

El hidrogeoportal DINA-MAR. Aplicación en soporte GIS para determinar zonas susceptibles de aplicar técnicas de recarga gestionada en España

E. Fernández Escalante⁽¹⁾, M^a A. San Miguel Fraile⁽²⁾, F. Sánchez Serrano⁽²⁾

(1) Tragsa I+D+i, Conde Peñalver 84. 28006. Madrid
efernan6@tragsa.es

(2) Tragsatec, Julián Camarillo 6b. 28037. Madrid
masm@tragsa.es

RESUMEN

En este artículo se describe el procedimiento llevado a cabo por el equipo de investigación del proyecto DINA-MAR para determinar aquellas zonas comprendidas en España peninsular e islas Baleares susceptibles de aplicar técnicas de recarga gestionada de acuíferos o, conforme a su acrónimo en inglés, MAR. Estas áreas se han designado "Zonas MAR".

El procedimiento de cálculo ha sido secuencial, desde simples relaciones o ratios al empleo de herramientas y métodos avanzados basados en sistemas de información geográfica durante tres años.

En una segunda fase se han llevado a cabo cálculos para determinar qué tipo de dispositivos resultarían más idóneos para cada "zona MAR". Finalmente se han realizado estimaciones sobre el coste medio de las instalaciones y obras precisas para la implementación de la técnica en cada "zona MAR", conforme al origen del agua y con objeto de estudiar la viabilidad de implementar nuevas actuaciones.

A partir de los resultados obtenidos, se ha diseñado una nueva herramienta denominada "hidrogeoportal DINA-MAR", disponible en Internet, como medio para proporcionar una información de partida a los gestores españoles en materia de gestión hídrica integral.

Los resultados de cada fase han sido relacionados con los de la fase previa, generando series de mapas específicos con alta carga de innovación. Estas nuevas cartografías constituyen unas pautas para futuros proyectos de recarga gestionada a disposición de los hidrogestores y profesionales involucrados en la toma de decisiones de este tipo.

El artículo detalla las diferentes etapas de esta línea de acción específica del proyecto DINA-MAR y explica cómo se han realizado los cálculos principales.

Palabras clave: DINA-MAR, hidrogeoportal, Recarga gestionada de acuíferos, zonas MAR, SIG.

The DINA-MAR hydrogeoportal. A GIS based application for determining the most suitable areas to apply MAR technique in Spain

ABSTRACT

The article describes the procedure used during the DINA-MAR R&D project to determine those zones especially suitable for applying managed aquifer recharge (MAR) techniques (denominated MAR zones) in the Spanish Iberian Peninsula and the Balearic islands.

The procedure was based on a consecutive approach, from simple ratios to an advanced GIS based methodology, which lasted for three years. A second phase was carried out to find out the best facilities to be implemented in each "MAR zone". Finally an estimate related to the average costs for MAR facilities and building work, depending on the water origin, was made to study the feasibility of implementing new activities.

On the basis of these calculations, a final tool was designed, called the "hydrogeoportal DINA-MAR", which is now available on the Internet, as a means to provide a certain support to Spanish decision makers and experts in integrated water resource management.

These results have been linked to those of the previous stage, providing innovative and specific mapping for each phase. Such novel and unusual mapping provides valuable guidelines for the future development of MAR projects, making it an invaluable tool for water managers and practitioners to use prior to making any decision.

This paper describes the different steps in this line of action and explains how the calculi have been done.

Key words: DINA-MAR, hydrogeoportal, managed aquifer recharge, MAR Zones, GIS.

Introduction and methods

This paper describes the economic aspects that should be taken into account during a DINA-MAR project, from simple ratios to advanced proposals based on GIS, related to the price of managed aquifer recharge (MAR) water, in order to study the feasibility of implementing new building work and provide a certain support to Spanish decision makers.

DINA-MAR (Depth Investigation of New Areas for Managed Aquifer Recharge in Spain) is a project financed by the Tragsa Group, with the aim of determining the most suitable areas for MAR activities within the Spanish territory and how to implement them.

As far as project development is concerned, three different lines of action have been accomplished and are presented in this paper.

Firstly, an advanced GIS method (Table 1 and Figures 1 to 4) has allowed the study and determination of "MAR zones" in Spain (Table 2), and, once the zones have been designated, the most ideal devices, according to the inventory of 24 categories (Figure 8) proposed in the project, (DINA-MAR, 2010) have been defined.

Secondly, many examples for statistical treatment were collected and the the average life of the devices was evaluated and compared to the cost of dams and irrigation ponds. This data is presented in Table 4.

Finally, two alternatives based on the origin of the water sources, either fluvial or sewage water were then compared and both of them have been budgeted (Table 5).

The first option consists of a diversion structure for running water from a river, and an adequate aquifer for underground storage. Different premises have been taken into account according to the available flow, ease of application, suitability and feasibility studies and costs, including exploitation and maintenance costs (Tables 4 and 5).

The second option consists of utilization of reclaimed water for managed aquifer recharge by means of a deep injection across boreholes and wells, generally located in the vicinity of the sewage treatment plants. Economic studies have considered flow availability, tertiary treatment, osmotization, insertion into aquifers, building work and conservation costs, plus studies and project expenses.

Taking as a starting point the maps of potential sites or MAR zones for MAR in the Spanish Iberian Peninsula and the Balearic Islands and the results of the economic studies (Figure 11), we proposed a new specific mapping of the total expected costs for all the MAR zones (€/m³), depending on the device considered most appropriate in each case (Figure 10). Such novel and unusual mapping provides valuable guidelines for future development of managed aquifer recharge projects, and water managers and practitioners should take note of these innovative results.

The methodological approach consists of a GIS study based on ARC/GIS and DINA-MAP programs to determine the most appropriate areas in Spain for the application of MAR techniques which have been designated MAR zones; with potential fluvial and waste water treatment plants origins (Tables 2 & 3, Figures 10 to 12).

The process has been reiterative, testing different algebraic map options on reductive maps with up to 79 layers and GIS coverage. Permeable outcrop layers, lithology, aquifers, water levels, fluvial riverbeds, purifying plants, data collection stations with superfluous measurements, inclines, altitude, distance to the coast, etc. have been loaded into the system and taken into consideration (Tables 1, 4 & Figure 9).

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 coverage employed. The unifying effort has been especially relevant.

23 main layers have been used, with the assigned original numbers (from Table 1):

- 9 Geology of Spain, scale 1:200 000. MMA, 2006
- 10 Control of nitrates in groundwater networks
- 11 Vulnerable areas due to nitrates
- 12 Irrigated areas and water sources
- 13 Concentric polygