIDGES/ SOIL AND AQUIFER TREATMENT TECHNIQUES	WELL TRAINING FIELDS (FLOOD AND CONTROLLED SPRINKLING)	ACCIDENTAL RECHARGE BY IRRIGATION RETURN	RESERVOIR DAMS AND DAMS	PERMEABLE DAMS	LEVEES	REVERSED SCORIFICATION	SUB-SURFACE/ UNDERGROUND DAMS	DRILLED DAMS	GAMATS (UNDERGROUND GALLERIES)	OPEN INFILTRATION WELLS	DEEP WELLS AND BOREHOLES	BOREHOLES	SINKHOLES, COLLAPSES...	AIR	ASTR	RIVER BANK FILTRATION (RBF)	INTERZONE FILTRATION	UNDERGROUND IRRIGATION	RAINWATER HARVESTING IN UNPRODUCTIVE	ACCIDENTAL RECHARGE PIPES AND SEWER SYSTEM	SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS	
MAR ZONES																											
Permeable outcrops MMA 2006	VERY HIGH	3	3	3	2	3	2	3	2	2	3	1	2	1	3	3	1	3	1	1	1	3	1	1	1	1	
	HIGH	2	3	3	1	3	2	2	2	3	2	1	2	1	3	3	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	
	MEDIUM	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	1	3	3	1	2	1	1	1	1	
Geology of Spain Escale 1.200.000, MMA 2006	ALUVIAL	1	3	3	2	3	1	3	3	3	3	3	1	3	3	3	0	3	3	3	3	0	1	1	1	1	
	DETRITIC	2	3	3	2	1	1	2	2	1	0	3	3	3	2	2	3	0	3	3	0	3	1	1	1	1	
	KARSTIC	3	2	2	2	2	1	3	3	2	0	1	2	3	3	2	3	2	2	0	0	0	1	1	1	1	
	METAMORPHIC	4	0	2	2	0	5	1	2	2	0	0	1	3	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	
	VOLCANIC	5	0	2	2	2	0	5	1	3	3	0	0	2	2	3	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	
	INTRUSIVE	6	0	2	2	2	0	5	1	2	2	0	0	2	2	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	
	EVAPORITIC	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5	5	2	1	1	0	1	1	0	0	1	
Nitrates network for groundwater	NITRATE CONTENT	<50	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		>=50	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	
Vulnerable zones 2005	1: VULNERABLE ZONES, 0: NO VULNERABLE ZONES	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
Water origin	SUPERFICIALES	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	1	3	1	3	1	1	2	1	1	1	1	
	SUBTERRÁNEAS	2	0	5	5	1	0	5	0	5	0	0	1	1	0	5	0	0	1	5	1	5	1	0	2	0	
	RETORNOS	4	0	2	5	1	2	3	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	DEPURADORAS	6	1	1	1	1	1	1	1	0	1	2	1	0	1	2	1	0	5	1	1	0	1	2	0	0	
	DESALINIZADORAS	4	1	5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	5	0	0	1	5	2	0	5	1	5	1	0	
Areas up to 2 km far from dams	1: ZONA 2 km DAMS 0 BIGGER DISTANCE	<=2 km	1	2	2	2	0	1	2	0	2	2	1	1	1	1	3	3	3	3	3	0	2	0	0	0	
Concentric polygons close to medium flowrate rivers (1 to 5 km)	0 - 0,45	<=1 km	3	3	1	3	3	1	2	0	3	0	1	2	1	1	3	2	3	3	3	0	5	1	0	0	
	> 0,45 - 1,65	>1 y <=2	3	1	2	1	1	1	1	0	5	0	0	1	0	2	1	1	2	5	1	2	5	1	0	0	
	> 1,65 - 7,26	>2 y <=3	4	1	2	1	0	5	1	1	0	0	0	1	0	2	2	2	1	1	2	3	0	0	1	0	
	> 7,26 - 27,5	>3 y <=4	5	1	2	0	0	5	1	1	0	0	0	0	5	0	2	2	1	1	1	2	0	0	1	0	
	> 27,5	>4 y <=5	6	1	3	0	0	5	1	0	5	0	0	0	5	0	2	3	3	3	1	1	0	0	1	0	
Overflood risk	Sin riesgo	4	3	2	1	0	3	0	0	0	0	1	0	1	3	3	3	1	3	3	0	1	1	1	1	0,5	
	Máximo	1	0	0	2	3	0	3	1	5	3	3	1	1	5	0	0	0	1	0	0	2	1	0	0	0	
	Medio	2	0	5	5	2	3	0	5	2	2	1	0	1	3	0	5	0	0	0	1	0	1	1	0	0	
	Mínimo	3	2	0	5	1	2	1	0	5	0	0	1	1	5	1	3	2	5	1	1	0	5	0	1	1	
Slope intervals	0- 10	2	3	3	1	3	1	1	0	5	3	3	3	1	3	3	3	1	3	3	3	1	1	1	1	1	
	10-20	2	2	2	1	0	1	2	1	0	5	0	2	1	3	2	1	1	2	2	0	5	0	1	1	1	
	20-30	3	1	1	2	0	0	5	2	2	0	0	1	3	2	2	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	
	30-40	4	0	0	2	0	0	3	2	0	0	0	2	2	0	5	1	0	5	0	5	0	0	0	0	0	
	40-50	5	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Areas until 1 km far away from wetlands	1: INFLUENCY ZONES FROM WETLANDS / NO	<=1 km	0,5	1	2	0	3	1	2	2	0	1	2	1	1	2	3	1	1	0	0	1	1	1	5	0	
Areas distant up to km from Tagus-Segura aqueduct	1: ZONES INFLUENCY TAGUS-SEGURA / NO	<=1 km	2	2	2	1	1	1	0	0	2	1	0	0	1	3	2	2	2	2	2	0	0	1	0	0	
Water quality Conductivity <2500 uS/cm	1: ZONES CONDUCT. < 2500	< 2500	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	1	1
	2: ZONES CONDUCT. >2500	> 2500	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	
Mines in aquifers. Buffer 2 km	1: ZONES INFLUENCY MINES / 0: ZONES NO INFLUENCY	<=2 km	2	2	1,5	1	1	0	1	0	0	0	1	0,5	3	3	1	0,5	0	1	2	0	0	0,5	0	0	

MAR TECHNIQUES AND DEVICES			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
			DISPERSION					CHANNELS					WELLS					FILTRAT.		RAIN	SUDS							
CASES 1	CODE	WEIGHT	INFILTRATION PONDS/ WETLANDS	CHANNELS AND INFILTRATION DITCHES	BARRIERS/ SOIL AND AQUIFER TREATMENT TECHNIQUES	INFILTRATION FIELDS (FLOOD AND CONTROLLED SPREADING)	ACCIDENTAL RECHARGE BY IRRIGATION RETURN	RESERVOIR DAMS AND DAMS	PERMEABLE DAMS	LEVEES	RIVERBED SCARIFICATION	SUB-SURFACE UNDERGROUND DAMS	DRILLED DAMS	DAMTS (UNDERGROUND GALLERIES)	OPEN INFILTRATION WELLS	DEEP WELLS AND BOREHOLES	BOREHOLES	SINKHOLES, COLLAPSES...	ASR	ASTR	RIVER BANK FILTRATION (RBF)	INTERDIGUE FILTRATION	UNDERGROUND IRRIGATION	RAINWATER HARVESTING IN UNPRODUCTIVE	ACCIDENTAL RECHARGE PIPES AND SEWER SYSTEM	SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS		
Land use. From CORNE Land Cover	FORESTRY		1	0	2	3	0	0	0	3	3	0	0	3	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
	SUBDESERTIC		1	0	0	0	1	0	1	0	2	0	3	3	3	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
	MEADOWS AND PASTURES		4	1	2	2	2.5	2	0.5	0.5	1	2	0.5	0	0	2	2	2	1	2	0	0	0	0	1	2	0	
Weight according to artificiality	AGRARI		4	3	3	2	3	3	1	2	2	3	1	3	0	2.5	2.5	3	0	3	3	1	0	3	2	0	0	
	BARREN		2	1	0	0	0	0	1	1	0	2	1	1.5	1.5	1.5	1	3	1	1	0	3	0	0	0	0	0	
	GLACIARS & PERMANENT SNOW		1	0	0	3	0	0	0	3	3	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	WETLANDS		3	2	2	0	3	1	2	2	2	2.5	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	
	INFRASTRUCT. HIDRAULIC		4	3	3	0	0	0	2	2	1	0	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	INFRASTRUCT. TRANSPORT		5	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	
	URBAN		5	2	1	0	0.5	1	0	0	0	0	0.5	0	0	3	3	1.5	0	2	2	3	0	2	3	3	3	
	INDUSTRIAL		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	2	2.5	0	0	3	2	2	2	
Buffer 1 o 5 km urban areas	1 km	n° #INHABITANTS <20 000	1.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2		
	5 km	n° #INHABITANTS >=20000	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1	3	3	3	
Groundwater table 2008	ISOLINES PURPLE COLOR	<25	1	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	0	1	0	0	3	1	3	1	1	3	3	
		>25 y <=50	2	2	2	1	1	2	0.5	1	1	2	3	0.5	2	2	3	1	1	0.5	0.5	0.5	1	2	1	1	1	2
		>50 y <=150	3	0.5	0.5	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2.6	0.5	3	2	0	0	0	0	1	1	2
		>150	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.5	3	3	0	0	0	0	0	0	2
Depth groundwater table 2008	ISOLINES PINK COLOR	p>200 m	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	
Forestry masses. Escala 1:50 000	FORESTS		3	1	1	2	1	1	3	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	
Hydrogeology units suitable to be recharged according to IGME, 1991			3	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	
Areas distant up to 1 km from waste water treatment plants	BUFFER DE 1 KM AND EQ #INHABITANT DATA	<20 000	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		>=20000 y <200 000	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2
		>=200 000	3	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	3	2	1	1	1	1	1	3
Lagoon WWTP	BUFFER DE 1 KM		2	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Areas up to 5 km away from marine intrusion	BUFFER DE 5 KM PTOS INTRUSION	5 km	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	3	3	0	0	0	0	0	1		
Altitude range		> 0 y <20	1	2	0	2	2	2	0	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	
		>20 y <1500	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	
		>1500	1	0.5	1	0.5	0.5	0	3	2	0	0	0	0	0.5	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1
Arid zones	PRECIPITATION	>400 mm	3	2	1	0	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		<=400 mm	1	1	0	0	0.5	0.5	3	0	0	0	3	2	3	1	1	1	1	1	1	0.5	3	2	2	1	1	
Meteo stations with water surplus	Sub-basins water surplus		2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	3	1	1	2	1	1	2	2	1	2	2	3		
Distance to the coast		< 2 km	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	
		> 2 y < 5 km	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	
		>=5 km	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	
Dunar systems (Corine)			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	0		
Economic index (average immersion)	Euros/m3 YEAR	FLUVAL	0.20																								0	
		RIVER DAMS	0.10	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		BURIED DIKES IN RIVERS	0.22	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		SUDS (urban)	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		wwtp <=50 l/s	0.23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
		WWTP >=50 l/s	0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0

Table 3. Aspect of the table that relates physical factors and indicators (based on GIS support) with the different MAR devices.



Figures 2 a) & b). Provisional cartography with attribution of the most ideal MAR devices for each "MAR zone" and "Hidrogeoportal" screenshot.

This system has enabled some highly ideal MAR zones to be identified. For example, the Bajo Guadalorce aquifer (Malaga), considering water coming from the river and a wastewater treatment plant, up to 11 MAR devices could be concentrated in this area (figure 3).

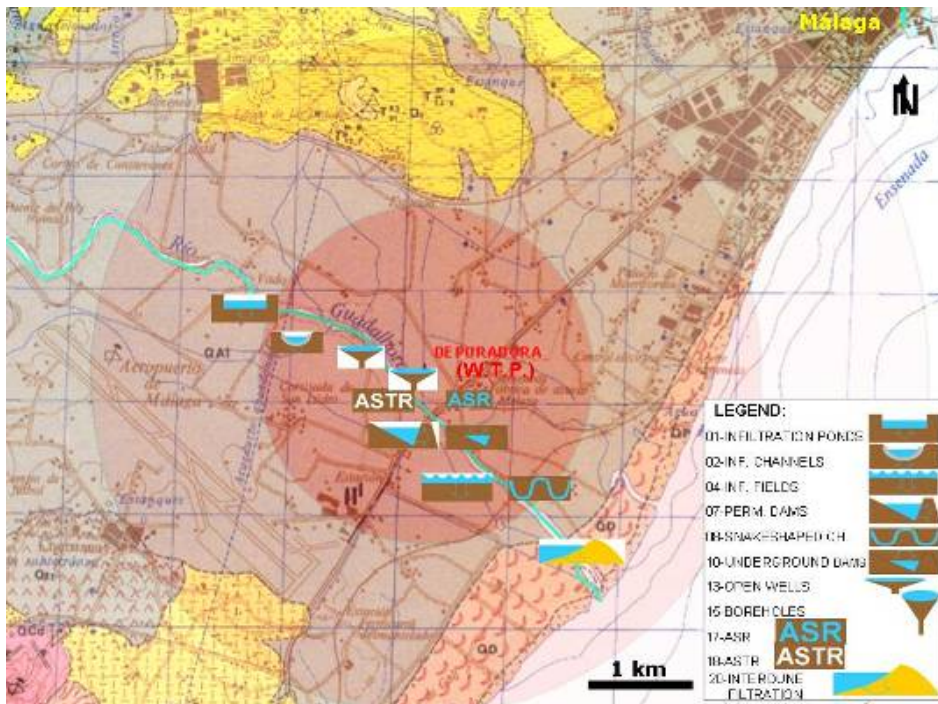


Figure 3. Example for the Down Guadalorce aquifer (Málaga, Spain). Proposal for the location of MAR devices, obtained with the grades/weights system designated “DINA-MAR-Hidrogeoportal”.

Environmental aspects

Methodology to determine environmental flows in intake basins

The intake flows from fluvial basins and purifying plants must take environmental flows into consideration, even though a large amount of the water derived from artificial recharge (hereinafter, AR) forms part of the environmental flow, as it is retained in space and time. A methodology has been designed based on the climatic, seasonal, spatial and subsoil considerations in each basin. The main aspects to be considered in each individual study are:

- The river section use must be classified, as well as deciding what classifications are to be considered as priorities.
- The level of detail of the study must be precisely defined in addition to the main species in the different types of riverbeds.
- It must be decided whether specific sections or basins as a whole are to be evaluated.
- In all the areas to be evaluated, it is necessary to know all the water extraction concessions from the riverbeds, dams, and mini-centers.
- Flows must be determined jointly, and in addition to the criteria mentioned, geomorphologic, riparian, water quality, wild fauna of the fluvial and/or littoral ecosystem (if applicable), quantity and quality of subterranean waters, landscape values, public use, and other Objectives must be considered.

Environmental planning

A methodology has been adopted in environmental planning based on six groups of basic environmental criteria in order to question the application of MAR techniques: Sources of contamination, risks, conditioning factors, demand, trends and advantages. With these, PER type environmental indicators have been created (Friends & Raport, 1979), also applying a system of grades/weights. These criteria have been designed as followed:

- Contamination sources: Specific established uses cause specific contamination risks, taking the dispersion method (diffuse is the most difficult to control but the often the most serious in its immediate effects) and its origin into account: Each one implies the existence of risks to the quality of the water to be recharged. Nitrates, other synthesis chemicals or solids washed up require different treatments before using input from an agro-farming, industrial or natural run-off origin for recharging. Urban, rural, farming, industrial and suspended solids contamination has been differentiated.
- Risks: The localization of specific risk terrain that may endanger the viability of recharging or the requirement for this action. The interception of flows (aquifers and run-offs), accidental spills; the presence of biological endemisms, saline or marine intrusions and the effects on health are proposed.

- Conditioning factors: There are characteristics inherent to the use or to association that require one or another types of MAR devices or that simply determine that the recharge does not surpass certain limitations, such as high inclines, high run-off, high elevation, free disperse run-off of continuous or temporary water, high phreatic table and the existence of dry periods.
- Requirements: The requirements vary not only in terms of the quality required but also in spatial and seasonal distribution. Potential use categories include drinking supply, recreational (swimming), ecological, refrigeration, irrigation water and hydroelectric energy.
- Trends: With the aim of viability and profitability of the devices, it is essential to evaluate both current uses and anticipated trends in these uses. Intensification, sensitivity to climate change, potential irrigation demand and preferential restoration areas are proposed.
- Advantages. Generation of returns, green filter, location of recharge zones, slow discharge and the source of desalination and purifying plants are proposed.

The crossover of environmental planning and the MAR zones and their use of actual land (CORINE) have enabled a matrix to be defined (table 4) which enables the capacity and conditionality of each type of use/coverage to be evaluated with respect to possible MAR activity and the evaluation of risks. The relation between rows and columns for each descriptor has been marked with an X in this table. The number of crosses has been counted for each group of environmental considerations, generating an indicator, whose evolution in time enables the environmental potential to be characterized for each MAR zone and each new action.

The purpose of this is to obtain “uses capacity maps” for the different factors that determine the media where a new MAR device can be implemented.

- Given the high complexity of these operations, it is essential to trial new technologies, devices, etc. in other pilot plants.

The application of the most recommended activities usually entails interaction of environmental impacts with a negative sign. Therefore, the most recommended alternative is the creation of an integrated system in which the balance is a positive sign, has an integral nature and high resilience.

The study areas are also the object of research into design and establishing control and maintenance parameters, which facilitate their operation and raise their effectiveness. The prototypes proposed at DINA-MAR include engineering developments to achieve minimal losses (evaporation, leaks, etc.), facilitate de-sedimentation, reduce transport, storage and pumping costs, enable operation at the optimal recharge point (including in situations where there is frozen or flooded soil) and to have a sufficiently high useful life to be profitable. Construction and maintenance costs must also be low.

Forestry engineering and palliative water management techniques

The hydraulic management “palliative” and best practise techniques based on recharging forestry and basin headwater areas studied to date, are providing very good results in terms of making available a significant volume of subterranean waters in the “headwaters” of the aquifers. At the same time as helping to reduce the devastating effect of floods, etc.

The most suitable devices are dykes, which considerably increase the reserves in aquifers, as has been stated in studies and real data developed on the eastern part of Spain, where, from studies with climatic data and five years of infiltration data in two specific areas, the forests have enabled the infiltration of a volume of water greater than the 20% on the subsoils of the de-forested areas (Copano *et al*, 2010).

The creation of serialised infrastructures on the headwater basins and along the riverbeds, as well as re-forestation in recharge areas and appropriate management, involve an increase in the recharge of the aquifers and in their hydraulic availability. Equally, this forestry management favours higher quality waters and the management or appearance of ecosystems with a higher environmental quality.

Urban hydrogeology

As for re-utilization (strict sense), MAR facilities are being incorporated into urban areas within the framework of complete management of water in building work, especially by means of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) and Integrated Urban Water Management (IUWM).

The introduction of buildings and urban development generally has negative effects on the territory. The progressive impermeabilization of the terrain causes great hydrological changes and requires large investment in infrastructures to channel and treat the water. It's absolutely necessary to redesign drainage channels in urban centers in order to adequately manage the increased stormwater generated.

The proposal is a new approach to the rainwater management, including:

1 REGULATIONS and improvement.	Existing regulation analysis, deficiency
2 STATISTICS and conclusions.	Data compilation, analysis and
3 TREATMENT improvement.	Existing systems, variant and
4 COLLECTED WATER improvement.	Existing systems, variant and
5 ENERGY	Energy inclusion in urban water cycle.
6 UPDATE	New systems.
7 INFORMATION	Awareness / conscience increasing.

Aimed at achieving good practices in cities:

- Minimizing surface runoff in cities.
- Draining towards green areas instead of diverting the water to the sewers.
- Collecting rainwater for later use: toilets, home irrigation, cisterns, washing machines, etc.
- Keeping the city clean regularly.
- Creating awareness about sources of pollution: workshops, hospitals, etc.
- Minimizing the use of herbicides and fungicides in gardens and parks.
- Education about the agents involved in designing and maintaining Cities.

The final objectives are:

- Rainwater runoff fracture (interrupt runoff in the city).
- Recovering the original infiltration capacity and,
- Breaking the “Heat Island” effect in cities.



Figure 4. An example for Sustainable Drainage Urban System for a drinking public fountain spilling the effluents for a buried SDUS system so as to recharge the aquifer. Madrid.

CONCLUSIONS

- The future of special techniques must be based on improving “MAR zones” maps and environmental potential, with greater consideration for deep artificial recharge in multi-layer aquifers.

- It is essential to deepen the economic aspects of the MAR technique as well as to make a contingent evaluation on environmental and social aspects (to value intangible aspects), taking the opportunity costs of the resource into consideration.

- The new designs must encompass low cost devices.

- IUWM opens an appropriate research line in the urban hydrogeology. Even though the SDUS concept is limited in some aspects, it must be encompassed in projects for greater management of water in building construction, and is integral the management of urban water.
- On the whole, in all the lines of action and the disciplines taken on, it has been seen that the advantages of the MAR technique outweigh the inconveniences. The innovation side must receive more emphasis because there are still many knowledge gaps, especially in those specialties apart from hydrogeology.
- The need to prolong these types of research projects must be highlighted in order to respond to the new challenges of the 21st century, such as water contamination with emerging substances, climate change, land use changes, etc. Such high complexity requires multi-disciplinary teams.
- It is only to be expected that many of the technological breakthroughs in the future will make an effective contribution to water management, not only for surface water but also for groundwater. Therefore, it is necessary to have access to the information and to improve hydrological information for the users, thereby making it easier for them to take part.

OPERATIVE MAR FACILITIES IN SPAIN

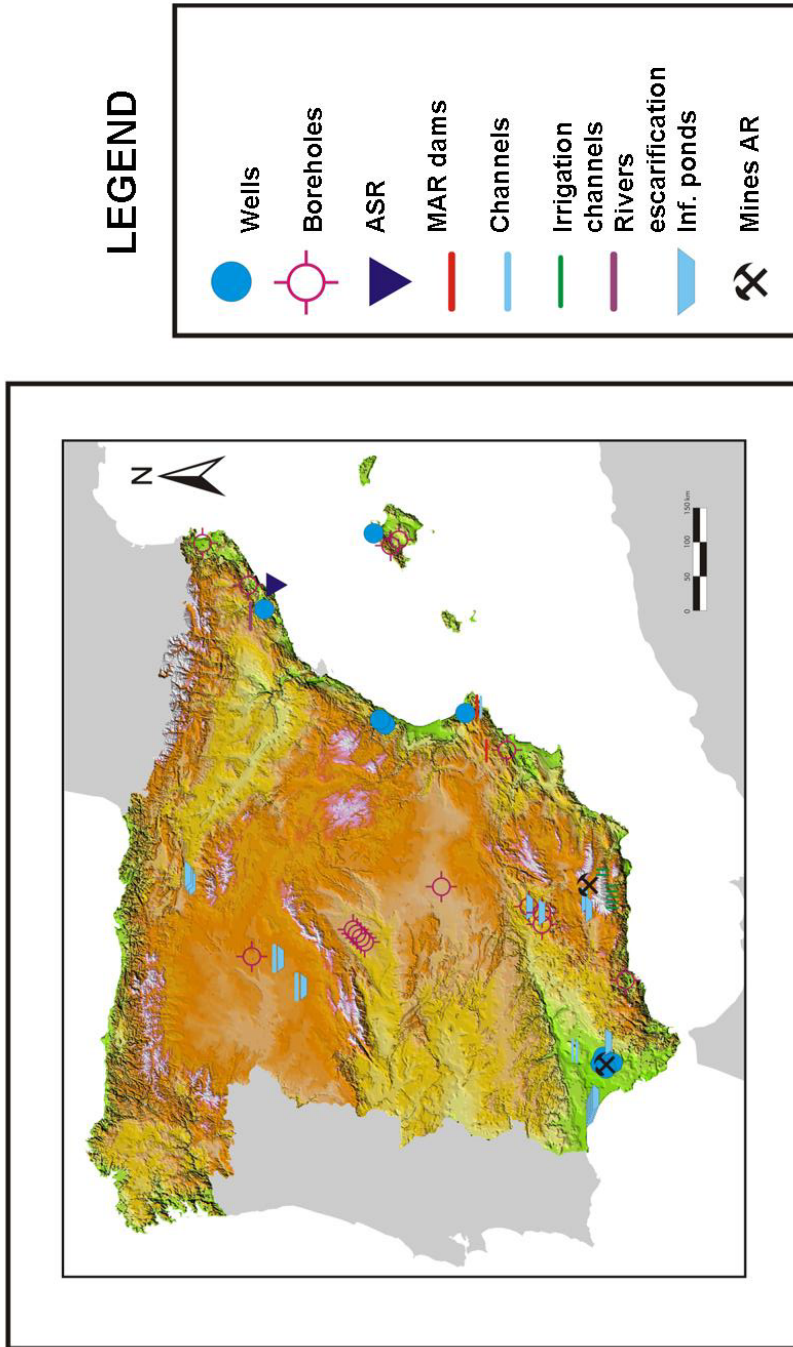


Figure 4. Current MAR facilities located in Spain (either operative or experimental).

SUMMARY OF TECHNICAL SESSION OF DINA-MAR R&D. PROJECT FOR THE STUDY OF MANAGED AQUIFER RECHARGE IN THE FRAMEWORK OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The session was held on June 30th 2008, with the aim of presenting the provisional results of the project of R&D+i within the stage of technology transfer. There were eight speakers from Tragsa for a total of ten presentations, finishing with a highly successful open debate.

Points to be highlighted:

- Managed Aquifer Recharge (MAR) is increasing its popularity at the international level. It has acquired a strong innovation component over the last few years, which is to a great extent owing to the introduction of new technologies and Best Available Techniques.
- In Spain both the legal and the technical frameworks are perfectly suitable for the integration of more MAR devices within the integral hydrologic management schemes. Waters of fluvial origin, approximately 15 % of the peninsular Spain and the Balearic islands, is suitable for MAR, even after considering the existing environmental conditions and impacts. In order to evaluate the environmental impact, six groups of basic environmental criteria have been established, namely: Sources of contamination, risks, conditions, demands, tendencies and advantages.
- A suitable management of the new devices must go together with by the application of Soil and Aquifer Treatment (SAT) Techniques in order to improve the effectiveness of the process as well as of the already operating devices.
- In the forest scope, according to a number of projects developed in the Valencian community (east coast of Spain), it must be emphasized that the infiltration in the head of the river basins is enhanced in zones with some vegetation rather than in barren zones, despite the biomass water consumption: "Water calls water" even in the aquifers below forests.
- The safeguard of the environmental flow rates in rivers where MAR water is sourced requires local studies, since standardizing would be too risky.

- MAR schemes are suitable in the urban areas by means of applying Sustainable Drainage Urban Systems (SDUS). However, this does not always suffice. Further efforts are needed for the whole water management in the built environment, so, for instance, as to increase artificial recharge under extended asphalted surfaces.

The debate took longer than expected (by more than 1 hour) and highly important subjects emerged:

- The importance of multidisciplinary research teams in MAR R&D projects was mentioned and remarked.

- The necessity for further research concerning the methodologies for the determination of ecological flow rates was also mentioned with the aim being to design a tested and reliable product appropriate for commercialization.

- There was a certain degree of agreement about the fact that it is not possible to control extreme climatic conditions, such as “cold drop” by means of MAR schemes. An alternative was proposed, based on the fact that the management of this type of phenomena must apply to the entire river watersheds, from the head to the sea. The very peculiar climatic conditions of Spain need schemes *ad hoc*, since there are very few analogous types of scenery in the world.

- As far as agrarian aspect, some participants pointed at the necessity of schemes of water management to be better distributed according to their use. Opportunity costs were specifically mentioned, as well as the necessity to involve the Communities of Irrigators in MAR technique and its implantation, especially those who employ underground waters to irrigate their crops, since their control is lower than the one of those using surface waters.

- The importance of improving not only the hydrogeological indicators but also the socioeconomic and the geopolitical ones in order to implant MAR structures was also highlighted.

- The paradox was pointed out that MAR activities in Spain require a spill authorization despite the fact that most activities result in an improvement of groundwater quality.

- The importance was stressed of a complete water management, applying to each particular area the most appropriate technique, either traditional or special.

- The fact was mentioned that while within some circles, MAR technique is considered "structural" or "more elegant" than dams, it also does require some concrete material. Some participants argued that if it were a more expensive technique or if it required a greater amount of concrete, there would be more MAR devices implanted, since constructors would be more willing to build this type of facilities.

- The importance was emphasized of the spreading this technique in all fronts, especially where it is less known, so that society is better aware of the advantages and drawbacks of MAR, which is still fairly unknown in Spain. The audience agreed that this task is far from being easy.

In conclusion, it was a highly instructive and pleasant session. The great interest and good will of all participants made it possible to exchange ideas and opinions within a nice atmosphere.

The program of the session is available at <http://www.dina-mar.es/>



Figure 6. Santiuste Basin MAR device, Segovia, Spain, main pilot site of DINA-MAR Project.

SUMMARY OF THE FINAL TECHNICAL SESSION OF DINA-MAR R&D. PROJECT AND CONCLUSIONS FROM COORDINATION MEETINGS AND EXTERNAL OPEN DEBATES.

The closing ceremony was held on May 25, 2011 at the Faculty of Geological Sciences of the Complutense University of Madrid, to present the main conclusions of the project and a “multiauthor” book reflecting the contributions of the research team.



Figure 7. Cover and back cover of the final publication of the Project, to which complements this publication.

Fifteen papers were presented, including the introduction and final film (DINA-MAR movie), two invited speakers, Mr José Antonio de la Orden (IGME) and Ms Catherine Sesmero (CLC), and eleven speakers from Tragsa Group.

The presentations are grouped in blocks according to the program:

TECHNICAL OVERVIEW OF THE MAR TECHNIQUE

- MAR, despite becoming increasingly popular nationwide, has still a degree of presence in Spain less than most developed countries, and even some emerging countries, such as the Union of India, where the technique is often applied by mean of "low cost" devices.
- Although the studies on AR, or better, MAR, are usually approached from a hydrogeological perspective, they have plenty of room in many other disciplines, where there are major knowledge gap.
- Deficiencies have been identified in the updated DINA-MAR inventory of proposed devices, with new inputs related to mining (such as "Well point"), ancient techniques (bofedales, etc.). This broad range serves as an aid to decision making on the selection of the recommended options. It even offers alternatives for moderate budgets whatever the context. For example we have received pieces of news related to devices apart from those inventoried like "careos" or "Amunas" found in the hydrogeological state of the art. It should be noted further examples of antiquity in Europe, Asia and South America, such as the presence of poorly known careos in the eastern Sierra Nevada Alpujarra, Almeria, Spain, boqueras in the Mediterranean Bow and Amunas in Chile, Bolivia and Colombia, in addition to those well known in Peru.
- This study demonstrated the importance of multidisciplinary teams to address advanced integrated water management projects, especially those with onset of recharge topological nodes on water management schemes. Most of the speakers provided examples of how the perspective of the technique changes if experts see it from different disciplines.
- It is absolutely necessary to be aware of the use of new materials, new technologies and the application of Best Available Techniques (BAT) as soon as they arise.



Figure 8. Most of the MAR volume stored in Spain (estimated about 380 hm³ per year) is “accidental” by means of dikes and little dams upstream basin areas.

MAR TECHNIQUE IN SPAIN

Legality

- In Spain the legal and technical framework is suitable to integrate more MAR devices on water management schemes, although there are some implementation issues: Currently, the legal regulation considers MAR as a spill, which is an obstacle to the development of the technique and the implementation of experiences. Royal Decree 1620/2007 is too restrictive in terms of water quality while other countries' laws are rather more permissive in general, because of their special consideration on sanitation aspects and a scarce attention to some effects such as the sodium concentration changes in deep injection. It would be desirable to promote mechanisms for reviewing the legislation, despite the high difficulty of this goal, as sometimes it "falls behind" with respect to technological advances. It is also remarkable the new charges and expenses caused by the economic crisis, some of which may take the form of higher taxes in

some communities, reducing the interest of private investors, to undertake works on implantation MAR devices.

Science and technology

- IGME's experience in Managed Aquifer Recharge is crucial in Spain, as an institution that has accumulated a great experience, but generally small to medium sized devices and most of the facilities had a little temporal continuity. This raises the question of whether or not the institutional support to develop projects and experiences on MAR is the best or it is also necessary to count on private investment.

- Several examples were shown on field experiences with no continuity and works in a state of high deterioration and abandonment, with the presence of several types of clogging processes. There were also references to acts of vandalism and thefts at several facilities. Aware of the difficulty of solving such problems, it is considered necessary to enable mechanisms to prolong the positive pilot experiences, implement anti-vandal materials and especially to work on public awareness.

- Experience CLC, given its technical complexity, set this system as one of the most complex and remarkable of Spain, due to the vast sum of present problems: quantitative, qualitative, socio-economic, ecological and even political. This project can be considered a reference for the application of new methodologies and a good "demonstration site" for testing new techniques, materials and designs.

MAR AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS)

- The deductive process supported by algebra maps and analysis in GIS has had two major drawbacks for information processing: different projection systems and an incorrect coincidence of the boundaries of the layers and thematic coverages used. The unifying effort has been especially relevant. This procedure would be appropriate to generalize counting even on some figure of policy support, so as to save the great effort in adapting layers limits of different origins in a GIS in the future. This is a common problem with other techniques that require strong support GIS mapping and treatment, such as remote sensing, environmental impact studies, land management, forest management, etc.).

- Numerical results were presented from the project, which include, among others, the great suitability of applying MAR technique in

Spain, where the extent of the "MAR areas" or areas where it would be appropriate to apply this technique potentially is about 67,000 km², with a potential storage capacity in aquifers more than twice the storage capacity of dams and reservoirs (taking into account that Spain is now among the five countries with the largest ratio of damming storage). Despite the possible margin of error inherent in the calculations, these figures are indicative of high technical suitability of MAR activities in Spain and thought-provoking on new integrated water management schemes.

- One aspect to consider especially in detailed calculations of the "MAR zones" in other countries should be the terrain conditions so it is determinative of surface runoff (plains, plateaus, moors) and the depth flow. It is also desirable to clarify application of MAR techniques in areas heavily deforested, often without moderation (as it happens in Amazonia).
- The detailed calculations with full scientific rigor justification are necessary to support the results and justify certain actions.

TECHNIQUES OF SOIL AND AQUIFER TREATMENT (SATS)

- Devices under design must incorporate in their management schemes Techniques of Soil and Aquifer Treatment or SATs from the beginning. This addition should be more understood in the original sense of the term as a list of alternative actions to influence the infiltration rate by mean of actions on the recharge water, soil, aquifer or in combination, in order to improve the managed aquifer recharge in all of its aspects. Consulting previous literature, it appears that the term SATs has diverted in recent years towards MAR with water from sewage, losing its original amplitude.
- The SATs should be incorporated in the projects for the construction of new devices and also in those already operative, to improve their effectiveness, given the large amplitude of this kind of techniques. The most appropriate SAT selection must be adopted by a specialist or by multidisciplinary teams.
- Selected SAT techniques should be particularly applicable for the "pretreatment" of water to be recharged (as mentioned Bouwer as the "gold rule" for artificial recharge in 2002). Different phases of the water cycle must be considered when selecting appropriate SAT techniques.

AGROHYDROLOGY

- The rise of groundwater levels as a result of managed aquifer recharge actions could overpressure the irrigation nets, reducing their efficiency, causing leakage and generating negative impacts, due to differences with the conditions for water supply systems and distribution when they were designed.
- The cleaning and maintenance is essential. These should be incorporated into economic studies, as well as the pretreatment and treatment of water recharge costs.

ENVIRONMENT

- While it is clear that the ecological flow of the river is the one that least modified the natural hydrologic cycle, we should expand the research for environmental flows consistent with the normal functioning of each ecosystem.
- A gap has been detected in the state of knowledge scarcely studied by DINA-MAR team: "MAR and biodiversity", to be addressed in future studies.
- Environmental Impact Studies and Assessment can detect a wide range of impacts of varying amplitude and intensity over time. Such a variety requires complex planning of building works and water management.
- The high diversity of the prior operational environment versus the vast sum of technical and management options to be implemented endorse MAR technique as a current, real and viable option, as long as the implementation is correct.
- Demonstration sites as it is the case of the hydrogeological routes "Caminitos de Agua" (little paths of water), implemented during the development of the project, represent an important line of action in terms of dissemination and environmental education. This example, pioneer in Spain, should be applied in other places of interest.

REMOTE SENSING

- The application of remote sensing for MAR studies has not been decisive or crucial, providing similar information to agricultural statistics. The importance of the infrared band to the interpretation of the natural condition of the agricultural vegetation should be noted. In future land use studies the time series evolution of vegetation is important. Also, the idea of applying fractals to MAR studies has been considered.



Figures 10 a) y b). Situation after implementation of a Carracillo infiltration pond, ortoimage SIG-PAC and Ikonos fusion in infrared false color (1m), 2010.

ARCHITECTURE AND SUSTAINABLE DRAINAGE URBAN SYSTEMS (SDUS)

- The design of SDUS must have detailed calculations and take into account issues such as what type of green roofs retain better the waterproofing treatment and how to influence the energy efficiency of buildings. Again the lack of a technical guide limits the establishment of SDUS, even in the legislation.



Figure 11. Another example for Sustainable Drainage Urban System (SDUS) for a parking lot avoiding runoff and facilitating infiltration to the aquifer. Hallstatt, Austria. Photo Ignacio Prieto.

OTHER TECHNOLOGIES AND LINES OF ACTION

- Thermography studies are providing interesting expectations. It is a tool that needs to be improved in terms of its technical application to MAR having completed the DINA-MAR project.

- The presence of emerging pollutants related to managed recharge with treated water make this an issue of great significance due to the appearance of synergistic reactions and new compounds with very long fractionation coefficients, plus the presence of Persistent

Organic Pollutants (POPs) such as drugs, fertilizers or chemicals. It seems important to continue using the self-purification capacity of the aquifer allowing for sufficient periods of residence time before directly applying MAR techniques.

- A line of further action considered important is the possibility of clogging and finding some utility in these processes (use of organic matter, etc.). This course of action would decrease the intensity scale of the highest impact that affects MAR devices: clogging.

- Conventional economic studies should be based on the spirit of the Water Framework Directive and the "full recovery cost" principle. Considering the intended uses of water, a binomial of action arises: in one hand who can apply this principle (golf courses, mines according to the supply and demand principle), in the other who is not financially sufficient. In any case the "externalization of costs" seems to be convenient. One way of financing experiences of the second type would be to include the "opportunity cost" and "environmental costs" in their economic planning.

- Economic analysis should also consider the new costs and taxes that result from the economic crisis, and how savings will offset the cost from the implementation of new materials and the Best Available Techniques (BAT). Also new taxes and penalties are expected related to water consumption in water planning.

- As for studies of ecological flows, the high variability of factors in economic studies encourages detailed studies.

- It is interesting to note the importance of improving economic and geopolitical indicators prior to the implementation of new MAR devices, apart from those of hydrogeological character.



Figures 12. Comparison between normal and thermographic aspects, in order to allocate clogging processes.

In short, both meetings have had a distinguished attendance, with technicians from different backgrounds and extensive experience. Although there has been a relaxed atmosphere, the importance of the issue has not been adversely impacted. These elements, coupled with good constructive spirit, have facilitated the valuable scope of conclusions.

The information on the conference can be extended at <http://www.dina-mar.es> where the papers are available.

FINAL CONCLUSIONS OF THE PROJECT

MAR AS A TECHNIQUE: DEFINITION AND GOAL

The *Managed Aquifer Recharge* (MAR), also known as artificial recharge (AR), is formed by a group of techniques that combine groundwater and surface water resources to become a truly sustainable development tool with the main goal of water management.

The first point worth mentioning is there is a great worldwide reception to these activities and techniques. The fact that only 2.5 % of all the freshwater on Earth is available for potable use—most of it is frozen in the polar icecaps—moves one to think over the contingent and tangible value of water resources. The conclusion is clear: it is invaluable and priceless.

Within this context, the MAR technique increases the availability of groundwater resources (not only in space (volume) but also in time (recharge cycle)) and improves its sustainability and quality. Among their main uses, the most common are the consumptive (agriculture and cattle), followed by urban and industrial supply, environmental, energy, mining, recreation, among others uses.

After dealing with the different types of devices dedicated to recharge management and then the different ways they interact with the environment, it is time to call attention on both the advantages and handicaps they present.

CAUSES, USES AND EFFECTS

The main reasons to broadly apply the MAR techniques are to obtain and increase the potable water supply and water for other purposes including irrigation, environmental support, and aquifer replenishment. Within this second group, two kinds of needs must be distinguished; the ones focused on agriculture and the ones focused on aesthetic and recreational activities such as golf courses, football pitches, parks, gardens, etc. These last activities can also meet their water requirements with reclaimed water or in some cases desalination plant surpluses.

The advantages discussed above are strengthened by more “classic” improvements. For instance, a decrease in water storage above

ground should lead to a decline in evaporation losses, the use of aquifer as a regulation dam and distribution network from the recharge area/s to the discharge area/s or the Water Framework Directive objectives fulfilment and other legal and moral imperatives as the UN Millennium Development Goals. Other pluses must also be considered as they are low cost compared to other water management devices and therefore they broaden the assortment of technical and budgetary possibilities.

IMPLEMENTATION

It is important to mention that, during the development of this project, 24 types of devices have been characterized, described, and categorized in a new classification system. Such high diversity shows a broad range of application for almost every possible alternative.

The main bodies involved will be the Public Administration or private promoters in charge of water management and the final users or receivers.

This class of activities can have a preventive purpose for the future (high quality water storage for its further use, even by future generations), compensatory (solution for already detected negative impacts) or palliative (minimizing the consequences of, for instance, either floods or water quality reduction that need a natural and cheap treatment method).

Environmental applications of MAR Techniques

The water recharge management, if correctly executed, has a positive effect on the environment. One of the first accomplishments after performing this cluster of actions is the recovery or even the rise of the water table and consequently, the increase in the storage that offsets aquifer depletions when excessive exploitation has lasted for years. All this is a consequence of the groundwater “invisible task” and the branch of science dedicated to it, hydrogeology, in the support of some ecosystems (for instance, caves, wetlands, prairies, and marshes) not only because of the amount of resource supply, but also by the availability change in the yearly cycle (in the shape of ground humidity, spring discharges, groundwater storage, salt intrusion control, etc.).

Another accomplishable aim is the improvement on water quality, by means of the filtering capability of the ground itself. It is true that the

concentration of pollutants decreases in the aquifer, which can also be achieved just by raising the groundwater resources.

This type of techniques shows the opportunity to achieve wetland restoration too. This is very significant as it triggers a rise in number and the protection of the flora and fauna species in this kind of ecosystems, at the same time that it favours the beauty and landscape perception of the zone. The monitored examples show remarkable results.



Figures 13 a) & b). Restoration of the “La Iglesia” lagoon (Segovia, Spain), a) February 2006; b) May 2006.

It should be noted that the project has not gone into any depth into the analysis of the methodologies used to calculate the ecological flows of donor rivers, as a more particular detailed study, case-by-case, is considered necessary. Nevertheless, in order to achieve this goal in the future, the creation of either a methodology or of some commercial product based on sound results is suggested.

Among these environmental applications, one of the main concerns on our coasts is saltwater intrusion into over exploited coastal aquifers. In order to mitigate this situation, artificial recharge has been applied in many locations all over the world. An example in Spain is the hydraulic barrier formed by the injection (recharge) wells that have been established in the Llobregat River Delta, in Barcelona, whose successful results are supported by long-term simulations.

This sort of techniques and the resultant increase of the infiltration rate can moderate the desertification effects and soil erosion that so often are produced by the groundwater exploitation, independently

from the climate effect. A very obvious case can be found in Southern and Eastern Iberian Peninsula.

In order to avoid these fatal consequences, the MAR technique offers methods and tools that regulate run-off and decrease erosion while increasing the total volume of infiltrated water into the aquifer. For all these reasons, a door is open to go deeper into the suitability of MAR as a possible future corrective measure against Climate Change. Lately, there has been a new promising development of engineering applications, such as infiltration dams in forests, SDUS, soil conservation structures, etc.

Energy use of MAR

Regarding the energy requirements of MAR applications, the case of an innovative pilot project carried out in Totana, Murcia, Spain must be noted. It consists of water extraction from a test drilling which uses the well's latent heat. This experience definitively links this technique with the uprising global energy problem after the oil crisis. Related to this field, there are many other different cases around the world.

Geotechnical stability and urban uses of MAR technique

As far as the prevention and correction of any relevant geotechnical problem, such as the geotechnical stability, is concerned, one of the best examples worth mentioning is located in Mexico City, where a pilot plant has been set up to treat water and then inject it in the ground for aquifer recharge purposes. That way, they try to counteract the subsidence and collapses that the city has been suffering for decades. This technique could be applied in comparable scenarios with similar problems, such as Bangkok (Thailand) and, at other scale, the city of Murcia (Spain) to mention some examples.



Figures 14 a) and b). The Angel of Independence (Mexico DF). Before this monument was erected a solid foundation was laid, but the surrounding terrain suffered settling over time and consequently it was necessary to build a staircase to it (See photo on the right).
Extracted from:

<http://www.exploramex.com/epocaIndep/Terrem1985.htm>.

One of the latest urban applications is the improvement of the city planning, where rainwater is wasted and spoiled. Recharge of this water can degrade the underlying aquifers. Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) aims to return city water back into the water cycle (after treatment when available), support aquifer recharge, decrease “grey” prevalence, endorse a higher landscape perception to the cities, mitigate flood risk and reduce Heat Island effect. In short, they increase the water resource availability, raising its quality and restoring aquifers under urban areas to their original state.

In conclusion, the Environmental application of MAR technique can be considered a sustainable tool. Therefore, it can be submitted for evaluation, with the consequent identification of positive and negative impacts. All this implies the automatic application of corrective measures applications that consequently get globally incorporated to the water planning sphere. That way, MAR technique gets endorsed as a real water management strategy and no longer being a simple option to take into account or just a poorly checked and unknown alternative. Nowadays, it has become **a real and feasible alternative**.

Technology Diffusion of MAR

Unfortunately, this vision has not been rooted in Spain yet. This might be due to tradition or due to the fact that more expensive concrete-based works get better and broader publicity. Consequently, these techniques remain unknown to most of the citizens.

One of the last advances of DINA-MAR Project has been the GIS application to assemble a Web visor that analyzes the most suitable Spanish zones for the setting up of recharge management devices.

We must insist on the relevance of Technology Diffusion and Public Transference Programmes. The approximation of these techniques to the society is essential. Moreover, it also boosts the chances of new projects and field experiences that will increase the level of knowledge in general. A well focused popularization of this sort of project is very important and must be carried out for the achievement of this goal covering different fronts and aimed to different target-people, with strategies and materials adapted to each one.

Multi-skilled teams are crucial so as to achieve all these goals. Within the DINA-MAR project framework an assorted array of professionals from different academic qualifications have worked together and it has been observed that, an even wider variety of them could fit in too.

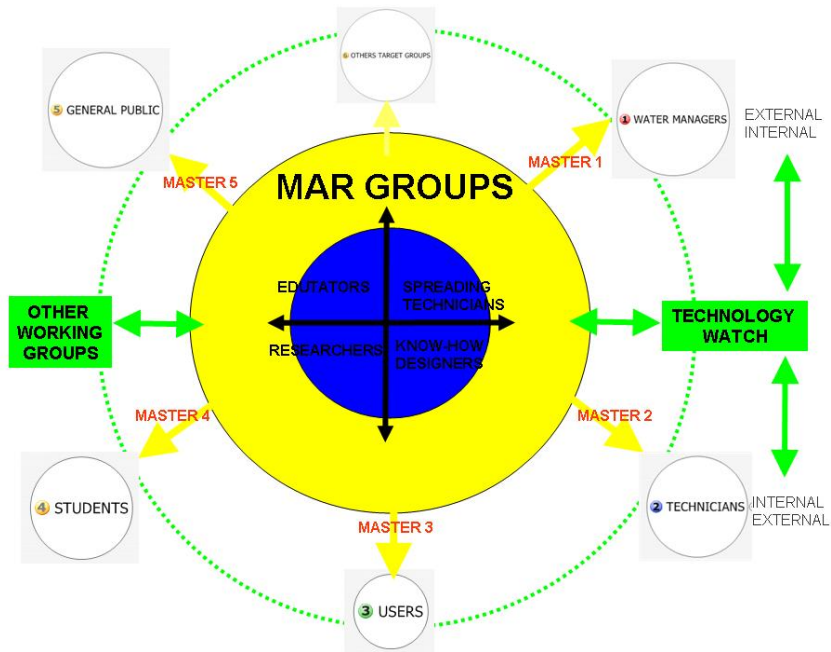


Figure 15. Dissemination and Technology Transfer (DyTT) strategy designed during the Project’s implementation.



Figure 16. D&TT strategy. An example of implementation (technical visit).

Future Goals

On a basis of some future continuity, it is intended to go further into the research dealing with geotechnical issues, remote sensing, soil self-purification capability and the array of methods to flood control and “Gota Fría” (Sudden Storms and overflows in Eastern Spain and other sites in the Mediterranean Arc) in the upper catchment area of the river basins, as much as the economical items.

Conclusion

Summing up, recharge management, artificial aquifer recharge or MAR is a valuable, feasible and cheap tool and they need a broader spreading to enhance their general use. Thus, there must be a deeper implication of the Irrigators Communities into the MAR technique, particularly those that get their supply from groundwater. In order to achieve this goal, it is required to bring these facilities closer to the general public, politicians, farmers (an assembly of huge relevance as the most relevant group of beneficiaries; up to 80% of water use in Spain is committed to irrigated agriculture) and to get political support from institutions for example town halls, Autonomous Regions and national governments on the basis of shared responsibility.

Finally, this research period could be summed up using the following five words:



Figure 17. Final message of the Project in Graffiti: *The key is the storage.*

REFERENCES

Tragsa (multiautor) (2011). "DINA-MAR. La gestión de la recarga artificial de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible. Desarrollo tecnológico. Coord. Enrique Fdez. Escalante. Serie Hidrogeología Hoy, nº 6. Método Gráfico, Madrid 2010. ISBN 978-84-614-5123-4. 496 pg.

<http://www.dina-mar.es/>

ADDENDA. LEAFLETS RELEASED ALONG THE PROJECT'S DEVELOPMENT



THE DINA-MAR PROJECT. AQUIFER RECHARGE MANAGEMENT WITHIN THE FRAMEWORK OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

This is a R&D&I project that is financed by the Grupo Tragsa, the aim of which is to establish which zones in Spain are liable to be used for artificial recharge operations (AR) and Artificial Aquifer Recharge or Managed Aquifer Recharge (MAR), within the framework of sustainable development and following standards involving minimum negative environmental impact.



The project, which consists of five phases, began with an extensive study of the state of the art, especially on a national scale. Until the present time, the technique has hardly ever been put into practice. Mention must be made of the activities that have been promoted by the MAPA in the Arenales Aquifer (Segovia), the research into the subject undertaken by the Instituto Geológico y Minero de España and the experiences that have been obtained in Catalonia.

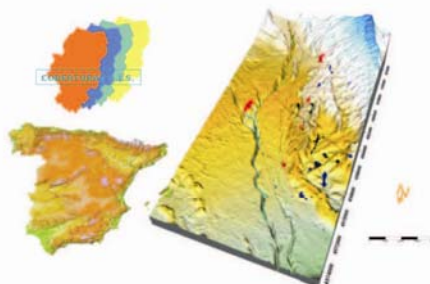
PHASE 1: Establishing the geological formations suitable for artificial recharge

The calculation process is based upon the GIS analysis used for this with more than 30 thematic covers tested using different deductive methods.

GIS Analysis. First results

- The total area calculated (Mainland Spain and the Balearic Isles) ranges from 27,000 to 43,000 km² in aquifer zones close to river beds of a reasonable size, most of which lie in irrigation zones where groundwater is used.

- The area of land likely to store volumes in addition to the yields from natural recharge with forestry use, generally lying in the upper reaches of basins, is slightly lower than 9,000 km².
- The land that is associated with river beds or wetlands with the same conditions as in the preceding case amount to 10,500 km².



Nº	BASIN	Calculus 2 (km ²)	%	Calculus 3 (km ²)	%
1	NORTE II	1	0,01	1473	3,48
2	DUERO	2699	25,95	11113	26,23
3	TAJO	973	9,35	5515	13,02
4	GUADIANA I	881	8,47	2972	7,02
4	GUADIANA II	24	0,23	91	0,22
5	GUADALQUIVIR	1406	13,51	3500	8,26
6	SUR	468	4,50	1674	3,95
7	SEGURA	494	4,74	1633	3,85
8	JUCAR	1224	11,77	5884	13,89
9	EBRO	1822	17,51	6599	15,58
10	C.I. DE CATALUÑA	413	3,97	1910	4,51
TOTAL		10403	100,00	42364	100,00

GIS analysis. First results.

PHASE 2: Establishing and controlling in "Pilot zones"

Work has begun on taking ongoing data in the pilot zones, and it is planned to add to more in the near future. Studies are conducted in these to establish the way the infiltration rates evolve and to test the effectiveness of the prototypes of artificial aquifer recharge devices (AR).

PHASE 3: Studying and designing specific devices to achieve a high infiltration rate

This is based upon the analogical scenario technique. At present, tests are being carried out on different devices for the artificial recharging of aquifers in the pilot zones, with a view to establishing the most suitable technique to use in each one of the potential application zones.



PHASE 4: Environmental aspects

a) CONSERVING THE ECOLOGICAL FLOWS

A methodology is being developed for establishing what environmental flows must be conserved in the river beds concerned, on the basis of a variety of different hydrological and environmental criteria.

b) WATER REGENERATION. KEY ELEMENTS

Water regeneration of wetlands by means of AR is one of these key elements. This is the case with the experience



carried out by the JCL and the Grupo Tragsa in the Iglesia de Coca Lagoon (Segovia). Other further aspects are the recovery of springs, restoring dune systems, etc.

c) SUDS

The Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) are conducive to the infiltration of surface water in urban

areas, and are likely to be used as a tool in a suitable and sustainable environmental management model.



D) ENVIRONMENTAL INDICATORS

At the same time as research is being conducted into the technique, a series of new environmental indicators are being prepared that will enable the users to obtain an approximation of the actual effect of the potential, implementation of the infrastructures for artificially recharging aquifers and environmental impact assessment criteria.

PHASE 5. Environmental Education and Dissemination

The project intends to disseminate the information generated in different fields, distinguished by action groups, as well as to disseminate environmental education premises. With a view to this, specific educational material is being prepared and communicated with respect to aquifer recharge management, and action strategies are being drawn up.



CONTACT

Further information:

Enrique Fernández Escalante
Tel. 913 226 106
dina-mar@tragsatec.es
www.dina-mar.es





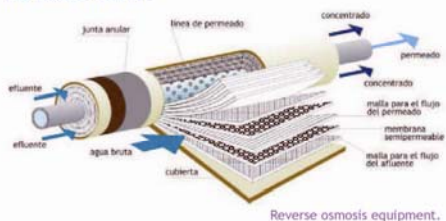
SPECIAL WATER MANAGEMENT TECHNIQUES

DESALINATION, MANAGED AQUIFER RECHARGE AND RE-USE. PROS AND CONS

Desalination, managed aquifer recharge and re-use are the so-called "special techniques" of water management, and they constitute an alternative or a complement to "conventional techniques" (dammed reservoirs, groundwater exploitation and water basin transfers). The main advantage of the special techniques is that they generally have more possibilities for sustainable development. Their main drawback is the lack of knowledge on the part of public institutions and bodies and the scarce experience in this country about details of the matter.

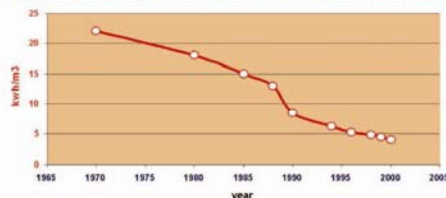
Desalination

This is a possibility in coastal areas. In this country there are currently over 900 desalination plants, which produce more than 800,000 m³/day (Hispagua, 2006). There are various desalination processes, with reverse osmosis being the most effective.



The main advantages afforded are: the possibility of using briny water from aquifers, thereby halting saline intrusion, the stability of the supply in terms of both quality and quantity, and the possibility of adapting quickly to demand, within certain limits.

The main problems that arise are the high energy cost (which is a limiting factor for many users) and waste mana-



The evolution of energy consumption in Spain in sea water desalination plants.

gement (brine). According to the Spanish Desalination and Re-use Society, the average energy consumption in Spain in 2005 was to the tune of 3 kWh/m³ in sea water.

One recently-opened line of research is desalination using renewable energies.

Management aquifer artificial recharge (MAR)



Reverse osmosis waste water treatment plant.

Managed Aquifer Recharge (MAR) consists of a set of techniques that make it possible to act on the quantity and quality of water reserves in aquifers by means of intervention at the entry and exit points for the system's water. There are various methods that make it possible to act on different shallow, intermediate and deep aquifers.



This requires detailed knowledge of the chemical nature of the recharge water, of the aquifer's natural water, and of the possible interaction between them.



Picture of the infiltration pond and artificial recharge channel of the Cubeta de Santiluste facility (Segovia).

The main advantages they provide are: elimination of pollutants by biochemical and mechanical filtration, reduction of losses by evaporation, buffer effect of the recharge water against others of lower quality, the possibility of regenerating ecosystems, and saving in space (the water is stored below the surface) and in distribution costs.

Madrid's Tertiary Detritic aquifer alone has a storage capacity (around 11,000hm³) double that of all the reservoirs in the Tagus basin; 5,709 hm³ (Hispagua, 2005).

The main drawback of the MAR techniques is the lack of knowledge and dissemination of these techniques, and their scarce precedents in Spain.

Grupo Tragsa is currently carrying out a series of pilot trials in Santiuste and Carracillo (Segovia) with positive results, contributing to the development and implantation of this technique in this country. Over the 2006/07 hydrological year, 17hm³ have been introduced into the Arenales aquifer by means of MAR techniques.

Re-use

The successive use of the resource allows for more uses with the same volume, increasing the system's efficiency. It is worth differentiating between direct reuse, in which the second use occurs following on from the first use, and indirect reuse in which the second use occurs after some time has elapsed, during which time the residual water has become diluted in the water course of some stretch of water.



Cangrejo T.M desalination plant, Valverde - El Hierro- Canary Islands.

In Spain there are currently over 100 direct reuse activities, making it one of the most advanced countries in this field. Direct reuse requires prior planning and pre-treatment. The water is transported from the first point of use to the second via a conduit, without being poured into any other watercourse, generally for industrial use.



Costes de algunos dispositivos MAR actualmente operativos en España	
Dispositivo AR superficial Santiuste (Segovia)	0,39 €/m ³ (Grupo Tragsa, 2006)
Dispositivo AR superficial Carracillo (Segovia)	0,15 €/m ³ (Grupo Tragsa, 2007)
Dispositivo AGBAR Cornellà (Barcelona)	0,04 a 0,08 €/m ³ (Fuente: AGBAR)

In this country, the reuse of residual waters allows demand to be met for 230 hm³/year (83% for irrigation, the rest for recreation, industry, municipalities, etc.). (Libro Blanco del Agua 2000, MMA).



WWTP in Abruçena, Almeria.

The main problem faced by reuse is the lack of specific rules to regulate the quality criteria demanded and matters pertaining to management. In this vein, in February 2007 the MMA presented a Royal Decree proposal to regulate the reuse of treated waters, which will partially modify the Hydraulic Public Scope Regulation, in keeping with RD 509/1996 of 15th March. (Norms applicable to the treatment of urban waste water).

Ratios Medios de Inversión	
Balsas	9,75 €/m ³
Presas	0,80 €/m ³
Desaladoras	0,45 a 0,90 €/m ³
Ratio dispositivo AR superficial	0,21 €/m ³
Ratio dispositivo AR profunda	0,08 €/m ³

As for economic aspects of the different techniques in Spain, there follows a list of investment ratios calculated from experiments carried out by Grupo Tragsa (in CONAMA, 2006 and www.dina-mar.es).

It is worth noting that the price of "alternative" techniques, and especially aquifer recharge management, is lower than the costs of conventional techniques, as well as having a lower environmental impact.



Contact

Maria Jesús Minaya
Tel. +34 913 226 656
dina-mar@tragsa.es
www.dina-mar.es



ARTIFICIAL RECHARGE OF AQUIFERS AND WATER REGENERATION IN DEGRADED WETLANDS

The situation of Spanish wetlands had reached a critical point during the 20th century, as its size had been reduced by 60% (MOPTMA, 1990 and 1995, Casado & Montes, 1995). Moreover, most of them had been significantly changed.

Since Spain ratified the RAMSAR International Agreement (1971) in 1982, and helped by Law 4/1989 on Conservation of Natural Areas and Wild Flora and Fauna, wetland conservation has been fostered through various techniques, among which it is worth noting artificial recharge of aquifers.



Examples of wetlands regenerated by means of techniques of artificial recharge of aquifers in Bollivar, Adelaide (South Australia), Phoenix, Arizona (USA) and Spandau, Berlin (Germany).

This system has been applied in other countries for decades, as is shown by the following examples from Adelaide, Berlin, and Arizona, in general by means of induced artificial recharge.

The main causes have been over-exploitation of aquifers, forest repopulation, and growing urban development.



↑ La Iglesia lagoon (SG-1), catalogued as of special interest by the Castilla y León Regional Government.

← Photographs from 2004 and 2007 after two years of water regeneration by means of artificial aquifer recharge operations.



The need for recuperation is justified by the great environmental value of the wetlands and their high biodiversity. They act as carbon drains, stabilise the climate, regulate the hydro-geological cycle and hydrogeochemical cycles, they have purifying properties, and they moderate the effect of floods. In addition, a large part of them have a great hydro-dependence on the aquifers, affecting their ground water table.

Wetlands provide rich and productive benefits, as well as providing other values through their resources, such as: water, wood, fibre, fish, crustaceans, very productive soils, medicinal plants, wildlife, etc. Furthermore, these areas can act as a means of transport and as a tourist attraction.

For human health, they provide food by being very productive ecosystems, and pharmaceutical products by having medicinal properties in the water and mud. They also act as filters or traps for some pathogenic micro-organisms. In addition, they provide mental well-being, leisure and culture, which gives them extra added value.

Restoration of wetlands by means of artificial recharge in Spain

In Spain there has been little experience in water generation in wetlands. Within this we could mention the work carried out in the Tablas de Daimiel National Park since the 1980s. It has been possible to safeguard this wetland thanks to artificial recharge from eight drillings, which has enabled the survival of an aquifer declared as overexploited.

In the Los Arenales aquifer, in 2004, work began on water regeneration of the Coca-Olmedo Complex wetlands (La Iglesia and Las Eras lagoons), in Segovia, Valladolid, with water from the Cubeta de Santiuste reservoir artificial recharge facility.



The Tablas de Daimiel National Park has had eight boreholes to regenerate it by means of recharge management since the 1980s.

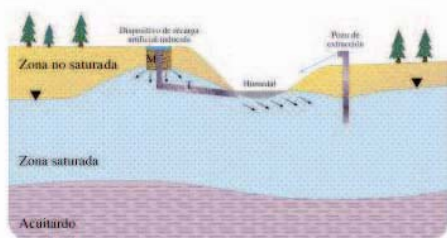
In the county of Carracillo, the El Señor Lake is also being regenerated with artificial recharge waters.

The process, still in its early stages, has many more advantages than drawbacks, as shown by the monitoring indicators. For example, it has been possible to safeguard the halophile bacteria that are endemic in this Complex. All of these advantages have involved the active participation of the public company Tragsa.



To achieve adequate water regeneration, it is necessary to simulate the natural underground flow path, and hence create a similar artificial trajectory. It is thus necessary to study the solubility of the materials and the flow of water through the aquifer, and the processes of interaction.

Del Señor lagoon in Comaserracin, Carracillo County, Segovia.



Generic design of an induced artificial recharge facility to increase the salinity of the artificial recharge water until it has similar characteristics to those of the water of the area. The contact surface is regulated, as is the time of interaction, with the saline material of the terrain, precipitated by the rise of deep underground flows.

Results of the experiments

Analysing the results obtained on applying induced artificial recharge, it can be said that the ecological state has improved, since the artificial recharge water was made to be chemically similar to the lagoons original waters. For this quality to be maintained, it is advisable to apply some kind of protection.

To appreciate the changes, a system of environmental indicators has been designed that are related to the identification of effects, the study of the transient nature, and the intervention and the activity carried out. It is worth noting the following positive effects.

- Improvement in the management of resources.
- Reduction of the decreases in water level produced by pumping.
- Qualitative improvement in the waters.
- Purification of pathogenic vectors.

In summary, applying these techniques requires highly detailed technical studies, with their resulting economic cost. These activities must seek to be coherent in terms of ecology, landscape, territory, society and institutions.



Contact
 Enrique Fernández Escalante
 Tel. +34 913 226 106
 dina-mar@tragsa.es
 www.dina-mar.es



MITIGATION TECHNIQUES IN COMPLETE WATER MANAGEMENT. ARTIFICIAL RECHARGE IN BASINS FORESTRY. MANAGEMENT TECHNIQUES TO PRODUCE WATER

Precedents

There is a group of water management techniques called "mitigation" techniques (they help mitigate peaks in demand) which are little-known but of enormous importance in the progressive management of water from the headwater of every basin. These are generally dykes and infrastructures that laminate the runoff flow and retain significant volumes that would otherwise build up in the lower part of the basins, as well as suitable management of forest masses. Hence the importance of the work of forestry engineers in managing water resources and aquifer recharge (MAR).

This is a solution especially designed for subbasins in the Mediterranean Arc, where floods are a common phenomenon.

The most effective features are those that have been introduced and forest management, the combination of which enables aquifer recharge and reduces the build-up of volume flow. Grupo Tragsa has proven experience in building these, especially in the Community of Valencia region and Andalusia.

According to studies carried out in the context of the DINA-MAR project, aquifer recharge located below forests is greater than that in barren areas with similar precipitation. This fact does not seem to be attributable to features "caused by man", but rather to a natural mechanism.

Management of runoff water

When the terrain gets saturated and cannot retain rainwater, the latter is moved by gravity towards the watercourses and can come to have catastrophic effects.

Suitable forestry management can retain a large part of this water in aquifers. Some examples are:



Catastrophic watercourse flood in a town in south-eastern Spain (1960s). This torrential event affected the whole south-east, caused human and material losses, and washed cubic hectometres of water to the sea, paradoxically in an area with endemic problems of drought. (Photograph courtesy of ICONA).

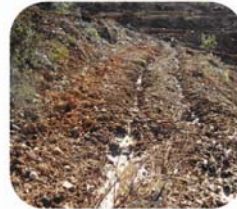
1.- Repopulation and sylviculture for deep artificial recharge in suitable areas.

- Creation of forest masses with a diversity of species adapted to the conditions of the ground, with low water consumption and various strata that foster infiltration.

2.- Mechanical preparation of the soil to encourage infiltration.

For forest areas above aquifers suitable for artificial recharge:

- Creating furrows that favour infiltration and decrease surface runoff.
- Enabling planting and growth of plants.



The creation of contoured furrows or ditches reduces water erosion and increases the time that the water remains on the hillside, fostering natural infiltration, aquifer recharge and the growth of plants put in place. (Photo: TRAGSATEC).

3.- Countryside arranged for aquifer recharge.

A technique applied in Switzerland with good results. This involves diverting part of the water from a river to the interior of a forest arranged for recharge, by means of suitable species and certain work carried out on the ground.

4.- Restoration and maintenance of terraced land.

Terraces are structures that encourage cultivation on hillsides. They have been used since antiquity, and have allowed mankind to extend cultivated areas and help recharge aquifers. Their high degree of abandonment can be mitigated by forest repopulation.



Terraced hillside. A large amount of this corrective work has today been abandoned. Maintaining them and repopulating forests encourages use to be made of runoff waters. Morella (Castellón). (Photo: TRAGSATEC).

5.- Making use of runoff waters.

One of the activities most used in hydrological-forestry correction work is the creation of dykes and dry-stone walls in ravines and watercourses. This work is usually done for other purposes (lamination, retention, consolidation), but it usually also acts as infrastructure to infiltrate the water.



Dyke in a torrent in Sierra Nevada (Granada). It laminates the peak flow volume and increases infiltration (Photo: TRAGSATEC)

The main drawback is the suspended sediments, which clog up the ground and thereby decrease the infiltration rate. This problem is reduced with reforestation of the basin from which the flow comes and by installing dykes in series, which prolongs its useful life.



Dyke in a saltwater torrent (Lanjarón, Granada) during its construction in the 1950s (photo courtesy of ICONA) and today (Photo: TRAGSATEC). The presence of the dyke has encouraged the development of a very valuable ecosystem.

In addition, a positive effect is produced on the vegetation, enabling a diverse and valuable ecosystem to develop.

Other examples of work to manage the runoff waters are:

- Collection of water by means of making surfaces impermeable, which is diverted to storage tanks (such as those used in forest fires).

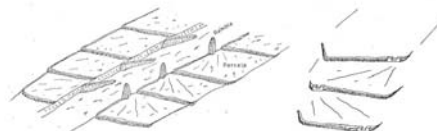


Drainage ditch on a hillside. The collection of rainwater reduces erosion and enables greater use of the runoff water. Navarre. (Photo: TRAGSATEC).



Small dam to reserve water in Cabañeros. (Photo: TRAGSATEC).

- Small dams in river watercourses, acting as small reservoirs for lamination and infiltration.
- Reservoir pools to collect water at the foot of the hillside.
- Ridge gaps: These are long ridges that divert part of the volume flow during a flood and guide it towards



Sketch of ridge gaps in a "rambla" and earth-weed banks. The lines show the path of the water (Taken by Ecología Fuera de Serie. ICONA. 1990).

cultivated plots. They are commonly used in "ramblas" (natural watercourses to the sea) and are one of the oldest features in Spain for artificial recharge.

- Earth and weed bank jams: These re-dam runoff water by means of earth ridges perpendicular to the river bed, and which have side overflows.

Moreover, forest formations and their proper management have another series of positive influences on both surface and underground water, such as:

- A greater increase in water quality, which in turn means lower treatment costs and greater health guarantees.
- Conservation of wetland ecosystems with the ecological rewards of this, conservation of biodiversity, prevention of marine intrusion and other problems of pollution, maintenance of the landscape, and as a consequence, greater recreational and cultural worth.

Conclusions

The control of runoff and the management of cloudy waters have become established as measures in mitigating water management.

The infrastructures in forestry basins and along the watercourses, as well as reforestation of recharge areas and their proper management, lead to an increase in the amount of underground water that recharges the aquifers and the availability of water in the affected area. Equally, this forest management fosters many more positive than negative effects in environmental quality.



Contact

Carlos Copano
Tel. +34 913 226 200
dina-mar@tragsa.es
www.dina-mar.es



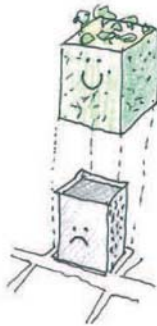
THE MANAGEMENT OF AQUIFER RECHARGE IN URBAN HYDROGEOLOGY. SUDS: SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS

Definition

Sustainable Urban Drainage Systems are systems that recuperate the natural cycle of water in cities.

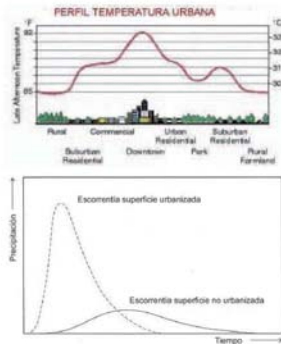


Impermeable city.

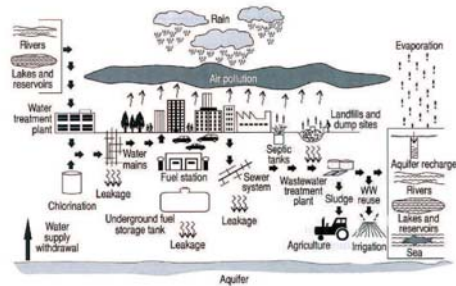


Problems

The introduction of buildings and urban development entail a negative effect on the territory. The progressive impermeabilisation of the terrain causes great hydrological changes and means large investment in infrastructures to channel and treat the water collected.



The natural cycle of water consists of various phases: evaporation, condensation, precipitation and infiltration. All of these are of vital importance for the water to maintain stable levels of life and to enable the development of a healthy territory. The urban water cycle, on the other hand, has abandoned the original paths of the place and this causes economic and environmental problems that are difficult to solve:



Urban water cycle.

Heat Island effect

The impermeabilisation of urban surfaces: roads, pavements, car parks, roofs and so on cause a temperature rise of up to 6 °C in city centres.

Runoff build-up

Impermeable urban surfaces cause a quick build-up of water from precipitation in short spaces of time, resulting in highly pollutant floods that are difficult for the urban sanitary and sewer network to absorb.



Classification

Sustainable urban drainage systems must be understood to be components in a management chain and not isolated features capable of treating the water individually.

This chain of management includes preventative action, management at the origin, management of transport, and management in the treatment prior to the definitive infiltration, and this leads to the following classification:

MANAGEMENT AT THE ORIGIN

Provides attenuation for the runoff , returning the water to the natural drainage system.

Permeable surfaces: Devices that have a volume of permeable material below ground to store surface water

Filter strips and swales: Vegetated surface or long swallow channels features that drain water evenly off impermeable areas.

Infiltration devices: drain water directly into the ground

Green Roof: The vegetated surface provides a degree of retention, attenuation and treatment of rainwater, and promotes evapotranspiration.



Permeable surface.



Filter ditch.



Green roof.



Infiltration tank.

PERMEABLE TRANSPORT SYSTEMS

These transport runoff water slowly, enabling filtration, storage, infiltration, and even evaporation and oxygenation.

Filtering drains: ditches covered with geotextile material and filled with gravel.

Green ditches: channels with grass planted, which guide the runoff water from the drainage surfaces to a storage system or to a connection with the existing sewer system.



Filter drainage.



Green swale.

PASSIVE TREATMENT SYSTEMS

Eliminating and decomposing water pollutants at the end of the treatment process:

Filtering strips: sections of terrain with vegetation and a slight slope designed to receive and filter the layer of runoff by trapping solids and oils.

Detention tanks: depressions designed to slow up the

runoff from storms for a few hours and allow for sedimentation of the suspended solids

Retention pools: depressions in the land with a permanent volume of water

Artificial wetlands: extensive areas of shallow water with typical marsh or natural wetland vegetation.



Filter strip.



Artificial wetland.



Detention tank.



Retention pool.

PREVENTATIVE MEASURES

Aimed at achieving good practices in cities:

Minimising surface runoff in cities.

Draining towards green areas instead of diverting the water to the sewers.

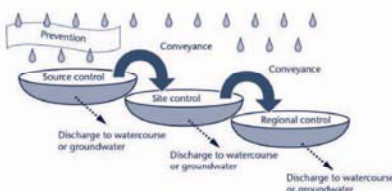
Collecting rainwater for later use: irrigation, cisterns, washing machines...

Keeping the city clean regularly.

Creating awareness about sources of pollution: workshops, hospitals, etc.

Minimising the use of herbicides and fungicides in parks.

Education about the agents involved in designing and maintaining Cities.



Applications

The Tragsa group has begun to introduce these techniques in projects being carried out, thereby improving the environmental quality of cities.



Contact

Ignacio Prieto Leache
Architect

Tel. +34 913225493 iprl@tragsa.es
www.dina-mar.es



MAR-MOVIE MANAGED AQUIFER RECHARGE DOCUMENTARY

From the earliest of times, water has been a constant concern for man, considered to be a gift from the gods. Present in various cultures and religions: Inca, Egyptian or Greek, in which Ganymede, the water bearer to the gods, was immortalised in the constellation of Aquarius. The use of water appears in war and in agriculture, ideas represented by the Etruscans as Maris and subsequently MAR-s

Managed
Aquifer
Recharge

"Managed Aquifer Recharge"

It is an ancient technique with biblical reviews.

Back in the 12th century the Moors in the Alpujarras, in the southern foothills of Sierra Nevada, were already striving to store the water from the thaw in the aquifers, so that water would be available months later in fountains and wells "downstream", this being an example of integral water management known as "careo" canals.



Careo by derivations of the channel Los Llanillos, Sierra Nevada (Spain).

The Inca civilisation also used water from the thaw in the Andes for irrigation in a similar way, another pre-Columbian water management system known as "amunas".

Other ancient civilisations have used drainage tunnels to capture water and recharge aquifers, known as "qanats" (word whose origin is Iranian), the use of which has spread to all continents.



Today, managed aquifer recharge is a widespread practice for increasing the availability of water resources and improving their quality, although its level of implementation varies considerably from one country to another.

Advantages of the MAR technique

- Alleviating fluctuations in the resources available and reducing the loss through evaporation
- Reusing and managing the regenerated water, improving its quality
- Increasing the reserves available
- Combating salt water intrusion by means of positive hydraulic barriers



Recharge channel in Santiuste, Segovia (Spain).



Dam for MAR on the river Pirón, Shire of Carracillo, Segovia (Spain).

- Water regeneration or the regeneration of wetlands.



National Park of Tablas de Daimiel, Ciudad Real (Spain).



Laguna de la Iglesia wetland, Segovia (Spain).

- Other proven uses are the prevention of geotechnical problems, irrigation, water supply, energy production, mitigate the effects of the "gota fría" phenomenon and flooding, mine drainage and alleviate some of the effects of climate change.

- Increased water infiltration in urban areas is obtained by applying Sustainable Urban Drainage Systems or SUDS.
- Etc.



SUDS in Gomeznarro Park, Madrid (Spain).

Disadvantages of the MAR technique

- The need for detailed studies in order to prevent any potential repercussions.
- Effects on the unsaturated zone of aquifers such as an increase in the concentration of air, swelling, collapse, etc.
- Socio-economic and political problems that can lead to conflict.
- Etc.

Within this context, there are international initiatives for promoting this technique, with a view to achieving the UN Millennium Goals.



The MAR-NET projects (IAH-UNESCO), which includes DINA-MAR, are indicative of the adequacy of the managed aquifer recharge to alleviate the problem of water supply

MAR-NET

MAR-NET was designed to raise awareness of the advantages and disadvantages of the MAR technique, to support initiatives and promote technical support, the dissemination and transfer of technology, with a particular focus on developing countries.

A dissemination strategy was created for this purpose. Some of its key messages aimed at different groups of people are:

- MAR: A feasible, cheap and simple solution to alleviate the problem of the lack of water.
- It is a technique with low environmental impact and which alleviates the effects of climate change.
- Recharged aquifers: a supply solution for the future.
- Another method of storage is possible.



Demonstration sites

Certain “demonstration sites” have been proposed to UNESCO as places that are examples of this technique, with a view to dissemination. One example are the devices at Santiuste and Carracillo in Segovia, through which “hydrogeological routes” called “Caminitos de agua” (little paths of water) run, enabling the theoretical knowledge of the technique to be complemented with various practical examples of devices.



Informative panel / Field guide “Caminitos de Agua”

In short:

- It is a complementary water management technique that fits in well with the integral management schemes, offering more advantages than disadvantages and constituting the only feasible technique for certain sectors; it can be implemented easily in numerous aquifers, especially in developing countries.
- It is also a “driving force” in influencing the quantity and quality of water masses.
- Alleviating the effects of climate change appropriate for environmental purposes.
- Leaves room for innovation and for the development of R&D&I projects.
- Enables people to become involved in water management through a shared responsibility approach.
- The technique alone is not capable of solving certain problems of water management, but it does reduce their consequences as it is being implemented.

“The key is storage”, for the sake of future generations!!



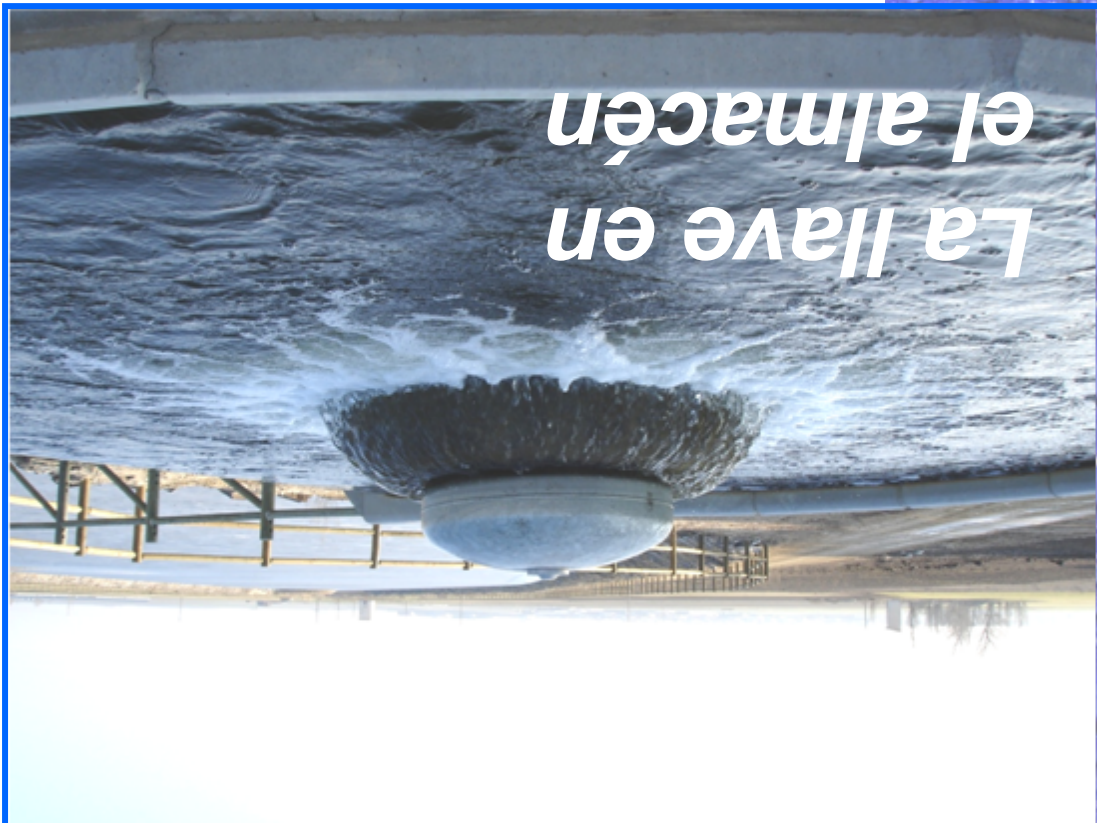
Nuestro compromiso,
el tuyo,
el de todos.

CONTACT

For more information contact:
dina.mar@tragsa.es

RECHARGEABLE SUSTAINABILITY:





La llave en el almacén

SOSTENIBILIDAD: RECARGABLE:



Inconvenientes de la técnica MAR

- La necesidad de estudios de detalle para prevenir impactos potenciales.
 - Efectos en la zona no saturada de los acuíferos como el aumento de la concentración de aire, hinchamientos, colapsos, etc.
 - Problemas socioeconómicos y políticos que pueden derivar en conflictos.
 - Etc.
- En este contexto hay iniciativas internacionales para el fomento de esta técnica, en aras de cumplir los objetivos del milenio de la ONU.



Los proyectos de MAR-NET (IAR-UNESCO), donde se incluye DINA-MAR, son demostrativos de la idoneidad de la gestión de la recarga de acuíferos para paliar la problemática por el abasamiento del agua.

Red de trabajo: MAR-NET

- Se ha concebido para dar a conocer las ventajas e inconvenientes de la técnica MAR, apoyar iniciativas y fomentar el apoyo técnico, la difusión y la transferencia de tecnología, con especial atención hacia países en vías de desarrollo.
- Para ello se ha planteado una estrategia de difusión. Algunos de sus mensajes clave dirigidos a distintos grupos de población son:
- MAR: Solución paliativa del problema de la escasez de agua viable, barata y sencilla.
 - Se trata de una técnica de bajo daño ambiental y paliativo del cambio climático.
 - Acuíferos recargados: solución de abastecimiento para el futuro.
 - Otra forma de almacenamiento es posible.



Nuestro compromiso, el tuyo, el de todos.

CONTACTO
Para más información contactar con:
dina.mar@tragsa.es



- Permite la participación de la población en la gestión del agua desde el enfoque de la "responsabilidad compartida".
 - La técnica, por sí sola, no puede resolver algunos problemas de gestión hídrica, pero sí reducir sus consecuencias a medida que se vaya implantando.
 - Cabe destacar, como conclusión, que... "la clave es el almacenamiento", por el bien de las generaciones venideras!
- Da amplia cabida a la innovación y al desarrollo de proyectos de I+D+i.
- Permite la participación de la población en la gestión del agua desde el enfoque de la "responsabilidad compartida".
- La técnica, por sí sola, no puede resolver algunos problemas de gestión hídrica, pero sí reducir sus consecuencias a medida que se vaya implantando.
- Cabe destacar, como conclusión, que... "la clave es el almacenamiento", por el bien de las generaciones venideras!



Panel divulgativo / guía de campo "Comités de Agua"

Lugares demostrativos

Algunos lugares demostrativos (*demonstration sites*) han sido propuestos a la UNESCO como lugares ejemplares de esta técnica, de cara a la difusión. Como ejemplo destacan los dispositivos de Santuste y Carracillo en Segovia, por donde discurren unas "rutas hidrogeológicas" llamadas "Comités de Agua", que permiten complementar el conocimiento teórico de la técnica con varios ejemplos prácticos de dispositivos.



MAR-NOVIE, DOCUMENTAL DE LA GESTIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS

Ventajas de la técnica MAR

- Suavizar fluctuaciones en los recursos disponibles y reducir las pérdidas por evaporación
- Reutilizar y gestionar las aguas regeneradas mejorando su calidad
- Incrementar las reservas disponibles

• Combatir la intrusión marina con barreras hidráulicas positivas



Canal de recarga en Santuste, Segovia.

Fresa para M.A.R. en el río Pisuerga, Comarca del Caraculo, Segovia.



Parque Nacional de Tablas de Daimiel, Ciudad Real.

Laguna de la Iglecia, Segovia.

- Otros usos son la prevención de problemas geotécnicos, el regadío, el abastecimiento, la producción energética, paliar los efectos de "gotas frías" e inundaciones, el drenaje de explotaciones mineras y paliar algunos de los efectos del cambio climático.
- El incremento de la infiltración del agua en zonas urbanizadas se obtiene mediante la aplicación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible o SUDS.



SUDS en el Parque Gomezzarzo, Madrid

• Etc.

Desde tiempos remotos, el agua ha sido una preocupación constante para el hombre, considerada un don de los dioses. Presente en varias culturas y religiones, como la inca, egipcia o griega, en la que Ganimedes, aguador de los dioses, fue immortalizado en la constelación de Acuario. El uso del agua aparece en la guerra y la agricultura, ideas representadas por los etruscos como Marts y posteriormente "MAR"-te, por analogía

Managed Aquifer Recharge

"Managed Aquifer Recharge" o "Gestión de la Recarga de Acuíferos"

Se trata de una técnica ancestral con resacas incluso bíblicas.

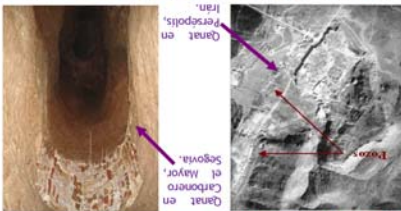
Ya en el siglo XII los moriscos de las Alpujarras, en la falda sur de Sierra Nevada, almacenaban el agua del deshielo en los acuíferos, para meses después disponer de ella en fuentes y pozos, sistema conocido como "careos".



Careo por derivaciones de la acequia de Los Lantillos, Sierra Nevada.

Así mismo, la civilización inca utilizó el agua del deshielo hidrúca conocido como "amunas".

Otras antiguas civilizaciones han utilizado galerías dianaes para la captación de agua y recarga de origen acuíferos, conocidas como "ganats", palabra de origen iraní, cuya expansión ha alcanzado todos los continentes.



Actualmente, la gestión de acuíferos se practica de manera generalizada para incrementar los recursos hídricos y mejorar su calidad, si bien su implantación varía de unos países a otros.

SISTEMAS DE CONTROL EN ORIGEN

Evitan la escorrentía superficial y recuperan la capacidad de infiltración original.
 Superficies permeables: Superficies que permiten el paso directo del agua al terreno
 Pozos y zanjas de infiltración: perforaciones rellenas de material granular que recogen y almacenan el agua de escorrentía para su infiltración.
 Depósitos de infiltración: depresiones del terreno vegetadas diseñadas para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en superficies contiguas.
 Cubiertas vegetales: cubiertas de edificaciones con plantaciones y sustrato que retienen el agua.



SISTEMAS DE TRANSPORTE PERMEABLE

Transportan lentamente el agua de escorrentía permitiendo la filtración, el almacenamiento, la infiltración e incluso la evaporación y oxigenación.
 Drenes filtrantes: zanjas recubiertas de material geotextil y rellenas de grava.
 Cunetas verdes: canales vegetados con hierba, que conducen el agua de escorrentía desde las superficies de drenaje a un sistema de almacenaje o a una conexión con el alcantarillado existente.



SISTEMAS DE TRATAMIENTO PASIVO

Eliminar y descomponer los contaminantes del agua al final del proceso de tratamiento:
 Franjas filtrantes: sección de terreno vegetado con leve inclinación diseñada para recibir y filtrar la lámina de escorrentía atravesando sólidos y aceites
 Depósitos de detención: depresiones diseñadas para frenar

Aplicaciones

El grupo Tragsa ha comenzado a implantar estas técnicas en los proyectos desarrollados, mejorando de este modo la calidad urbana medioambiental.

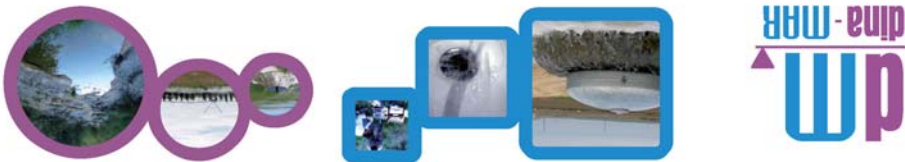


MEDIDAS PREVENTIVAS
 Destinadas a alcanzar buenas prácticas urbanas: Minimizar la escorrentía superficial en la ciudad.
 Drenar hacia zonas verdes en vez de derivar el agua a alcantarillado.
 Recoger pluviales para uso posterior: riego, cisternas, lavadoras...
 Mantener la ciudad limpia de modo periódico.
 Concientización de fuentes contaminantes: talleres, hospitales...
 Minimizar el uso de herbicidas y fungicidas en parques.
 Educación de los agentes implicados en el diseño y mantenimiento de la Ciudad.



CONTACTO
 Ignacio Prieto Leache
 Arquitecto
 Tel. +34 913225493 ipri@tragsa.es
 www.dina-mar.es





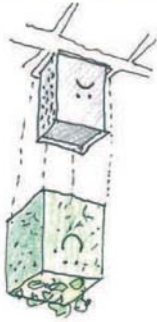
LA GESTIÓN DE RECARGA DE AGUÍFEROS EN HIDROLOGÍA URBANA. SUDS: SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

Definición

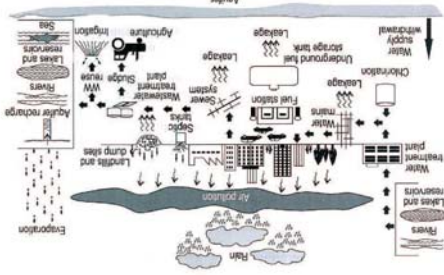
Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible son sistemas que recuperan el ciclo natural del agua en la ciudad.



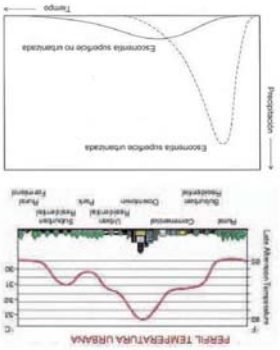
Problemática



Ciclo urbano del agua.



La implantación de edificaciones y urbanizaciones suponen un impacto negativo en el territorio. La progresiva impermeabilización del terreno provoca profundas alteraciones hidrológicas y supone grandes inversiones en infraestructuras de canalización y depuración del agua recogida.



El ciclo natural del agua consta de varias fases: evaporación, condensación, precipitación e infiltración. Todas ellas son de vital importancia para que el agua mantenga los niveles de vida estables y permita el desarrollo de un territorio sano. El ciclo urbano del agua, por su parte, ha abandonado las trazas originales del lugar y provoca problemas económicos y medioambientales de difícil solución:

Dicha cadena de Gestión comprende actuaciones de prevención, gestión en origen, gestión en el transporte y gestión en el tratamiento previo a la infiltración definitiva, y conduce a la siguiente clasificación:

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible deben entenderse como componentes de una cadena de gestión y no como elementos aislados capaces de resolver el tratamiento del agua de modo individualizado.

Clasificación



Las superficies urbanas impermeables provocan una rápida concentración del agua precipitada en breves lapsos de tiempo, obteniéndose como resultado inundaciones y avenidas altamente contaminadas y difícilmente absorbibles por las redes urbanas de saneamiento y alcantarillado

Concentración de escorrentías:

La impermeabilización de las superficies urbanas: vales, aceras, aparcamientos, cubiertas... provoca un incremento de la temperatura de hasta 6 °C en el centro de las ciudades.

5.- Aprovechamiento de las aguas de escorrentía.

Una de las actuaciones más utilizadas en los trabajos de corrección hidrológico-forestal es la ejecución de diques y albarradas en los barrancos y cauces. Dichas obras, si bien se construyen normalmente con otros fines (laminación, retención, consolidación), suelen servir también como infraestructuras para infiltrar las aguas.



Dique en un torrente de Sierra Nevada (Granada). Lamina el caudal punta y aumenta la infiltración (Foto TRAGSATEC).

El inconveniente principal son los sedimentos en suspensión, que colmatan el suelo disminuyendo la tasa de infiltración. Este problema se reduce con la reforestación de la cuenca vertiente y la instalación de diques en serie, que prolongan su vida útil.



Dique en el torrente Salado (Lanjarón, Granada) durante su construcción en los años 50 (foto por cortesía del ICONA) y en la actualidad (Foto TRAGSATEC). La presencia del dique ha favorecido el desarrollo de un ecosistema muy valioso.

Además generan un efecto positivo sobre la vegetación, permitiendo el desarrollo de un ecosistema diverso y valioso.

Otras obras para la gestión de las aguas de escorrentía son: - Recogida de agua por impermeabilización de superficies, que son desviadas hacia depósitos de almacenamiento (como los empleados en los incendios forestales). Zanja de drenaje en una ladera. La recesión del agua de lluvia a provee el crecimiento de la escorrentía. Nevada. (Foto TRAGSATEC).



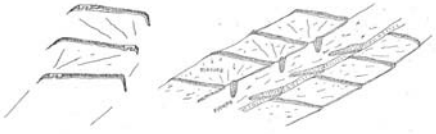
contacto
Carlos Copano
Tel. +34 913 276 200
dina-mar@tragsa.es
www.dina-mar.es

El control de la escorrentía y la gestión de las aguas turbias se han consolidado como medidas de gestión hidrológica. Las infraestructuras en las cuencas forestales y a lo largo de los cauces, así como la reforestación de áreas de recarga y su gestión adecuada, suponen un incremento en la cantidad de agua subterránea que recarga los acuíferos y en la disponibilidad hídrica en la zona afectada. Además de esto, la gestión forestal genera otros efectos positivos en la calidad ambiental.

Conclusiones

y constituyen uno de los elementos más antiguos de España para la recarga artificial. - Atcochadas: Consisten en represar el agua de escorrentía por medio de caballos de tierra, transversales a la vaguada, y que disponen de aliviaderos laterales. Además, las formaciones boscosas y su correcta gestión ejercen otra serie de influencias positivas sobre las aguas, tanto subterráneas como superficiales, tales como: - Mayor aumento de la calidad de las aguas, lo que a su vez supone menores costes de depuración y mayor garantía sanitaria. - Conservación de ecosistemas húmedos, con su beneficio ecológico, conservación de la biodiversidad, impedimento a la intrusión marina y otros problemas de contaminación, mantenimiento del paisaje, y, por ende, un mayor valor recreativo y cultural.

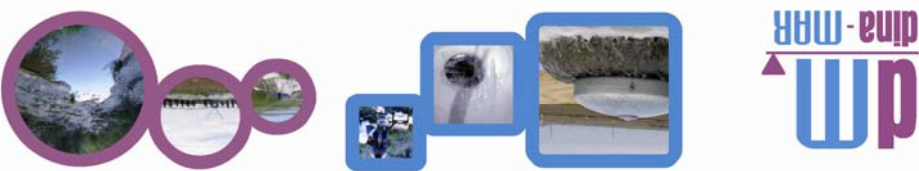
Croquis de boqueras en una rambla y de atcochadas. Las líneas negras el recorrido de las aguas (tomados de Ecología Fuera de Serie, ICONA, 1990).



- Pequeñas presas en cauces fluviales, a modo de pequeños embalses de laminación e infiltración. - Balsas de recogida de agua a pie de ladera. - Boqueras: Son unos largos caballos que derivan parte del caudal durante una avenida y lo conducen hacia las parcelas de cultivos. Su uso es muy común en las ramblas



Pequeña presa para embalsar agua, en Cabaleros. (Foto TRAGSATEC).



LAS TÉCNICAS PALIATIVAS EN LA GESTIÓN HÍDRICA INTEGRAL. EL CASO DE LA RECARGA ARTIFICIAL EN CUENCAS FORESTALES Y TÉCNICAS DE GESTIÓN DE MASAS VEGETALES PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA

Antecedentes

Hay un grupo de técnicas de gestión hídrica poco conocidas denominadas "paliativas" (contribuyen a paliar los picos en la demanda), pero de enorme importancia para la gestión progresiva del agua, desde la cabecera de cada cuenca. Generalmente se trata de diques e infraestructuras que laminan la escorrentía y retienen importancias que, de otro modo, se concentrarían en la parte baja de las cuencas; así como la adecuada gestión de las masas forestales. De ahí la importancia de la labor de los ingenieros de montes y forestales en la gestión de los recursos hídricos y en la gestión de la recarga de los acuíferos (MAR).

Se trata de una solución especialmente diseñada para las subcuencas del arco Mediterráneo, donde las inundaciones son un fenómeno habitual. El elemento más efectivo son los elementos introducidos y la gestión forestal, cuya combinación permite recargar los acuíferos y disminuir el caudal de concentración. En su construcción el Grupo Tragsa tiene una consolidada experiencia, en especial en el ámbito de la comunidad Valenciana y Andalucía.

Según estudios realizados en el marco del proyecto DINAMAR, la recarga de los acuíferos situados bajo bosques es superior a la habida en zonas yermas con precipitaciones similares. El hecho no parece atribuible a elementos "del hombre", parece más bien un mecanismo natural.

Cuando el terreno se satura y no retiene el agua de lluvia, ésta se mueve a favor de la gravedad hacia los cauces, y puede alcanzar efectos catastróficos. Una adecuada gestión del monte puede retener gran parte de esta agua en los acuíferos. Algunos ejemplos son:



Avivada catastrófica en una población del sureste español (años 60). Este episodio torrencial afectó a todo el sudeste, generó pérdidas humanas y materiales y llevó al mar hectómetros cúbicos de agua, paradójicamente en una zona con problemas endémicos de sequía. (Fotografía por cortesía del ICONA).

1.- Repoblaciones y selvicultura para la recarga artificial en profundidad en zonas proclives.

- Creación de masas con diversidad de especies adaptadas a las condiciones del suelo, con bajo consumo de agua y varios estratos que favorezcan la infiltración.

2.- Preparación mecanizada del suelo para favorecer la infiltración.

Para zonas forestales sobre acuíferos susceptibles de recarga artificial:

- Crear surcos que favorezcan la infiltración y disminuyan la escorrentía superficial.
- Facilitar la implantación y desarrollo de las plantas.



La realización de surcos o zanjas de contorno reducen la erosión hídrica y aumentan el tiempo de permanencia del agua en la ladera, favoreciendo la infiltración natural, la recarga de los acuíferos y el desarrollo de la plantación. (Foto TRAGSATEC).

3.- Montes ordenados para la recarga de acuíferos.

Técnica aplicada en Suiza con buenos resultados. Consiste en desviar parte de las aguas de un río hacia el interior de adecuadas y determinadas labores en el suelo.

4.- Restauración y mantenimiento de bancales.

Los bancales son estructuras que favorecen el cultivo en las laderas. Usados desde antiguo, han permitido al hombre extender sus áreas cultivadas y contribuir a la recarga de los acuíferos. Su alto grado de abandono puede paliarse mediante su repoblación forestal.



Ladera abandonada. Gran cantidad de estas obras de corrección están hoy día abandonadas. Su mantenimiento y repoblación forestal facilitan el aprovechamiento de las aguas de escorrentía. Morilla (Castellón). (Foto TRAGSATEC).

Los humedales ofrecen beneficios, además de brindar valores a través de sus recursos, como son: Agua, madera, fibras, peces, crustáceos, suelos muy productivos, plantas medicinales, vida silvestre, etc.

Además estas zonas pueden servir como medio de transporte y como ímanes para atraer el turismo.

Para la salud humana cabe destacar la provisión de alimentos, a ser ecosistemas de gran productividad; y de productos farmacéuticos, al poseer el agua y los lodos propiedades medicinales. También funcionan como filtros o trampas para algunos microorganismos patógenos. Además aportan bienestar mental, ocio y cultura, lo que les confiere un alto valor contingente.

Restauración de humedales mediante la gestión de su recarga en España

En España ha habido escasas experiencias de regeneración hídrica de humedales. Entre ellas podemos citar las llevadas a cabo en el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel desde la década de los ochenta. La salvaguarda del humedal ha sido posible gracias a la recarga artificial desde ocho sondeos, que ha permitido su supervivencia en un acuífero declarado sobreexplotado.

En el acuífero de los Arenales, en 2004, se iniciaron labores de regeneración hídrica de humedales del Complejo Coca-



Las Tablas de Daimiel han contado con ocho sondeos para su regeneración mediante gestión de la recarga desde los años 80

Olimedo (Laguna de la Iglesia y de las Eras), en Segovia, Valladolid, con aguas del dispositivo de recarga artificial de la Cubeta de Santuste.

Así mismo en la comarca del Carracillo se está regenerando la Laguna del Señor, con aguas de recarga artificial.

El proceso, todavía incipiente, presenta muchas más ventajas que inconvenientes, según denotan los indicadores de seguimiento. Por ejemplo, se ha conseguido preservar bacterias halófilas endémicas en este Complejo.

Todos estos ejemplos han contado con la activa participación de la empresa pública Tragsa.



Para más información contactar con:
Enrique Fernández Escalante
Tel. +34 913 226 106
dina-mar@tragsa.es
www.dina-mar.es

CONTACTO

Estas actuaciones deben buscar la coherencia ecológica, paisajística, territorial, social e institucional.

generados.

lo que constituye una buena inversión vistos los beneficios

En definitiva, la aplicación de estas técnicas requiere estudios técnicos de gran detalle, con su consecuente coste económico,

- Mejora de la gestión de los recursos
- Reducción de los descensos del nivel del agua producidos por el bombeo
- Mejora cualitativa de las aguas
- Depuración de vectores patógenos

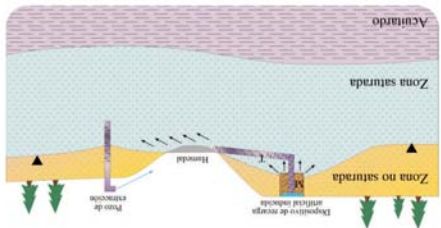
Mejoras de la gestión de los recursos
Reducción de los descensos del nivel del agua producidos por el bombeo
Mejora cualitativa de las aguas
Depuración de vectores patógenos

Para apreciar los cambios se ha diseñado un sistema de indicadores ambientales, relativos a la identificación de impactos, al estudio de la temporalidad y a la intervención y actuación llevadas a cabo. Cabe destacar los siguientes impactos positivos.

Analizando los resultados obtenidos al aplicar la recarga artificial inducida, se puede decir, que el estado ecológico ha mejorado, ya que se ha conseguido que el agua de recarga artificial se asemeje químicamente a las aguas originales de las lagunas. Para que esta calidad se mantenga sería aconsejable que se aplique alguna figura de protección.

Resultados de las experiencias

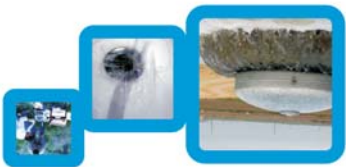
Diseño genérico de un dispositivo de recarga artificial inducida para aumentar la salinidad de las aguas de recarga artificial hasta alcanzar unas características similares a las aguas de la zona. Se regula la superficie de terreno, precipitado por el ascenso de flujos subterráneos profundos



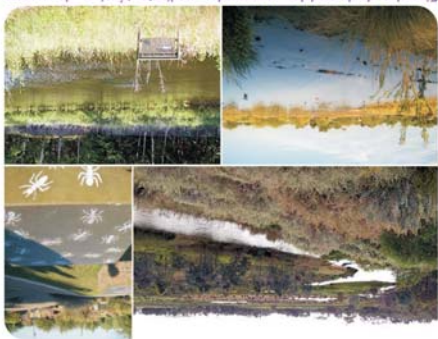
Para conseguir una adecuada regeneración hídrica, se necesita simular el flujo subterráneo natural, y así conseguir trayectorias artificiales parecidas. Es preciso estudiar la solubilidad de los materiales y el paso del agua a través del acuífero y los procesos de interacción.

Laguna del Señor en Gomezserracín, comarca del Carracillo, Segovia

LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS Y LA REGENERACIÓN HÍDRICA DE ZONAS HÚMEDAS DEGRADADAS



La situación de los humedales en España había alcanzado un estado crítico a lo largo del siglo XX, ya que su extensión se había reducido en un 60% (MOPMA, 1990 y 1995, Casado y Montes, 1995). Además la mayoría se encontraba en un estado bastante modificado.



Ejemplos de humedales regenerados mediante técnicas de recarga artificial de acuíferos en Bolívar, Adelaida (Sur Australia), Phoenix, Arizona (USA) y Spandau, Berlín (Alemania).

Las principales causas han sido la sobreexplotación de acuíferos, la repoblación forestal y la creciente urbanización.



Desde que España ratificara en 1982 el Convenio Internacional RAMSAR (1971), y ayudado por la Ley 4/1989 de Fauna Silvestre, se ha fomentado la conservación de los humedales mediante diversas técnicas, entre las que cabe destacar la recarga artificial de acuíferos.

Este sistema se viene aplicando en otros países desde hace décadas, como muestran los ejemplos de Adelaida, Arizona y Berlín, en general mediante recarga artificial inducida.



↙ Laguna de la Iglesia (SG-1), catalogada de interés especial por la Junta de Castilla y León

→ Fotografías de 2004 y de 2007 tras dos años de regeneración hídrica mediante operaciones de recarga artificial de acuíferos

La necesidad de recuperación queda justificada por el gran valor ambiental que presentan las zonas húmedas y su elevada biodiversidad. Sirven como sumideros de carbono, estabilizan el clima, regulan el ciclo hidrológico y los ciclos hidrológicos, tienen capacidad depuradora y moderan el efecto de las inundaciones. Además una gran parte presenta gran hidrodependencia con los acuíferos, incidiendo en su nivel freático.

Solo el acuífero Terciario Detrítico de Madrid tiene una capacidad de almacenamiento (unos 11.000 hm³) que dobla la de todos los embalses de la cuenca del Tago: 5.709 hm³ (Hispania, 2005).

El principal inconveniente que las técnicas de MAR presentan es la falta de conocimiento y difusión de estas técnicas y su escasa andadura en España.

Actualmente el Grupo Tragsa lleva a cabo una serie de ensayos piloto en Santuzte 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 hm³ en el acuífero de los Arenales mediante técnicas MAR.

Reutilización

La utilización sucesiva del recurso permite satisfacer más usos con el mismo volumen, incrementando la eficiencia del sistema. Conviene diferenciar entre reutilización directa, en la que el segundo uso se produce a continuación del primero; de la 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.



Escaladora del Cargero T.M. Valverde - El Hierro - Canarias



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 pretratamiento. 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.

Costes de algunos dispositivos MAR actualmente operativos en España	
0,39 €/m ³ (Grupo Tragsa, 2006)	Dispositivo AR superficial Carracillo (Segovia)
0,15 €/m ³ (Grupo Tragsa, 2007)	Dispositivo AR superficial Carracillo (Segovia)



EDAR en Abanca - Almería

En nuestro país la reutilización de aguas residuales permite atender una demanda de 230 hm³/año (83% para riego, el resto se reparte entre usos recreativos industriales, municipales, etc. (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 500/1986 del 15 de marzo. Normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas).

En cuanto a los aspectos económicos de las técnicas alternativas en España, a continuación se presentan algunos ratios de inversión calculados a partir de experiencias 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.

Barridos	
0,45 a 0,90 €/m ³	Ratio dispositivo AR superficial
	Dispositivos
	Presas
	Balsas



CONTACTO

Para más información contactar con:
 Enrique Fernández Escalante
 Tel. +34 91 3 226 106
 dina-mar@tragsa.es
 www.dina-mar.es



TÉCNICAS ESPECIALES DE GESTIÓN DE AGUAS DE ACUÍFEROS Y REUTILIZACIÓN, GESTIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS Y DESALACIÓN, PROS Y CONTRAS

Una línea de investigación recientemente abierta es la desalación utilizando energías renovables



Desaladora solar en Cantabria

Gestión de la recarga artificial de acuíferos (MAR)

Gestión de la recarga de acuíferos o *Managed Aquifer Recharge (MAR)* consiste en un conjunto de técnicas que permiten 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. Existen varios métodos que permiten actuar sobre acuíferos someros, intermedios y profundos.

Requiere un conocimiento detallado del quimismo del agua de recarga, del agua natural del acuífero y de la posible interacción entre ellas.

Las principales ventajas que ofrecen son la eliminación de contaminantes por filtración bioquímica y mecánica, reducción de pérdidas por evaporación, efecto barrera del agua de recarga ante otras de peor calidad y la posibilidad de regeneración de ecosistemas, el ahorro de espacio (el agua se almacena bajo la superficie) y en costes de distribución.

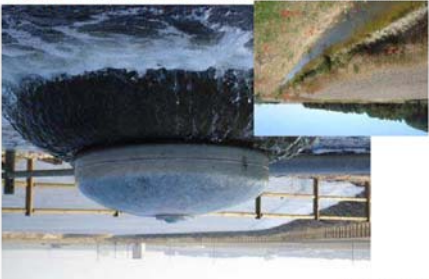
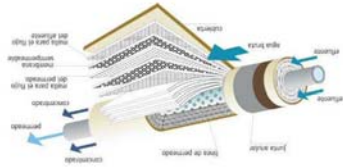


Imagen de la balsa y canal de recarga artificial del dispositivo de la Cabaña de Similité (Segovia)

Desalación, recarga artificial de acuíferos y reutilización son las llamadas "técnicas especiales" de gestión hídrica y constituyen una alternativa o un complemento a las "técnicas convencionales" (embalses y trasvases). La principal ventaja de las técnicas especiales es que en general presentan mayores posibilidades de desarrollo sostenible. En su contra juegan principalmente el bajo conocimiento por parte de organismos e instituciones públicas y la escasa experiencia que existe en nuestro país sobre los pormenores de las mismas.

Desalación

Constituye una alternativa en las zonas costeras. En nuestro país existen en la actualidad más de 900 desaladoras, que producen más de 800.000 m³/día (Ispagua, 2006). Hay diversos procesos de desalación, siendo la ósmosis inversa el más rentable.



Dispositivo de Ósmosis Inversa

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 el elevado coste energético (que supone un factor limitante para muchos usuarios) y la gestión de los residuos (salineras). Según la Asociación Española de Desalación y Reutilización, el consumo energético medio en España durante el 2005 fue del orden de 3 kWh/m³ en agua de mar.

FASE 3: Estudio y diseño de dispositivos específicos para lograr una alta tasa de infiltración

Se apoya en la técnica de escenarios análogos. Actualmente 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

a) MANTENIMIENTO DE CAUDALES ECOLÓGICOS

Se está desarrollando una metodología para establecer qué caudales ambientales deben ser preservados en los cauces fluviales de toma, en función de varios aspectos hidrológicos y ambientales.

b) REGENERACIÓN HIDRICA ELEMENTOS CLAVE

Entre ellos cabe destacar la regeneración hídrica de humedales mediante AR, como es el caso de la experiencia



Lleuada a cabo por la JCL y el Grupo Tragsa en la laguna de la iglesia de Coca (Segovia). Otros aspectos adicionales son la recuperación de manantiales, restauración de sistemas dunares, etc.

c) SUDS

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible favorecen la



Infiltración del agua superficial en las áreas urbanas, y se perfilan como un instrumento a utilizar en un adecuado modelo de gestión medioambiental sostenible.



d) INDICADORES MEDIOAMBIENTALES

En paralelo a la investigación de la técnica se está elaborando una serie de indicadores ambientales que permita obtener una aproximación del efecto real de la posible implementación de las infraestructuras de recarga artificial de acuíferos y criterios de Evaluación de Impacto Ambiental

FASE 5: Educación Ambiental y Divulgación

El proyecto contempla la 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 comunicando material divulgativo específico sobre la gestión de la recarga de acuíferos y creando estrategias de actuación.

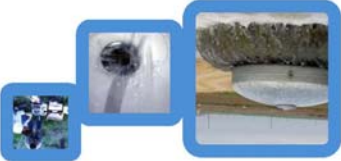


CONTACTO

Para más información contactar con:

Enrique Fernández Escalante
Tel. 913 226 106
dina-mar@tragsa.es
www.dina-mar.es

EL PROYECTO DINA-MAR, GESTIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS EN EL MARCO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE



Se trata de un proyecto de I+D+i financiado por el Grupo Tragsa cuyo objetivo es determinar qué zonas de España son susceptibles para operaciones de recarga artificial de acuíferos (AR) y gestión de la recarga artificial o Managed Aquifer Recharge (MAR), en el marco del desarrollo sostenible y bajo normas de mínimo impacto ambiental.



El proyecto que consta de 5 fases se ha iniciado con un amplio estudio del "estado del arte", especialmente a nivel nacional. Hasta la actualidad, la técnica ha sido escasamente desarrollada. Cabe destacar, además de las actividades promovidas por el MAPA en el acuífero de los Arenales (Segovia), los estudios realizados sobre el tema por el Instituto Geológico y Minero de España y las experiencias en Cataluña.

FASE 1: Determinación de las formaciones geológicas objetivo para la recarga artificial

El proceso de cálculo se apoya en el análisis GIS empleando para ello más de 30 coberturas temáticas ensayando distintos métodos deductivos.

Análisis GIS. Primeros resultados

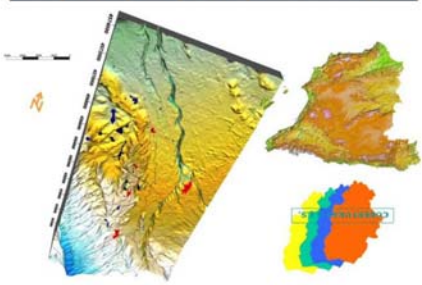
- El área total calculada (España peninsular e Islas Baleares) oscila en el intervalo de 27.000 a 43.000 km² en zonas de acuífero en las inmediaciones de cauces fluviales de cierta entidad, la mayoría con implantación de zonas de regadío con aguas subterráneas.
- El área del terreno susceptible de albergar volúmenes adicionales a los aportados por la recarga natural con uso forestal, generalmente ubicado en las cabeceras de cuenca, es ligeramente inferior a 9.000 km².
- Los terrenos asociados a cauces fluviales o humedales con la misma particularidad del caso anterior alcanzan los 10.500 km²

FASE 2: Establecimiento y control en "Zonas piloto"

Se ha comenzado la toma de datos en continuo en dos zonas piloto, estando 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 (AR).

Resultados preliminares del área susceptible para ser recargada de modo artificial de acuerdo con primer análisis GIS

Nº	CUENCA	Cruce 2 (km ²)	%	Cruce 3 (km ²)	%
1	NORTE II	1	0,01	1473	3,48
2	DUERO	2699	25,95	11113	26,23
3	TALO	973	9,35	5513	13,02
4	GUADIANA I	881	8,47	2972	7,02
4	GUADIANA II	24	0,23	91	0,22
5	GUADALQUIVIR	1406	13,51	3500	8,28
6	SUR	468	4,50	1674	3,95
7	SEGUERA	494	4,74	1633	3,85
8	JUCAR	1224	11,77	5884	13,89
9	EBRO	1822	17,51	6099	15,58
10	C.I. DE CATALUÑA	413	3,97	1910	4,51
TOTAL		10403	100,00	42364	100,00

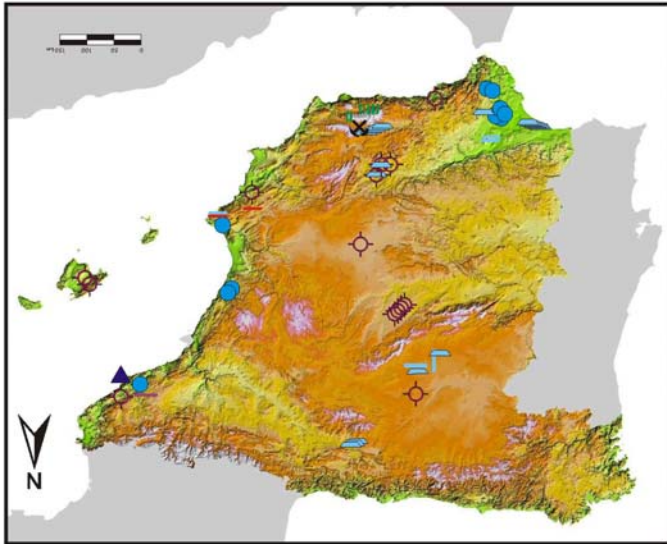


Hasta la fecha ha llevado a cabo el proyecto y construcción de nuevos dispositivos de M&R, en unos casos pozos y sondeos, y otros de gran envergadura destinados al regadío, destacando los dos localizados en la Cúbeta de Santuste y Carratillo (Segovia), promovidos y financiados por la Dirección General de Desarrollo Rural (MAPA) y la Junta de Castilla y León.

Se trata de dispositivos que toman agua del río Eresma y Cega y Piñón, respectivamente, y a través de una tubería

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.

DISPOSITIVOS OPERATIVOS EN ESPAÑA



- Sistemas ASR en Cornelia (AGBAR), pozos y sondeos de infiltración y escarificación/AR del lecho de los ríos Besòs y Llobregat.
- Dispositivos recarga artificial superficial del MAPA (canales y balsas) en las comarcas de Santuste y Carratillo (Segovia).
- Un sondeo profundo del IGM en el valle del Esgueva (Valdadill).
- Tres balsas de infiltración en el aluvial del Río Oja (La Rioja).
- Un sondeo profundo en Madrid del Canal de Isabel II ensayado en 2001 y tres nuevos sondeos operativos en espera de construcción de la CHT.
- Pozos infiltración en la Plana de Castellón y Vall Duxo (Castellón).
- Un sondeo profundo y represas en Jijona, diques y pozos con galerías en el acuífero de Orba y en la cuenca media y alta del río Girona, Vergel-Setla, recarga artificial desde manantiales en Olivereta, balsas de infiltración en el acuífero de Masets-Alcoyes, Torremanzanas, galerías y pozos en la Plana de Gandia-Denia, sector Vergel-Els Poblets y diques en el acuífero de Jávea (Alicante).
- Conducción y ocho pozos de inyección por bombeo en 5ª Estremera (Mallorca).
- Un sondeo profundo en Mancha Real, dos zanjas de infiltración y dos sondeos en Alcañá la Real y un sondeo profundo en Valdepueblas de Jaén (Jaén).
- Cinco balsas de infiltración en la vega y dos balsas en las Dehesas de Guadix, infiltración del agua de drenaje de la mina de Alquífer, al menos 23 aceduias de cauce de origen árabe (siglos XIII a XV) operativas en la actualidad en la falda de Sierra Nevada (Granada y Almería).
- Fosas de infiltración en las calcaeritas de Carmona y pozos y zanjas de infiltración en el Aluvial del bajo Guadalquivir (Sevilla).
- Un sondeo profundo en Marbella (Málaga).
- Pozos rellenos de grava en el aluvial del Guadalquivir (Cádiz).
- Al menos seis balsas de infiltración en Mazagón (Huelva).
- Sondeos profundos experimentales junto al Canal del Guadiana en Alcazar de San Juan (Ciudad Real).

CONTACTO

Para más información contactar con:
 Enrique Fernández Escalante
 Tel. 913 226 106
 dina-mar@tragsatec.es





GESTIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS EN ESPAÑA

Experiencias técnicas

Experiencias en España

En España hay desarrollados varios tipos de dispositivos de recarga artificial. En Cataluña predominan dispositivos de infiltración por pozos y sondeos en el aluvial de ríos, escarificación del lecho e incluso un sondeo de infiltración profunda.



En el resto del 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 de meseta predominan los dispositivos de recarga artificial superficial por canales y zanjas (Segovia). Hay además instalaciones con pozos en el aluvial de ríos (Valladolid, La Rioja).

En Madrid y Castilla-La Mancha las experiencias principales se han realizado mediante sondeos profundos. En Andalucía Central hay sistemas de acequias (carros), drenajes de minas y sondeos; mientras que en la Occidental predominan los pozos y balsas como dispositivos de infiltración inducida.

Experiencia en Europa

Se han inventariado al menos 40 dispositivos y experiencias distribuidos en 18 países. Por citar algunos ejemplos destacables, las ciudades de Dusseldorf y Budapest dependen en un 100% de las aguas de MAR, Berlín en un 75%, etc.

El grupo Tragsa inició su actividad en la década de los 90, planificando y ejecutando obras para recarga artificial en zonas forestales en la cabecera de las cuencas, especialmente mediante diques, cabaliones, etc. El primer dispositivo experimental de MAR fue realizado en 1996 en la cuenca alta del Guadiana, introduciendo aguas al acuífero Z3 mediante sondeos en las inmediaciones de Alcazar de San Juan.



En torno al año 2000 completó el inventario de acequias de caro en el Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada y Almería), georreferenciando 23 acequias y llevando a cabo 36 intervenciones en varios tramos de acequias, al menos siete de caro, incrementando su efectividad sin perder su originalidad.

Comparativa con otras técnicas de gestión hídrica

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 del agua embalsada en presas y balsas. Aunque el agua recuperada tras la recarga artificial puede necesitar ser tratada, su salinidad siempre será inferior a la del agua del mar, por tanto, la energía requerida en el proceso y sus costes son menores a los de la desalinización.

- Utilización del acuífero como embalse regulador, almacenaje y red de distribución dentro de un sistema integrado, permitiendo suavizar fluctuaciones en la demanda y reducir el descenso del nivel del agua
- Reducir las pérdidas por evaporación respecto a presas y balsas y compensar la pérdida de recarga natural en un acuífero por actividades antropóicas.
- Integración de actividades lesivas en el marco del desarrollo sostenible, tales como el tendido de barreras hidráulicas para la intrusión marina, la prevención de problemas geotécnicos, la evacuación y depuración de aguas residuales urbanas (reutilización), la regeneración hídrica de elementos clave (humedales, surgencias, etc.).
- Mejora económica zonas deprimidas.
- Intervención en el combate a la desertización y cambio climático, acarreamiento, erosión de suelos, etc.



Inconvenientes de la MAR

- Grado de conocimiento incipiente de su potencial
- Visión principalmente hidráulica de la política de gestión hídrica en el país, que la considera una "técnica especial"
- Escasez y falta de continuidad en las experiencias, que van cobrando importancia creciente. Ej MAPA, 2002/03
- Escasa dedicación en las publicaciones de gestión hídrica del país hasta la fecha
- Es preciso un control durante el diseño y proyectos para minimizar los riesgos e impactos ambientales



Enrique Fernández Escalante
Tel. 913 226 106
dina-mar@tragsatec.es

Para más información contactar con:
CONTACTO





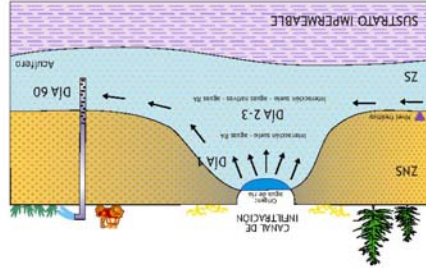
GESTIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS

La gestión de la Recarga de Acuíferos o "Managed Aquifer Recharge" (MAR) en el marco del desarrollo sostenible

¿En qué consiste la Recarga de Acuíferos?

Se trata de un método de gestión hídrica que permite introducir agua en acuíferos subterráneos. El origen del agua destinada a este fin puede ser muy diverso, en general procede de ríos, si bien puede ser originaria de depuradoras, desaladoras, etc. Una vez almacenada en los acuíferos, puede ser extraída para distintos usos (abastecimiento, riego, etc.) servir de barrera contra la intrusión marina y contaminación, u otros usos especificados más adelante.

Esta técnica es considerada una *Driving Force* o actividad capacitada para provocar un impacto (positivo o negativo) sobre la cantidad y la calidad de las masas de agua.



PERFIL TIPO DE UN DISPOSITIVO DE RECARGA ARTIFICIAL (CANAL) EN "CONTROL LATERAL" EN UNA ZONA REGABLE

El agua, que puede proceder de ríos, depuradoras, escorrentía urbana e incluso humedales, es introducida al acuífero mediante zanjas, balsas, pozos, sondeos de inyección, etc. cuando hay recurso en suficiencia, generalmente en invierno. Este agua es almacenada en el acuífero en cantidad superior a lo normal, y sigue su circuito natural subterráneo por el acuífero, depurándose, durante un período de tiempo variable. Cuando hace falta, por ejemplo en la época estival, es extraída y empleada para abastecimiento, riego, etc. generalmente con una calidad adecuada.



La técnica MAR es considerada una alternativa de gestión hídrica de primer orden en varios lugares del mundo, mientras que en nuestro país se considera una técnica especial que suscita un cierto escepticismo a pesar de su gran potencial. A continuación se presentan algunos pros y contras:

- Almacenar agua en los acuíferos, especialmente en zonas de escasa disponibilidad de terreno en superficie o sin posibilidad de otras formas de embalsamiento.
- Eliminación de patógenos, sustancias químicas... del agua durante el proceso de infiltración a través del suelo y su posterior residencia en el acuífero, suavizando diferencias cualitativas y reduciendo riesgos medioambientales, incluidos aquellos para la salud.

Utilidades y ventajas de la técnica MAR

BIBLIOGRAFÍA

Tragsa (multiactor) (2011). "DINA-MAR. La gestión de la recarga artificial de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible. Desarrollo tecnológico. Coord. Enrique Fdez. Escalante. Serie Hidrogeología Hoy, nº 6. Método Gráfico, Madrid 2010. ISBN 978-84-614-5123-4. 496 pg.

<http://www.dina-mar.es/>

ANEJOS. HOJAS DIVULGATIVAS GENERADAS A LO LARGO DEL PROYECTO

Objetivos futuros
De conseguir continuidad en el futuro, se pretende profundizar más en estudios relacionados con la geotecnia, la teledección, la capacidad de autodepuración de suelos y los diferentes métodos de retención del caudal de las avenidas y gotas frías desde las cabeceras de cuencas, así como los aspectos económicos.

Conclusión

En resumen, la gestión de la recarga, recarga artificial de acuíferos o MAR son técnicas útiles, fiables, baratas y que precisan una mayor divulgación para su aplicación generalizada. Por ello hay que involucrar a las Comunidades de Regantes en la técnica MAR, sobre todo en aquellas que se abastecen con aguas subterráneas. Pero para lograr este objetivo es necesario acercar las actuaciones tanto a la población en general, a los políticos, regantes (quienes tienen una gran relevancia al ser grandes beneficiarios; por ejemplo el 80% del consumo del agua en España se dedica al regadío) y lograr el apoyo político de organismos tales como ayuntamientos, comunidades autónomas y de los gobiernos de las naciones bajo el contexto de la responsabilidad compartida.

Por último, si hubiera que sintetizar en cinco palabras este periodo de investigación, serían:



Figura 17. Graffiti con el eslogan final del proyecto: "La clave es el almacenamiento".

CÍRCULOS DE DIFUSIÓN Y GRUPOS DIANA

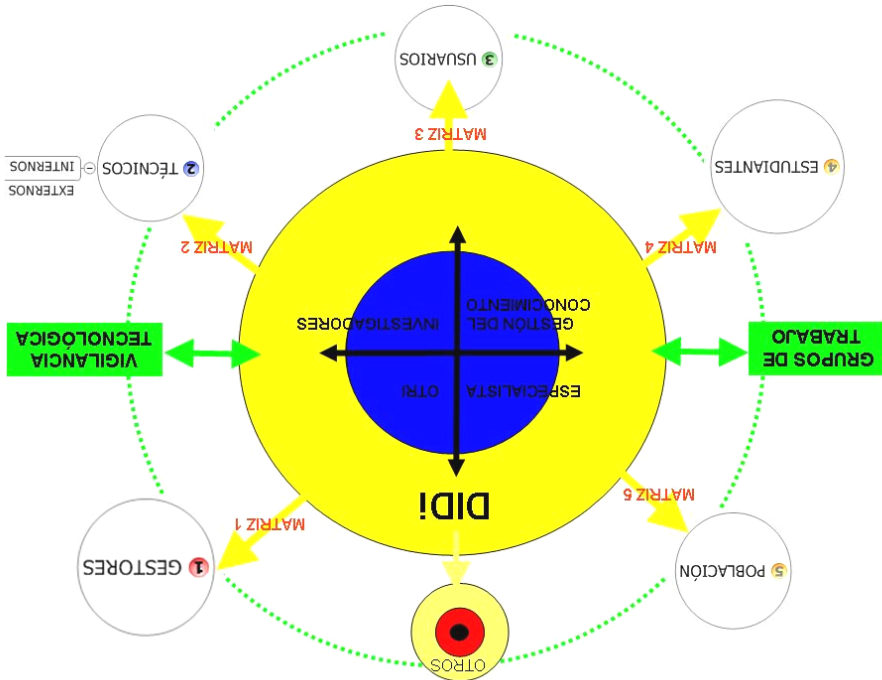


Figura 15. Estrategia de difusión y transferencia tecnológica (DYTT) diseñada durante el desarrollo del proyecto.



Figura 16. Puesta en práctica de la estrategia de DYTT. Visita técnica.

De este modo se retendra que la técnica MAR, actualmente, como medida de gestión hídrica, ha dejado de ser una opción a analizar o una alternativa desconocida y poco contrastada. Hoy por hoy constituye una **alternativa real y viable**.

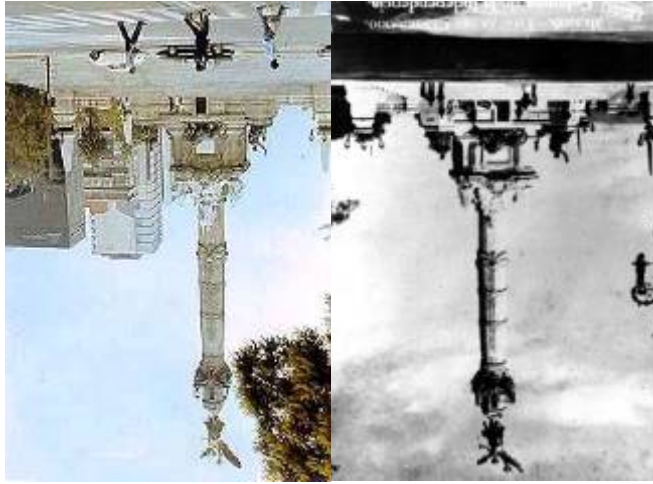
Divulgación de la técnica MAR

Sin embargo, esta visión no ha llegado a profundizar aún en la población española. Tal vez sea por tradición, o porque obras con “más hormigón” cuestan más y tienen mejor y mayor publicidad que este tipo de técnicas, que resultan desconocidas para muchos ciudadanos.

Uno de los últimos avances del proyecto DINA-MAR ha sido la utilización de SIG para elaborar un visor Web que analice las zonas españolas más favorables a la instalación de dispositivos de gestión de la recarga.

Cabe incidir en la importancia de la difusión y transferencia de tecnología. El acercamiento de estas técnicas a la población es clave, además de que aumenta la posibilidad de que surjan nuevos proyectos, experiencias y aumente el grado de conocimiento en general. La adecuada divulgación en este tipo de proyectos es muy necesaria y debe llevarse a cabo en varios frentes y dirigida a distintas “poblaciones diana” con estrategias y materiales adaptados a cada una.

Para obtener todos estos objetivos es necesario disponer de equipos pluridisciplinarios. Dentro del marco del proyecto DINA-MAR han observado una gran variedad de profesionales de distinta formación, trabajando en un campo en el que puede tener cabida todavía un mayor número de profesionales.



Figuras 14 (a) y (b). Angel de la Independencia de México. A la hora de construir este monumento, se realizó una cimentación importante, pero el terreno de alrededor, con el paso de los años, sufrió asentos y por ello, hubo que construir una escalinata para llegar a él (véase la foto de la derecha). Tomado de: <http://www.exploramex.com/epochalndep/Terrem1985.htm>.

Otra de las últimas aplicaciones en usos urbanos es la mejora de la ordenación de las grandes ciudades, donde se desaprovechan las aguas pluviales, se contaminan y se perjudican los acuíferos. Este tipo de dispositivos se conocen como Sistemas de Drenajes Urbanos Sostenibles (SUDS), de los cuales hay que resaltar que su finalidad es incorporar el agua de las ciudades al ciclo del agua (depurándola en todos los sitios donde sea posible), favorecer la recarga de acuíferos, disminuir la predominancia del "gris", otorgar a las ciudades una percepción paisajística más agradable, reducir las inundaciones y obtener una reducción del "efecto isla de calor". En definitiva incrementar la disponibilidad de los recursos hídricos mejorando su calidad y retornar a condiciones preoperacionales en los acuíferos bajo núcleos urbanos.

En definitiva, la técnica MAR aplicada al Medio Ambiente constituye una herramienta de sostenibilidad que por tanto puede ser sometida a procesos de evaluación, con detección de impactos positivos y negativos, lo que conlleva la implicación automática de medidas correctoras, que, en consecuencia, quedan incorporadas plenamente en el ámbito de la planificación hídrica.

del mundo se está utilizando la recarga artificial. Un ejemplo muy cercano es la barrera hidráulica formada por pozos de recarga que se está realizando en el delta del Llobregat, en Barcelona, que también está arrojando buenos resultados retendados con modelación a largo plazo.

Cabe mencionar además que este tipo de técnicas y el aumento en la tasa de infiltración que provocan pueden aliviar los efectos de la desertificación y erosión del suelo, que muchas veces son generados por la sobreexplotación de los acuíferos, además del propio efecto sobre el clima. Un claro ejemplo es el sur y levante de la Península Ibérica.

Para evitar estas consecuencias, la técnica MAR proporciona técnicas e instrumentos que regulan la escorrentía y reducen la erosión, además de incrementar la infiltración del agua al acuífero en volumen total. Por estos motivos, queda abierta la puerta para ahondar en la idoneidad de aplicar técnicas MAR como actuaciones paliativas del cambio climático en el futuro. En los últimos años se han desarrollado aplicaciones ingenieriles de estas actuaciones y parecen tener un futuro prometedor.

Usos energéticos de la técnica MAR

En cuanto a los usos energéticos, cabe mencionar el ejemplo del proyecto piloto e innovador llevado a cabo en Totana, Murcia, España. Consiste en la extracción de agua por un sondeo para obtener el aprovechamiento del calor latente del pozo. La experiencia vincula definitivamente esta técnica con la problemática energética que sufre el planeta tras la crisis del petróleo. A este respecto hay varios ejemplos mundiales de distinto calado.

Estabilidad geotécnica y usos urbanos de la técnica MAR

En cuanto a prevención o corrección de problemas geotécnicos (estabilidad geotécnica), por citar alguno de gran relevancia, está el caso de la Ciudad de México, donde se ha puesto en marcha una planta piloto que tiene como objetivo tratar el agua, para posteriormente inyectarla en el subsuelo y así recargar el acuífero. De este modo se trata de corregir los hundimientos y colapsos que desde varias décadas lleva sufriendo esta ciudad. Esta técnica podría ser aplicada en escenarios análogos con problemas similares, como Bangkok (Tailandia), la ciudad de Murcia (España), etc.

(en forma de humedad edáfica, descargas de manantiales, lagos subterráneos, cuñas contra la intrusión marina, etc.

Otro objetivo que se puede alcanzar es la mejora en la calidad de las aguas, debido a la posibilidad de que el propio terreno actúe de filtro. Es cierto que también se obtiene una disminución de la concentración de contaminantes en el acuífero al aumentar los recursos hídricos subterráneos.

Este tipo de técnicas también otorgan la posibilidad de conseguir la regeneración de humedales. Esto es muy significativo, porque genera un aumento y protección de la flora y fauna de estos tipos de ecosistemas, además de favorecer la belleza y percepción paisajista de la zona. Los ejemplos monitorizados están arrojando resultados excelentes.



Figuras 13 a) y b). Regeneración de la Laguna de la Iglesia. Segovia, a) Febrero 2006; b) Mayo 2006.

Es importante resaltar que el proyecto no ha profundizado en el estudio de metodologías para la determinación de caudales ecológicos en los cauces fluviales de toma, al considerarse necesario un estudio detallado para cada caso. No obstante se plantea para el futuro la conveniencia de elaborar una metodología o producto comercializable con resultados contrastados para este fin.

Continuando con las aplicaciones ambientales, uno de los principales fenómenos preocupantes de nuestras costas es la contaminación de los acuíferos por intrusión salina. Este fenómeno se ha ido produciendo por una excesiva extracción del agua subterránea de los acuíferos costeros. Para remediar esta situación, en bastantes zonas

Estas ventajas se ven acrecentadas por otras más "clásicas" tales como almacenar agua permitiendo la ocupación del terreno superficial, disminuir las pérdidas por evaporación, utilizar el acuífero como embalse regulador y red de distribución desde las zonas de recarga a las de descarga, cumplir objetivos establecidos en la Directiva Marco del Agua y otros imperativos legales y morales como los objetivos del milenio de la ONU. A estas hay que añadir que se trata de técnicas baratas frente a otros esquemas de gestión hídrica y con amplitud de posibilidades y costes.

IMPLEMENTACIÓN

Es importante mencionar que en el proyecto se han tipificado y descrito 24 clases de dispositivos agrupados en una nueva propuesta de clasificación. Tal variedad proporciona un amplio baremo de condiciones de aplicación para prácticamente todos los escenarios posibles.

Los agentes implicados principales serán, por un lado, la administración o promotores de carácter privado, responsables de la gestión hídrica, frente a los usuarios o destinatarios.

Este tipo de actuaciones bien pueden tener un carácter preventivo (almacenamiento de agua de calidad para su posterior utilización, incluso para generaciones venideras, curativo (solución de impactos negativos ya detectados o paliativo, minorizando las afecciones, como por ejemplo las motivadas por inundaciones o por la degradación cualitativa de las aguas, que precisa una vía de depuración natural y barata.

Usos medioambientales de la técnica MAR

La gestión de la recarga de acuíferos, si se realiza correctamente, tiene una influencia positiva en el Medio Ambiente. Una de las primeras consecuencias tras realizar este tipo de actuaciones es la recuperación o incluso el ascenso de los niveles freáticos, y por ende, del almacenamiento, que compensa la sobreexplotación que pueda tener el acuífero tras extracciones excesivas durante años. Esto se debe a la función "invisible" que las aguas subterráneas y la ciencia que las estudia, la hidrogeología, llevan a cabo en el mantenimiento de ciertos ecosistemas (cuevas, humedales, praderas, marismas, etc.); no solo por la cantidad del recurso, también por la variación de su disponibilidad dentro del ciclo anual

CONCLUSIONES FINALES DEL PROYECTO

LA TÉCNICA MAR: DEFINICIÓN Y FINALIDAD

La gestión de la recarga de acuíferos o *Managed Aquifer Recharge* (MAR) o recarga artificial es un conjunto de técnicas que combinan las aguas superficiales y subterráneas para constituir una "herramienta de desarrollo sostenible" cuya finalidad es contribuir a la gestión integral del agua.

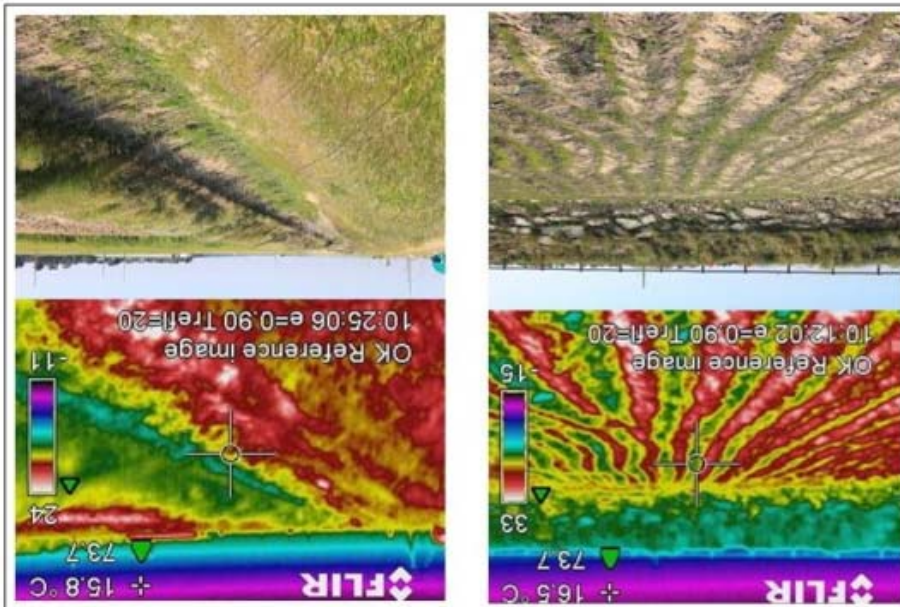
Como primer punto a resaltar, este tipo de actuaciones o técnicas están teniendo una gran aceptación en el resto del mundo. El hecho de considerar que sólo el 2,5 % del agua de la Tierra es agua dulce, y que la mayor parte de este porcentaje está congelado en los casquetes polares, nos hace reflexionar sobre el valor contingente y tangible del recurso agua; la conclusión es clara: incalculable.

En este contexto, la "técnica MAR" permite aumentar la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos (tanto en el espacio – volumen – como en el tiempo – ciclos de recarga-) y permiten su gestión sostenible a la vez que mejoran su calidad. Entre los usos principales cabe destacar el consumo (agrícola y ganadero), abastecimiento urbano e industrial, usos medioambientales, energéticos, mineros, recreativos, etc.

Tras haber tratado los diferentes tipos de dispositivos de gestión de la recarga y los diferentes campos en los que interacciona con el medio, es hora de llamar la atención sobre las ventajas y problemáticas que presentan.

MOTIVACIÓN, USOS Y EFECTOS

Los principales motivos por los que en muchos lugares se ha llevado a cabo la técnica MAR son, por un lado, proporcionar el abastecimiento necesario para el consumo humano, y por el otro, suministrar el agua necesaria para el riego, mantenimiento o regeneración de los ecosistemas, etc. Dentro de este último uso, se puede distinguir dos grandes bloques o tipos de necesidades, las generadas por actividades que se centran en la agricultura y aquellas cuyo fin es meramente recreativo y estético, como los campos de golf, fútbol, parques, jardines, etc. Este tipo de técnicas se suelen complementar con la reutilización de aguas de depuradoras, con cabida a excedentes de desaladoras.



Figuras 12. Comparación entre los aspectos de una fotografía normal y una termografía, con objeto de detector procesos colmatantes.

En definitiva, las dos jornadas celebradas han contado con una asistencia distinguida de distintas formaciones y amplia experiencia laboral que, definitivamente y de forma automática, han atraído un tono distendido y un ambiente relajado a la par que crítico. Estos elementos, unidos al buen espíritu constructivo, han facilitado el alcance de conclusiones de gran valor.

La información de las jornadas puede ser ampliada <http://www.dina-mares.com>, donde se encuentran además las ponencias.

de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) tipo fármacos o agroquímicos en general. Parece importante seguir empleando la capacidad de autodepuración del acuífero planificando periodos de residencia suficientes, antes que aplicar técnicas MAR directas o "en vena".

- Una línea de acción adicional e importante es la posibilidad de valorización de los procesos colmatantes, buscándoles utilidad (empleo de la materia orgánica, etc.). Esta línea de acción disminuiría la escala e intensidad de este impacto que puede ser considerado el mayor que afecta a los dispositivos de recarga gestionada: la colmatación.

- Los estudios económicos convencionales deben basarse en el espíritu de la Directiva Marco del Agua y el principio de "Full recovery cost". Teniendo en consideración los usos previstos del agua, surge un binomio de actuación: quien puede aplicar el principio (campos de golf, minas, etc. conforme al principio de la oferta y la demanda), y quien no tiene solvencia suficiente. En cualquier caso la "externalización de costes" parece ser conveniente. Un modo de financiar experiencias del segundo tipo podría ser incluir el "coste de oportunidad" y "costes ambientales" en su planificación económica.

- Los análisis económicos deberán también considerar los nuevos costes e impuestos fruto de la crisis económica, y en qué modo compensarán los ahorros derivados de la aplicación de nuevos materiales y de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD). Así mismo cabe prever nuevos impuestos y penalizaciones derivados del consumo del agua en la planificación hidrológica.

- Al igual que para los estudios de caudales ecológicos, la alta variabilidad de factores en los estudios económicos hacen recomendable estudios de detalle.

- Es destacable la importancia de mejorar los indicadores socioeconómicos y geopolíticos para implantar dispositivos MAR, no sólo los de carácter hidrogeológico.

ARQUITECTURA Y SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)

- El diseño de SUDS debe contar con cálculos detallados y tener en cuenta aspectos tales como ¿qué tipo de cubiertas verdes conservan mejor el impermeabilizante?, ¿cómo influyen en la eficiencia energética de los edificios?. De nuevo se echa de menos una guía técnica que limite cómo interferir en la cimentación, incluso de carácter normativo, que tenga además un reflejo en la legislación.



Figura 11. Otro ejemplo de SUDS para un aparcamiento que reduce la escorrentía superficial y facilita la infiltración de agua al acuífero en un área montañosa. Hallstatt, Austria. Fotografía: Ignacio Prieto.

OTRAS TECNOLOGÍAS Y LÍNEAS DE ACCIÓN

- Los estudios de termografía están arrojando interesantes expectativas. Se trata de una herramienta que hay que mejorar en cuanto a su aplicación a la técnica MAR, al haber concluido el proyecto en pleno desarrollo de esta línea de acción.

- La presencia de polutantes emergentes con la recarga con aguas depuradas convierten esta línea de acción en un problema de gran calado, ante la aparición de sinergismos y nuevos compuestos con coeficientes de fraccionamiento muy altos, además de la presencia

TELEDETECCIÓN

- La aplicación de la teledetección en MAR no ha resultado decisiva ni determinante, aportando una información parecida a las estadísticas agrarias. Cabe destacar la importancia de la banda infrarroja de cara a la interpretación del estado de la vegetación agrícola y natural. De cara a futuros estudios de evolución de usos del suelo sería importante como series temporales de evolución de la vegetación. También se ha recogido la idea de aplicar fractales a los estudios sobre MAR.



Figuras 10 a) y b). Situación tras la actuación balsa infiltración en El Carracillo, ortomagen SIG-PAC y fusión Ikonos en falso color infrarrojo (1m), año 2010.



Figura 9. Panel de las rutas hidrogeológicas “Caminitos de Agua”.

- Las técnicas SAT seleccionadas deben incidir especialmente en el "pretratamiento" del agua de recarga (como ya apuntó Bouwer en 2002 como "regla de oro" en recarga artificial). A estas hay que añadir aquellas con influencia en distintos periodos del ciclo hidrológico.

AGROHIDROLOGÍA

- El ascenso de los niveles freáticos como consecuencia de la recarga gestionada puede conllevar sobrepresiones en las redes de riego, reduciendo la eficiencia, provocando fugas y generando impactos negativos, debido a las diferencias con las condiciones en que fueron diseñados los sistemas de transporte y distribución.

- Las labores de limpieza y mantenimiento resultan imprescindibles. Estas deben ser incorporadas en los estudios económicos, al igual que los costes del pretratamiento y tratamiento del agua de recarga.

MEDIO AMBIENTE

- Si bien está claro que el caudal ecológico del río es aquel que menos altera su ciclo hidrológico natural, habría que profundizar en la busca de caudales ambientales que sean compatibles con el normal funcionamiento del ecosistema.

- Se ha detectado una laguna en el estado de conocimiento escasamente abordada en DINA-MAR: "MAR y biodiversidad", que deberá abordarse en estudios posteriores.

- Los estudios con Evaluación de Impacto Ambiental permiten detectar una gran amplitud de impactos de distinta escala e intensidad y variables en el tiempo. Tal variedad requiere planificar criterios técnicos de obra y de gestión en general complejos.

- La diversidad del entorno operacional frente a la amplitud de opciones técnicas y de gestión a aplicar retarda que la técnica MAR sea una opción actual, real y viable. Su implementación debe ser correcta.

- Los lugares demostrativos, como es el caso de las rutas hidrogeológicas "Caminitos de Agua", implementadas durante el desarrollo del proyecto, constituyen una importante línea de acción en materia de divulgación y educación ambiental. Este ejemplo, pionero en España, debe ser aplicado en otros lugares de interés.

- Se presentaron resultados numéricos del proyecto, de los que cabe destacar, entre otros, la gran idoneidad de aplicar la técnica MAR en España, donde la extensión de las "zonas MAR" o zonas donde sería potencialmente apropiado aplicar esta técnica asciende a unos 67.000 km², con una capacidad de almacenamiento potencial en los acuíferos **superior al doble de la capacidad de almacenamiento en presas y embalses** (a pesar de que España está actualmente entre los cinco países del mundo con mayor ratio de almacenamiento superficial). A pesar del posible margen de error inherente a los cálculos, estas cifras resultan indicativas de la alta idoneidad de la técnica MAR en España e incitan a la reflexión sobre nuevos esquemas de gestión hídrica integral.

- Un aspecto a tener en cuenta en los cálculos detallados de las "zonas MAR" debe ser la orografía en cuanto condiciona la escorrentía superficial (interesante en llanuras, mesas, páramos), además del flujo profundo. También es conveniente precisar estudios de aplicación de técnicas MAR en zonas intensamente deforestadas, en ocasiones sin medida, tipo Amazonia.

- Los cálculos detallados y su justificación con pleno rigor científico son necesarios para avalar los resultados y justificar algunas actuaciones.

TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE SUELO Y ACUÍFERO (SATS)

- Los dispositivos en fase de diseño deben incorporar en sus esquemas de gestión Técnicas de Tratamiento de Suelo y Acuífero o SATs. Esta incorporación debe ir más entendida conforme al origen del término como un elenco de actuaciones alternativas para incidir en el agua de recarga, en el suelo, en el acuífero o en combinaciones, con objeto de mejorar la recarga en todos sus aspectos. Analizando antecedentes bibliográficos, el término SATs ha derivado en los últimos años hacia actuaciones MAR con aguas procedentes de depuradora, perdiendo su amplitud original.

- Las SATs deben ser incorporadas tanto en la fase de proyecto de obra de nuevos dispositivos como en los ya operativos, para mejorar su efectividad, habida cuenta de la amplitud del elenco que existe de este tipo de técnicas. La selección de la/s técnica/s más adecuada/s debe ser realizada por personal especialista dotado de "amplitud de visión" o bien por equipos pluridisciplinarios.

subidas de impuestos en determinadas comunidades, reduciendo el interés de promotores, en general privados, para acometer obras de implantación de dispositivos recarga gestionada.

Ciencia y técnica

- La experiencia del IGM en materia de Gestión de la Recarga resulta crucial en España, al ser una institución que ha atesorado una gran experiencia, aunque en general en dispositivos pequeños o medianos, muchos de los cuales han sido experiencias piloto con escasa continuidad temporal. Este hecho plantea la cuestión de la conveniencia o no del apoyo institucional para desarrollar proyectos y experiencias sobre MAR.

- Se mostraron varios ejemplos de experiencias sin continuidad y obras en estado de alto deterioro y abandonadas, con presencia de procesos colmatantes. Hubo menciones además a actos de vandalismo y robos en varias instalaciones. Conscientes de la dificultad de dar solución a este tipo de problemas, se considera preciso habilitar mecanismos para prolongar en el tiempo aquellas experiencias piloto que resulten positivas, implantar materiales antivandálicos y, especialmente, concienciar.

- La experiencia de Cobre Las Cruces (CLC), habida cuenta de su alta complejidad técnica, configura a este sistema como uno de los más complejos de España, en tanto encuentra problemas cuantitativos, cualitativos, socioeconómicos, ecológicos, incluso políticos. Este proyecto puede ser considerado piloto en cuanto a la aplicación de nuevas metodologías se refiere, y un buen “*demonstration site*” para el ensayo de nuevas técnicas, materiales y diseños.

MAR Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

- El proceso deductivo apoyado en álgebra de mapas y análisis en SIG ha contado con dos grandes inconvenientes para el tratamiento de la información: los distintos sistemas de proyección y la no coincidencia de los límites de las capas y coberturas temáticas utilizadas. Ha sido especialmente relevante el esfuerzo unificador, que sería conveniente generalizar incluso con apoyo normativo, para ahorrar el gran esfuerzo realizado en la adaptación y superposición de capas de distinto origen en un SIG en el futuro. Este es un problema común con otras técnicas que requieren un fuerte apoyo cartográfico y tratamiento SIG, tales como la teledetección, Estudios de Impacto Ambiental, gestión territorial, ordenación forestal, etc.).

- En España el marco jurídico y técnico es idóneo para integrar más dispositivos de MAR en los esquemas de gestión hídrica integral, si bien hay ciertos problemas de aplicación: Actualmente la regulación legal que considera la MAR un vertido constituye un escollo para el desarrollo de la técnica y la implantación de experiencias. El RD 1.620/2007 resulta demasiado restrictivo en cuanto a calidad de las aguas se refiere que las legislaciones de otros países bastante, más permisivas en general, como consecuencia de su cariz sanitario y a la escasa consideración en efectos tales como la concentración de sodio en la inyección profunda. Resultaría conveniente promover mecanismos para la revisión de la legislación, a pesar de la alta dificultad de este objetivo, habida cuenta de que “se queda retrasada” con respecto a los adelantos tecnológicos. A esto hay que añadir los nuevos gravámenes y gastos originados por la crisis económica, algunos de los cuales podrían manifestarse en forma de

Legalidad

LA TÉCNICA MAR EN ESPAÑA

Figura 8. La mayor parte del volumen de recarga gestionada que se almacena en los acuíferos en España (estimado en 380 hm³/año) proviene de “recarga accidental” mediante diques situados en cabecera de cuenca.



nacional, todavía tiene un grado de implantación en España inferior a gran parte de países desarrollados, e incluso varios en vías de desarrollo, como la Unión India, donde aplican la técnica con presteza mediante dispositivos "low cost".

- A pesar de que los estudios de recarga artificial, o mejor, gestión de la recarga de acuíferos (el equipo de DINA-MAR se decanta definitivamente por el término *Managed Aquifer Recharge* o MAR, por homogeneidad con los grupos de trabajo internacionales) suelen ser abordados desde una perspectiva hidrogeológica, tienen gran cabida en muchas otras disciplinas, donde se registran los mayores "vacíos" en la literatura científica.

- Se han detectado carencias en la actualización del inventario de dispositivos propuestos, que consta de 24, especialmente en aquellos relacionados con la minería (tipo "Well point", técnicas antiguas (bofedales), etc. Este amplio elenco sirve como instrumento de ayuda a la toma de decisiones sobre la selección de la opción más recomendable e incluso ofrece alternativas sea cual sea el contexto e incluso para presupuestos moderados. También es mejorable el estudio de los antecedentes históricos. Por ejemplo se han recibido noticias de que existen más dispositivos tipo "careos" o "amunas" de los inventariados y encontrados en la literatura hidrogeológica. Cabe destacar ejemplos adicionales de la antigüedad en Europa, Asia y Suramérica, como por ejemplo la presencia de careos en la Alpujarra oriental en Sierra Nevada, Almería, España; boqueras en el Arco Mediterráneo y amunas en Chile, Bolivia y Colombia, además de las bien conocidas del Perú.

- Una vez más queda de manifiesto la importancia de los equipos pluridisciplinarios al abordar proyectos de gestión hídrica integral, y especialmente aquellos con aparición de nodos topológicos de gestión de la recarga. La mayor parte de los ponentes participaron con ejemplos de cómo varía la perspectiva de la técnica si es vista por expertos de distintas disciplinas.

- Es absolutamente necesario estar al tanto del uso de nuevos materiales, nuevas tecnologías y la aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs) a medida que surjan.

RESUMEN DE LA JORNADA TÉCNICA DE CIERRE Y DE LOS COLOQUIOS INTERNOS Y EXTERNOS

La jornada de clausura fue celebrada el 25 de mayo de 2011 en la Facultad de CC. Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid, con objeto de presentar las principales conclusiones del proyecto y presentar el libro multiautor en el que han participado la mayor parte de los integrantes del equipo de trabajo.



Figura 7. Portada y contraportada de la publicación final del proyecto a la que complementa la presente publicación.

Fueron presentadas quince ponencias, incluyendo la introducción y el documental final (DINA-MAR *movie*), a cargo de once ponentes del Grupo Tragsa y dos ponentes invitados que han colaborado ocasionalmente en el proyecto: D. José Antonio de la Orden (IGME) y D^a Catalina Sesmero (CLC).

De las presentaciones, agrupadas por bloques conforme al programa, cabe recalcar:

GENERALIDADES DE LA TÉCNICA MAR

- La Gestión de la Recarga de Acuíferos (su acrónimo en inglés es MAR), a pesar de estar adquiriendo una creciente popularidad a nivel

- Se menciona que la técnica MAR en algunos círculos en considerada "estructural", más "elegante" que los embalses, pero que también requiere hormigón. Algunos asistentes opinaron que si fuera una técnica más cara o que requiriera más "hormigón" estaría más implantada, ya que las constructoras abogarían más por construir este tipo de dispositivos.

- Se destaca la importancia de la divulgación en todos los frentes, incluyendo más donde menos se conoce la técnica MAR, para que la sociedad conozca mejor las bondades y desventajas de esta técnica, todavía "testimonial" en España. La sala estaba de acuerdo en que este cometido no es nada fácil.

En definitiva, fueron unas jornadas instructivas y amenas de las que cabe destacar el gran interés mostrado por todos los asistentes y el buen talante, que favoreció poder manifestar opiniones con relajación. El programa de las jornadas se encuentra en

<http://www.dina-mar.es/>:

<http://www.dina-mar.es/post/2012/03/25/Inminente-jornada-de-cierre-del-proyecto-Madrid-25-de-mayo-de-2011.aspx>



Figura 6. Cabecera del dispositivo de recarga gestionada de Santuste, Segovia, España, principal zona piloto del proyecto.

- Los esquemas MAR en la hidrogeología urbana son apropiados aplicando Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), si bien resulta insuficiente, y se deben dirigir nuevos esfuerzos hacia la gestión integral del agua en la edificación (GIAE) para incrementar la recarga artificial bajo grandes superficies asfaltadas.

El debate fue más largo de lo previsto y salieron temas de gran calado:

- Se mencionó la importancia de los equipos pluridisciplinarios en los proyectos de I+D+i.

- Se mencionó la necesidad a abundar más en las metodologías para la determinación de caudales ecológicos, hasta el punto de generar un producto comercializable con resultados contrastados.

- Hubo cierto acuerdo en que no es posible controlar las condiciones climáticas extremas, como la gota fría mediante esquemas MAR. Una alternativa propuesta se basa en que la gestión de este tipo de fenómenos debe ir enfocada a la actuación en toda la cuenca, desde la cabecera hasta el mar. Las condiciones climáticas tan peculiares de España obligan a crear esquemas propios, ya que hay pocos escenarios análogos en el mundo que sufran procesos similares.

- En el aspecto agrario, algún interviniente señaló la necesidad de esquemas de gestión hídrica mejor repartidos por usos y con mención concreta a los costes de oportunidad, así como la necesidad de involucrar a las Comunidades de Regantes en la técnica MAR y en su implantación, especialmente a aquellas que riegan con aguas subterráneas, con menor control que las que emplean aguas superficiales.

- Se destacó la importancia de mejorar los indicadores socioeconómicos y geopolíticos para implantar dispositivos MAR, no sólo los de carácter hidrogeológico.

- Se explicó además lo paradójico que resulta que este tipo de actividades, que casi siempre representan una mejora cualitativa de las aguas, precisen una autorización de vertido.

- Se recalca la importancia de la gestión hídrica integral, aplicando en cada zona la técnica más apropiada, bien sea mediante técnicas tradicionales o especiales.

RESUMEN DE LA JORNADA TÉCNICA DE 28 DE JUNIO DE 2008 DE DINA-MAR. PROYECTO PARA EL ESTUDIO DE LA GESTIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS EN EL MARCO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

La jornada fue celebrada el 30 de junio de 2008 para la presentación provisional de los resultados del proyecto de I+D+i dentro del hito de transferencia de tecnología. Contó con ocho ponentes del Grupo Tragsa y diez presentaciones, terminando con un debate con más participación de la prevista, que alargó en casi una hora la duración del evento.

De las presentaciones se considera oportuno recalcar:

- La Gestión de la Recarga de Acuíferos (su acrónimo en inglés es MAR) está cobrando una creciente popularidad a nivel internacional y en los últimos años ha adquirido una fuerte componente en innovación, en gran parte debido a la introducción de nuevas tecnologías y de las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs).

- En España el marco jurídico y técnico es idóneo para integrar más dispositivos de MAR en los esquemas de gestión hídrica integral. Aproximadamente el 15 % de España peninsular e islas Baleares es adecuado para esta técnica, con aguas de origen fluvial y teniendo en cuenta premisas de planificación ambiental, establecimiento seis grupos de criterios ambientales básicos: Fuentes de contaminación, riesgos, condicionantes, demandas, tendencias y ventas.

- La gestión adecuada de los nuevos dispositivos debe ir acompañada de la necesidad de aplicar técnicas de Tratamiento de Suelo y Acuífero para la mejora de la efectividad del proceso y de los dispositivos ya existentes.

- En el ámbito forestal, según experiencias desarrolladas en el ámbito de la comunidad valenciana, cabe destacar que la infiltración en cabecera de las cuencas se ve realzada en zonas con presencia de vegetación frente a zonas yermas, a pesar del consumo de agua por parte de la biomasa. "El agua llama al agua" también en los acuíferos bajo masas forestales.

- La salvaguarda de los caudales ambientales en los ríos de toma requiere estudios individualizados, con el alto grado de peligro que entraña generalizar.

DISPOSITIVOS OPERATIVOS EN ESPAÑA

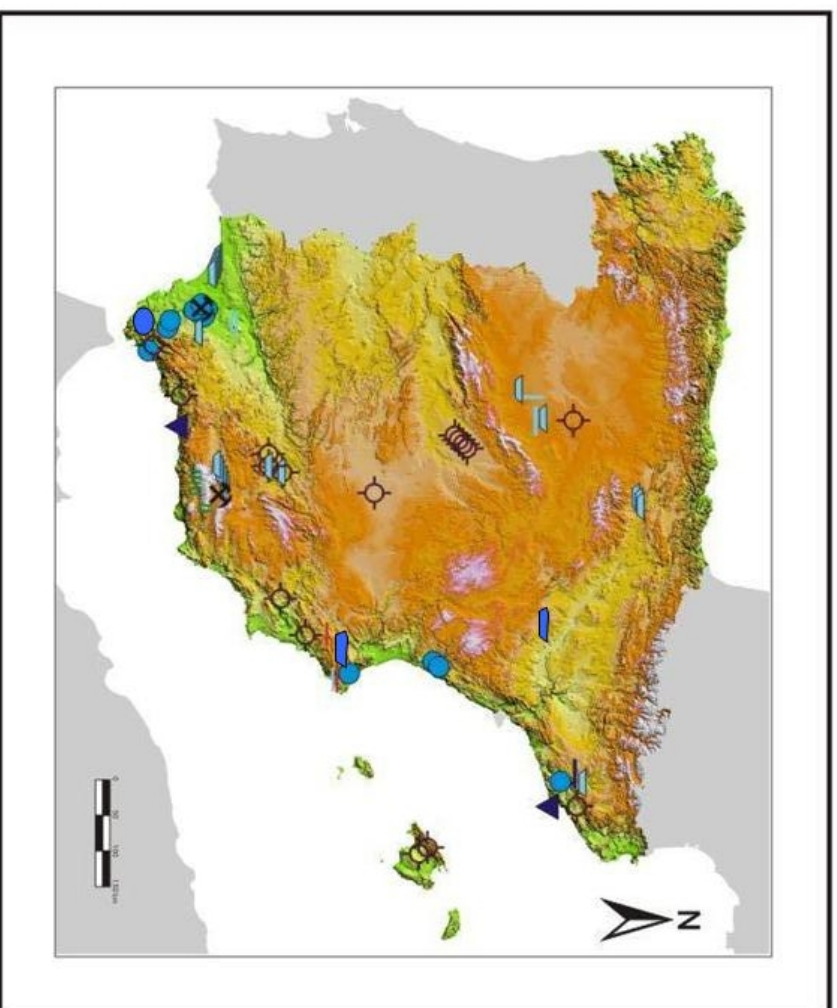











Figura 5. Dispositivos MAR operativos o experimentales en España.

LEYENDA

-  Pozos
-  Sondeo Profundo
-  ASR / ASTR
-  Dique retención
-  Canales y zanjas
-  Acequias de careo
-  Escarificación
-  Balsas
-  Mina AR

- GIAE abre una adecuada línea de investigación en el marco de la hidrogeología urbana, si bien el concepto de los SUDS queda limitado en algunos aspectos que deben englobarse en proyectos de mayor gestión del agua en la edificación, y ésta en la gestión integral.
- En su globalidad, de todas las líneas de acción y disciplinas consideradas, se observa que las ventajas de la técnica MAR sobrepasan los inconvenientes, que la innovación debe tener un énfasis mayor y que todavía quedan muchos huecos en el estado del arte, y especialmente, en las ciencias más apartadas de la hidrogeología.
- Cabe destacar la necesidad de prolongar este tipo de proyectos de investigación, para dar respuesta a las nuevas amenazas del siglo XXI, tales como la contaminación de las aguas con sustancias emergentes, cambio climático, etc. Tan alta complejidad conlleva la necesidad de equipos pluridisciplinarios.
- Es preciso estar alerta sobre los descubrimientos tecnológicos futuros en cuanto a la contribución que pueden aportar a la gestión hídrica integral, tanto de aguas superficiales como subterráneas. Por tanto, es preciso tener un buen acceso a autopistas de la información como mejorar la formación hidrológica de los usuarios, facilitando así su participación pública y atrayendo así su responsabilidad.

- Los nuevos diseños deben encaminarse a dispositivos de bajo coste.
- Es preciso profundizar en los aspectos económicos de la técnica MAR, así como hacer una valoración contingente de los aspectos ambientales y sociales, teniendo en consideración los costes de oportunidad del recurso.
- El futuro de las técnicas especiales debe pasar por mejorar los mapas de "Zonas MAR" y de potencialidad ambiental, teniendo en mayor consideración la recarga artificial profunda en acuíferos multicaapa.

CONCLUSIONES

Figura 5. Un ejemplo de Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) para una fuente pública que vierte sus efluentes al subsuelo para la recarga del acuífero. Madrid.



- Las técnicas deben ir encaminado a **alcanzar “buenas prácticas urbanas”**, destacando:
- Minimizar la escorrentía superficial en la ciudad.
 - Drenar hacia zonas verdes en vez de derivar el agua al alcantarillado.
 - Recoger pluviales para uso posterior: riego, cisternas, lavadoras...
 - Mantener la ciudad limpia de modo periódico.
 - Concienciación de fuentes contaminantes: talleres, hospitales, fábricas...
 - Minimizar el uso de herbicidas y fungicidas en parques.
 - Educación de todos los agentes implicados en el diseño y mantenimiento de la Ciudad.
- El fin último es la rotura de la escorrentía urbana superficial, **recuperar la capacidad de infiltración originaria del terreno y romper el efecto “isla de calor” en las ciudades.**

1 NORMATIVA	Estudio de la normativa española y europea aplicable, así como sus déficits y posibles mejoras.
2 ESTADÍSTICA	Toma / recopilación de datos y análisis de las conclusiones derivadas (p. ej. Caudales, temperaturas, consumos, gastos derivados...)
3 TRATAMIENTO	Sistemas de tratamiento en recorrido y final, variantes existentes y proposición de mejoras y nuevos modelos.
4 CAPTACION	Análisis de sistemas existentes para el aprovechamiento de agua de lluvia, variantes y nuevas soluciones.
5 ENERGIA	Inclusión de la energía (incluir ganancias o minimizar pérdidas optimizando recursos) en el ciclo urbano del agua.
6 ACTUALIZACION	Actualización del estado del arte en cuanto a los sistemas emergentes.
7 INFORMACIÓN	Difusión del conocimiento y síntesis de los resultados.

cuanto permiten disponer de un volumen de aguas subterráneas importante en las "cabeceras" de los acuíferos, a la vez que ayudan a reducir el efecto devastador de avenidas, etc.

El dispositivo más adecuado son los diques, que incrementan las reservas en los acuíferos de manera considerable, según se ha constatado con estudios y datos reales desarrollados en el Este de España, donde, a partir de estudios con datos climáticos y de infiltración de cinco años de duración en dos zonas puntuales, los bosques han permitido la infiltración de un volumen de agua por encima del **20% más en el subsuelo que las áreas deforestadas** (Copano *et al*, 2010).

La realización de infraestructuras serradas en las cuencas de cabecera y a lo largo de los cauces, así como la reforestación de áreas de recarga y su gestión adecuada, suponen un incremento en la recarga de los acuíferos y en su disponibilidad hídrica. Igualmente, esa gestión forestal favorece una mayor calidad de las aguas y el mantenimiento o aparición de ecosistemas con mayor calidad ambiental.

Hidrogeología urbana

Como criterio de reutilización en el sentido estricto, los dispositivos MAR están incorporándose cada día más a la hidrogeología urbana, dentro del contexto de la gestión hídrica en la edificación. Estos avances se llevan a cabo especialmente mediante el empleo de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) o Sostenible Drainage Urban Systems (SDUS) y la Gestión Integral del Agua en la edificación (GIAE).

Como consecuencia de la urbanización extensiva, en las ciudades se pierde hasta un 90% del agua de lluvia. Es necesario por tanto rediseñar el recorrido completo del agua por el entorno edificado (GIAE). Para el desarrollo de un nuevo modelo se establecen los siguientes ámbitos:

- Es preciso minimizar la tendencia descendente de la tasa de infiltración regulando el caudal y disminuyendo los finos y el aire en el agua de AR. Para ello conviene no "batir" las aguas y recargar lentamente.

- Los caballos en el fondo de las balsas y canales aumentan la infiltración hasta en un 25%.

- Los sistemas de vasos comunicantes en canales, y las válvulas en los equipamientos para pozos, reducen la disolución de aire en el agua en torno a 2 ppm.

- De acuerdo con Bouwer, 2002, la medida SAT más efectiva es el pretratamiento del agua de recarga, acompañada de un buen mantenimiento, lo que minimiza la colmatación.

- Dada la alta complejidad de estas operaciones, resulta preciso contar con plantas piloto donde ensayar nuevas tecnologías, dispositivos, etc.

La aplicación de las actuaciones más recomendables suele conllevar la interacción de impactos medioambientales de signo contrario. De este modo, la alternativa más recomendable es la creación de un sistema integrado en el que el balance sea de signo positivo, tenga carácter integral y alta resiliencia.

Las zonas de estudio también están siendo objeto de investigaciones de diseño y establecimiento de parámetros de control y mantenimiento, que faciliten su operatividad y eleven su efectividad. Los prototipos propuestos en DINA-MAR cuentan con desarrollos de ingeniería para conseguir minimizar pérdidas (evapotranspiración, fugas, etc.), facilitar las labores de descolmatación, reducir los costes de transporte, almacenamiento y bombeo, permitir funcionar en el punto óptimo de recarga (incluso en situaciones de suelo congelado o avenidas) y tener una vida útil suficientemente alta para ser en Tablas. Además los costes de construcción y mantenimiento deben ser bajos.

MAR aplicada a la gestión hídrica paliativa y a la ingeniería forestal

Las técnicas paliativas y de mejores prácticas de gestión hídrica basadas en la recarga en áreas forestales y de cabecera de cuenca estudiadas hasta la fecha están arrojando muy buenos resultados, en

El cruce de los criterios de planificación ambiental y las zonas MAR y su uso del suelo actual (CORINE) han permitido definir una matriz (tabla 4), que permite evaluar la **condicionalidad de cada tipo de uso/cobertura con respecto a cada posible actuación MAR y evaluar sus riesgos**. En dicha tabla se han marcado con una X las relaciones entre filas y columnas para cada descriptor. Para cada grupo de consideraciones ambientales se ha contabilizado el número de cruces, generando un indicador, cuya evolución en el tiempo permitirá caracterizar la potencialidad ambiental de cada zona MAR y de cada nueva actuación.

De esta forma se pretende obtener "mapas de capacidad de usos" para los distintos factores que determinan el medio donde se puede implantar un nuevo dispositivo MAR.

CONDICIONANTES	DEMANDA	TENDENCIAS	VENTAJAS	CONTAMINACION por uso	RIESGOS	CONDICIONANTES	DEMANDA	TENDENCIAS	VENTAJAS
Alta pendiente						Alta pendiente			
Alta escorrentía						Alta escorrentía			
Cota alta						Cota alta			
Lamina libre de agua continua						Lamina libre de agua continua			
Frecuente alto						Frecuente alto			
Existencia de periodos secos						Existencia de periodos secos			
Recable						Recable			
Reactiva (baño)						Reactiva (baño)			
Ecologica						Ecologica			
Perirregación						Perirregación			
Riego						Riego			
Energía						Energía			
Inventarización						Inventarización			
Sensible a cambio climático						Sensible a cambio climático			
Demanda potencial para riego						Demanda potencial para riego			
Zonas preferentes de resalque						Zonas preferentes de resalque			
Generación de rebrosos						Generación de rebrosos			
Filtro verde						Filtro verde			
Localización de recarga						Localización de recarga			
Desarga lenta						Desarga lenta			
Fuente para desalador						Fuente para desalador			
Fuente EDAR						Fuente EDAR			
Infiltración mínima						Infiltración mínima			
TOTAL						TOTAL			

Tabla 4. Ejemplo de la matriz de cruce con tres clases de usos del suelo y los condicionantes ambientales de cada actuación MAR. El total de cruces constituye un indicador de potencialidad ambiental. La tabla original contempla 85 casuísticas.

Finalmente se ha desarrollado un **estudio económico** basado en el ratio de inversión, o coste del dispositivo frente al agua que permite gestionar. Los ratios para dispositivos MAR superficiales **rondan 1/5 del ratio de las presas**, mientras que para sondeos profundos/ASR el ratio es parecido.

Técnicas de Tratamiento de suelo y Acuífero (SATs) y diseños mejorados aplicados a la agro-hidrología.

A partir de la descripción y análisis de las distintas tipologías de impactos negativos y problemas encontrados en los dispositivos MAR, se proponen binomios "problema-solución" de carácter aplicado y basados en SATs, como:

aplicación de técnicas MAR: Fuentes de contaminación, riesgos, condicionantes, demandas, tendencias y ventas. Con ellos se han elaborado indicadores medioambientales tipo PER (Friends & Raport, 1979), aplicando además un sistema de rangos-pesos. Veamos cómo se han diseñado estos criterios:

- Fuentes de contaminación: Determinados usos ya establecidos provocan determinados riesgos de contaminación, atendiendo a la forma de dispersión (la difusa es más difícil de controlar pero la puntual suele ser más grave en sus efectos inmediatos) y a su origen: Cada una implica la existencia de riesgos para la calidad del agua a recargar. Los nitratos, restos de componentes químicos de síntesis o sólidos arrastrados requieren diferentes tratamientos antes de usar un aporte de origen agroganadero, industrial o de escorrentía natural para la recarga. Se han diferenciado contaminación urbana, agraria, ganadera, industrial y por sólidos en suspensión.

- Riesgos: La localización o uso del terreno determina riesgo que pueden poner en peligro la viabilidad de la recarga o la necesidad de dicha actuación. Se han propuesto la intercepción de filjos (acuíferos y escorrentías), vertidos accidentales, presencia de endemismos biológicos, intrusión salina o marina y efectos sobre la salud.

- Condicionantes: Existen características intrínsecas al uso o a la asociación que exigen un tipo u otro de dispositivo MAR o simplemente determinan que dicha recarga no supere ciertas limitaciones, tales como alta pendiente, alta escorrentía, cota alta, lámina libre de agua continua o temporal, freático alto y existencia de periodos secos.

- Demandas: Las necesidades varían no solo en cuanto a calidad exigible sino también a su distribución espacial y temporal. Se han propuesto: agua potable, recreativa (baño), ecológica, refrigeración, riego y energía hidroeléctrica.

- Tendencias: De cara a una viabilidad y rentabilidad de los dispositivos, es preciso evaluar tanto los usos actuales como las tendencias que se esperan en dichos usos. Se proponen: intensificación, sensibilidad al cambio climático, demanda potencial de riego y zona preferente de restauración.

- Ventas: Se han propuesto: generación de retornos, filtro verde, localización zonas de recarga, descarga lenta, fuente para desaladoras y para depuradoras.

profundidad del nivel del agua, la permeabilidad de los acuíferos y sus coeficientes de almacenamiento.

El resultado es que el subsuelo español (excluyendo las islas Canarias) tiene una cabida media aproximada de $2 \text{ hm}^3/\text{km}^2$ en las Zonas MAR, es decir, **el volumen almacenado en las presas podría almacenarse en los acuíferos en un 260%**, salvaguardando su calidad y con plena viabilidad, permitiendo además la ocupación superficial del terreno.

Aspectos medioambientales

Metodología para determinar los caudales ambientales en los cauces de toma

La toma de caudales desde cauces fluviales y depuradoras debe tener en cuenta los caudales ambientales, si bien, gran parte del agua derivada para recarga artificial (en adelante, AR) forma parte del caudal ambiental, al quedar retenida en el espacio y tiempo. Se ha diseñado una metodología basada en **consideraciones climáticas, temporales, espaciales y del subsuelo de cada cauce**. Los principales aspectos a tener en consideración en cada estudio individualizado son:

- Debe clasificarse los tramos de río, así como decidir que clasificaciones van a considerarse como prioritarias
- Debe definirse con precisión el nivel de detalle del estudio, y cuáles son las principales especies objetivo de los diferentes tipos de cauces.
- Debe decidirse si se van a evaluar tramos concretos o cuencas en su conjunto.
- En todas las zonas que se quieran evaluar, es necesario conocer todas las concesiones de extracción de agua de los cauces, las presas y minicentrales.
- La determinación de los caudales debe aunar, además de los criterios mencionados, objetivos geomorfológicos, riparios, de calidad de las aguas, de fauna silvestre del ecosistema fluvial y/o litoral (en su caso), cantidad y calidad de las aguas subterráneas, valores paisajísticos, uso público, etc.

Planificación ambiental

En planificación ambiental se ha adoptado una metodología basada en seis grupos de criterios ambientales básicos para cuestionar la

Este sistema ha permitido identificar algunas zonas MAR de muy alta idoneidad. Por ejemplo, el acuífero del Bajo Guadalhorce (Málaga), considerando aguas procedentes del río y de una depuradora. En esta zona se concentran hasta 11 dispositivos MAR (Figura 4).



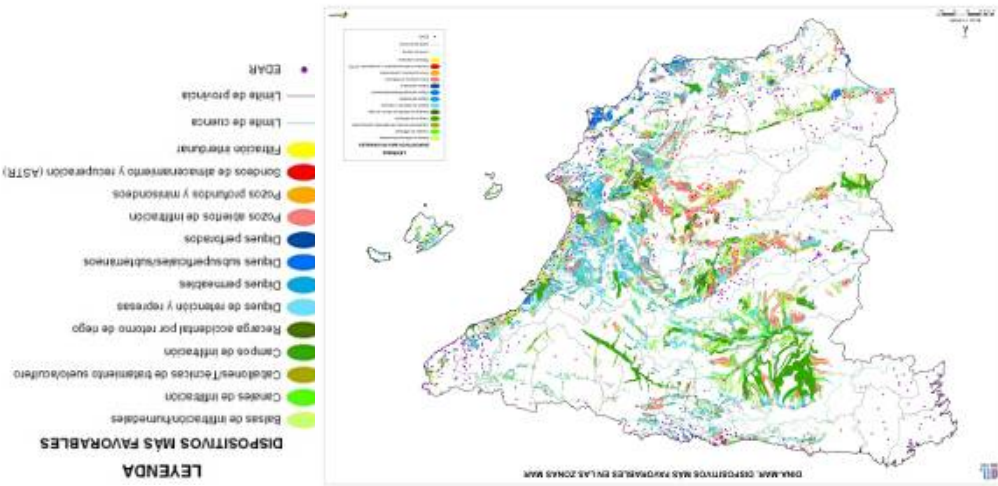
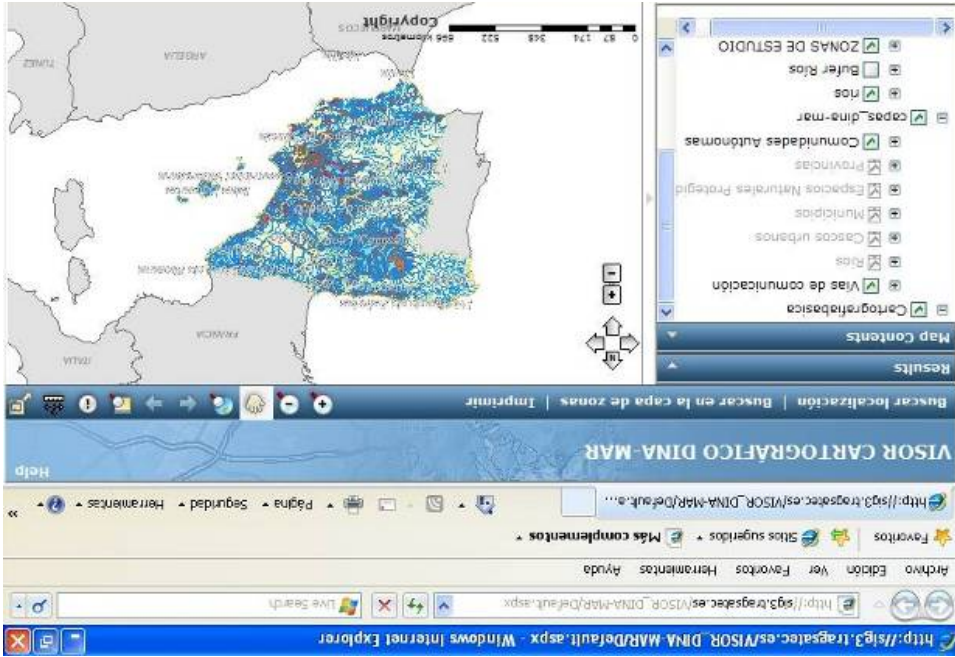
Figura 4. Ejemplo para el acuífero del Bajo Guadalhorce (Málaga). Propuesta de la ubicación de dispositivos MAR, obtenido con el sistema matricial rangos-pesos designado "Hidrogeopoortal DINA-MAR".

Potencial de la técnica MAR en España

Partiendo de la premisa defendida en DINA-MAR de que nuestro futuro en materia de aguas pasa por nuestra capacidad para almacenarla, se ha realizado un cálculo del potencial de almacenamiento en los acuíferos de España actualmente desaturados frente a la capacidad de almacenamiento en las presas.

Partiendo del almacenamiento en embalses en España en enero de 2005, que ascendía a 53.198 hm³, y la determinación de las "Zonas MAR", se ha hecho un cálculo con apoyo GIS basado en la

Figuras 3 a) y b). Cartografía provisional con la atribución de los dispositivos MAR más idóneos para cada "zona MAR" y aspecto del "Hidrogeoportal".



Los principales criterios de asociación considerados, apoyados en capas y coberturas temáticas, se ha basado en un sistema de rangos-pesos.

Los rangos establecidos han sido la distribución de permeabilidades, litologías, contaminación por nitratos, zonas regables y origen del regadío, cercanía a bosques, depuradoras (con su tipo de tratamiento), embalses (con su capacidad asociada), humedales, ríos (con su caudal medio asociado), a la costa y a acueductos importantes; pendiente, altura, riesgo de inundación, nivel del agua, calidad de las aguas, estaciones meteorológicas con excedentes hídricos y áreas urbanas principalmente. Los pesos van entre cero (inadecuado) y tres (muy favorable).

Creando una estructura relacional entre factores físicos e indicadores con respaldo GIS y los dispositivos MAR, se ha diseñado y automatizado una matriz de asociación que alimenta al Hidrogeoportal DINA-MAR (Tabla 3). El resultado es una cartografía a gran escala con una jerarquización de cuáles son los dispositivos más recomendables hasta los inviables (Figura 3) para las "Zonas MAR" deducidas.

Las cuencas más idóneas son Duero y Baleares; y las menos las del norte y Guadalquivir.

Para facilitar la identificación de las "Zonas MAR" se han elaborado 11 mapas coropléticos por cuencas hidrográficas. Un ejemplo de los resultados para la cuenca más idónea se presenta como figura 2. La totalidad de las cartografías se encuentran en [www.dina-mar.es](http://www.dina-mar.es/post/2012/03/12/Mapas-DINA-MAR.aspx).

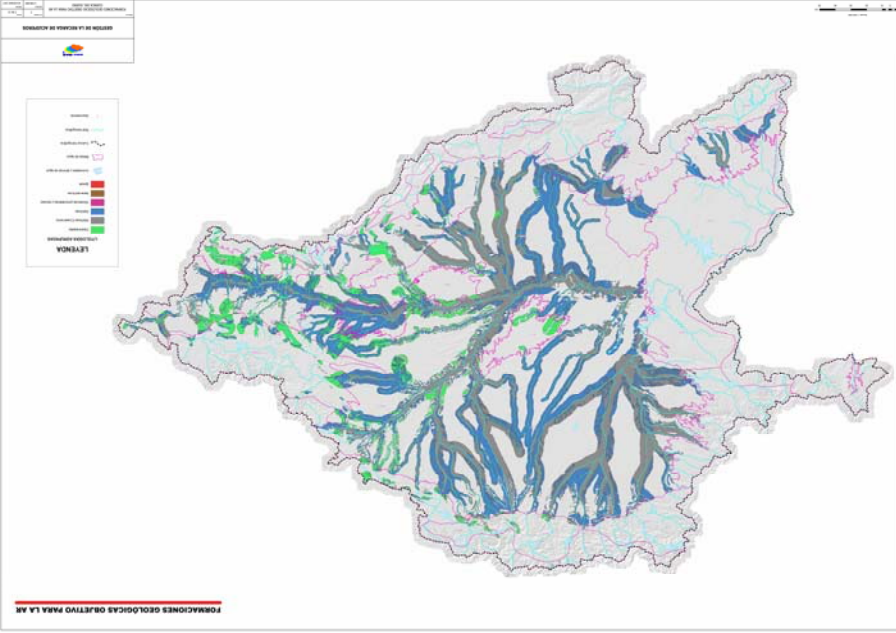


Figura 2. Distribución de las "zonas MAR" en la cuenca del río Duero, las más proclive a la recarga gestionada del territorio español.

Busqueda de criterios para asociar dispositivos con cada "zona MAR"

Con los elementos físicos bien definidos y conociendo las especificaciones de los **23 dispositivos de AR** inventariados, se ha diseñado y automatizado un sistema de rangos-pesos, de modo que cada dispositivo recibe un peso según su idoneidad y ajuste a las características físicas y a los restantes indicadores con respaldo GIS.

Estudio para la determinación de las "Zonas MAR" en España y atribución del dispositivo más idóneo

Se ha llevado a cabo un complejo proceso basado en GIS para determinar las zonas de España susceptibles de aplicar técnicas de Managed Aquifer Recharge, que han sido designadas "Zonas MAR", con aguas de origen fluvial y de depuradoras.

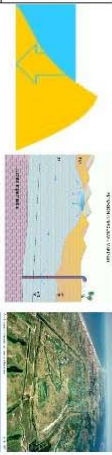
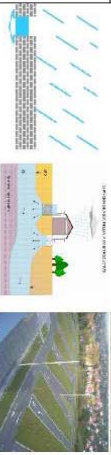
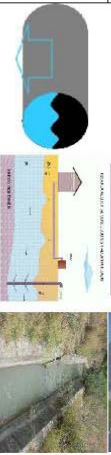
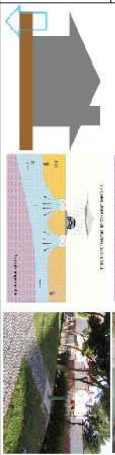
El proceso ha sido iterativo, probando diferentes opciones de álgebra de mapas reducidas con hasta 83 capas y coberturas GIS. Cabe destacar la capa de afloramientos permeables, litología, acuíferos, nivel del agua, cauces fluviales, depuradoras, estaciones de atoro con medidas excedentarias, pendientes, altitud, distancia a la costa, etc. La componente de R+D principal se ha basado en estudiar qué secuencia deductiva conducía a resultados similares a los inventarios ya existentes. Tras varios ensayos se han definido las "Zonas MAR" en España, cuya agrupación por cuencas hidrográficas figura en la tabla 2.

ID	CUENCA	total MAR en cuenca (km ²)	Sup. total cuenca (km ²)	% cuenca	% total
1	NORTE	1.952,98	53.780,90	3,63	2,92
2	DUERO	21.565,45	78.955,69	27,31	32,26
3	TAJO	10.186,19	55.814,90	18,25	15,24
4	GUADIANA	5.183,57	60.125,19	8,62	7,75
5	GUADALQUIVIR	4.878,02	63.298,10	7,71	7,3
6	SUR	1.457,55	18.408,22	7,92	2,18
7	SEGURA	2.282,97	18.833,04	12,12	3,41
8	JUCAR	7.891,79	42.682,26	18,49	11,8
9	EBRO	8.686,32	85.936,39	10,11	12,99
10	PIRINEO	1.746	16.555,28	10,55	2,61
11	BALEARES	1.023,07	5.038,33	20,31	1,53
	TOTAL	66.853,9	499.428,31	13,39	100


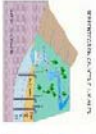





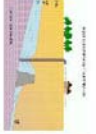


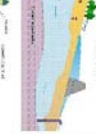


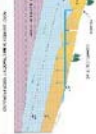





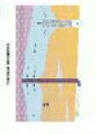





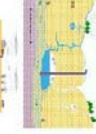


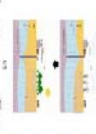


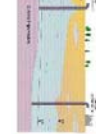

Tabla 2. Datos relativos a la distribución de zonas MAR por cuencas (o demarcaciones) hidrográficas. Columnas: superficies de la cuenca y de la "zona MAR" circunscrita en ella y porcentaje que representa respecto a cada cuenca y al área MAR total.

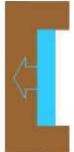


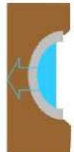



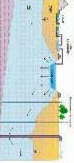





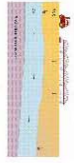







Aproximadamente un 16 % (67.000 km²) del territorio de España peninsular e Islas Baleares es susceptible a la gestión de la recarga.

Tabla 1. Listado e inventario de dispositivos de gestión de la recarga de acuíferos (MAR) agrupados por tipologías (basado en Gale, 2005).

19	BANCOS FILTRANTES EN LECHOS DE RÍOS (REF)		<p>Sistema RBF para IAR en Eritrea. Foto: A. Twinhof.</p>
20	FILTRACION INTERDUNAR		<p>Filtración interdunar cerca de Amsterdam, Holanda. Foto: Atlas.</p>
21	RIESGO SUBTERRANEO		<p>Riesgo subterráneo en Andalucía. Foto: Targisa.</p>
22	LLUVIA CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA EN IMPRODUCTIVO		<p>Captación de lluvia en improductivo para IAR.</p>
23	RECARGA ACCIDENTAL CONDUCCIONES Y ALCANTARILLADO		<p>Recarga artificial desde el alcantarillado en España. Foto: Targisa</p>
24	SUDS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE		<p>SUDS, Gomeznarro, Madrid. Foto: EF Escalante.</p>



8	SEMPRINTOS / LEVERES				Sempres en el río Santa Ana, Concedo en Orange, California. Foto: A. Hutchinson.
CAVALES					
9	ESCALA POCACION LECHIC				Escalera de la Poca en el río Betsu, Barcelona. Foto: J. Armentier.
10	DIQUES SUSCRUPICUALES SUTERRANEOS				Dique subterráneo en el río de la Poca en el río Betsu, Barcelona. Foto: J. Armentier.
11	DIQUES PERFORADOS				Dique perforado, Languedoc, Francia. Foto: T. Armentier.
12	GRANIS (BAJASAS SUTERRANEAS)				Canal de Carbonero en el río de la Poca en el río Betsu, Barcelona. Foto: J. Armentier.
13	POZOS ABIERTOS DE INFILTRACION				Pozo abierto de infiltración, Arizona, USA. Foto: DINA MARR.
14	POZOS PROFUNDOS Y ANISOTROPICOS				Pozo de recarga artificial, Cornellá, Barcelona. Foto: D. Vázquez.
15	POZOS SONDEOS				Sondeo para MAR (ASRI) en Alcalá de Henares, P. D. Bona.
16	COLINAS, COLAPSO...				Colapso clásico "El Hundimiento" Alcalá de Henares, España. Foto: D. Vázquez.
17	ASRI				Dispositivo ASRI en Seaside, Arizona. Foto: DINA MARR.
18	ASTR				Dispositivo ASTR en California.

N SISTEMA	TIPO DE DISPOSITIVO	ICONO	FIGURA	FOTO	LEYENDA
1	BALSA DE INFILTRACION / HUMEDALES				Humedal artificial para la recarga del Suroeste, Coca, Segovia. Foto: DINA-MAR
2	CANALES Y ZANJAS DE INFILTRACION				Canal de recarga artificial de la Ciénaga de Santisteban, Segovia, Spain, operativa desde 2002. Foto: DINA-MAR.
3	DISPERSION CABALLONES TÉCNICAS DE TRATAMIENTO SUPERACUÍFERO				Caballos en el fondo de una balsa de infiltración, California. Foto: D. Peyron
4	CAMPOS DE INFILTRACION (INUNDACION Y DIFUSION CONTROLADA)				Campo de infiltración de Ondel (Namibia). Foto: G. Tredoux.
5	RECARGA ACCIDENTAL POR RETORNOS DE RIEGO				Recarga artificial por retornos de riego, Extremadura, España.
6	DIQUES DE RETENCION Y REPRESAS				Dique de recarga artificial en cabecera de cuencas, Alicante. Foto: DINA-MAR
7	DIQUES PERMEABLES				Dique permeable en Huesca, España. Foto: Trajastec.

SISTEMA	TIPO DE DISPOSITIVO
DISPERSION	BALSAS DE INFILTRACION
	CANALES DE INFILTRACION
	TÉCNICAS DE TRATAMIENTO SUELO/ACUÍFERO
	CAMPOS DE INFILTRACION
CANALES	RECARGA POR RETORNOS DE RIEGO
	DIQUES DE RETENCIÓN Y REPRESAS
	DIQUES PERMEABLES
	SERPENTESOS
	ESCARIFICACIÓN LECHO
	DIQUES SUBSUPERFICIALES/SUBTERRÁNEOS
POZO	DIQUES PERFORADOS
	QANATS (GALERÍAS SUBTERRÁNEAS)
	POZOS ABIERTOS DE INFILTRACION
	POZOS PROFUNDOS Y MINISONDEOS
	SONDEOS
	DOLINAS, COLAPSOS... ASR/ASTR
FILTRACION	BANCOS FILTRANTES EN LECHOS DE RIOS (RBF)
	FILTRACION INTERDUNAR
	RIEGO SUBTERRANEO
	CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA EN IMPRODUCTIVO
LLUVIA	
SUDS	ALCANTARILLADO
	RECARGA ACCIDENTAL CONDUCCIONES Y SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

contras de una técnica de gestión hídrica que está dejando de ser "especial" o "alternativa" para pasar a ser vanguardista.



Figura 1. Banner del documental designado "DINA-MAR movie". <http://www.dina-mar.es/post/2012/06/02/DINA-MAR-MOVIE-Video-divulgativo-sobre-la-gestion-de-la-recarga-de-acuiferos.aspx>

RESUMEN DEL PROYECTO DINA-MAR, PROYECTO PARA EL ESTUDIO DE LA GESTIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS EN EL MARCO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE, Y DE LA JORNADA TÉCNICA DE CIERRE.

Las aportaciones de los autores pretenden dar una visión general y presentar resultados y conclusiones de las distintas líneas de acción, aglutinando distintos puntos de vista y enfoques de la gestión hídrica integral.

Inventario de dispositivos genéricos existentes y propuesta de otros "nuevos"

El punto de partida ha sido el inventario de dispositivos genéricos existentes a nivel mundial, elaborando un catálogo de experiencias prácticas. Estos han sido agrupados de acuerdo con la clasificación de Gale, 2005. A los 15 de esta clasificación, con ligeras modificaciones, se han añadido y definido ocho más (Tabla 1), basados, en general, en variaciones de sistemas de riego que incrementan el retorno a los acuíferos y la implantación de técnicas MAR en zonas urbanas.

SOSTENIBILIDAD RECARGABLE “LA LLAVE EN EL ALMACÉN”

¿Cómo estar a cargo de nuestro futuro?



INTRODUCCIÓN

Desde 2007 y hasta mediados de 2011 el Grupo Tragsa ha financiado el proyecto de I+D+I DINA-MAR, “Gestión de la recarga de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible”. El proyecto ha estado centrado en estudios sobre la gestión de la recarga de acuíferos desde varias perspectivas y sobre sus posibilidades de consolidación como una técnica de gestión hídrica de gran calado.

En octubre de 2010 fue publicado un libro recopilando las aportaciones más importantes del equipo investigador, titulado: “DINA-MAR. La gestión de la recarga artificial de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible: Desarrollo tecnológico”, con 496 páginas escritas en español. El libro recopilaba visiones y resultados de técnicos de más de ocho titulaciones diferentes. No obstante quedaron algunos aspectos fuera, tales como las aportaciones y conclusiones alcanzadas en las reuniones de coordinación, formales e informales, y en los dos Workshops celebrados en el transcurso del proyecto. Con objeto de unificar aportaciones emanadas de distintos agentes a lo largo de cuatro años, se ha elaborado la presente síntesis de la publicación final, adicional y complementaria a la mencionada, que se presenta además a los técnicos de habla inglesa.

El texto cuenta con cuatro apartados, un resumen del Workshop celebrado el 30 de junio de 2008, un resumen y conclusiones de la publicación final y un nuevo relato del Workshop de cierre celebrado el 25 de mayo de 2011 y unas conclusiones generales del proyecto. Al tratarse de un proceso de aprendizaje continuo, la publicación carece del habitual apartado de conclusiones, dado que ocupa todo el libro, así como la bibliografía, de la que se aportan solo dos reseñas, al tener un amplio desarrollo en el libro al que complementa. Deseamos que resulte de interés y cumpla la misión para la que se ha hecho, la difusión, transferencia tecnológica y estudio de pros y

Autores:

Enrique Fernández Escalante (Tragsa)
Jon San Sebastián Sauto (Tragsatec)

Colaboradores (DINA-MAR, Grupo Tragsa):

María Ángeles San Miguel Fraile
Ignacio Prieto Leache
Oscar Martínez Tejero
Pedro Briones García
Francisco Javier Castaños Jover

Revisores de la versión española:

Mario Luria (USA)

Revisores de la versión inglesa:

Jordan Clark (California)
Stephanie Diaz (California)

Agradecimientos especiales para:

Stephanie Moore (Nuevo México)
José Antonio de la Orden (IGME, España)
Catalina Sesmero (Cobre las Cruces, España)
Ilka Sobowale (Nigeria)
Peter Dillon (Australia)
Ian Gale (UK)
Wang Weiping (China)
Adriana Palma (México)
Haim Cikurel (Israel)



DINA-MAR cuenta con el apoyo de:



Mayo de 2012

ISBN - 10: 84-615-8704-9/ISBN 13: 978-84-615-8704-9 (03/05/2012)
Depósito Legal: M-21039-2012

(c) Reservados todos los derechos de la parte registrada.



La llave en el almacén



Sostenibilidad: RECARGABLE: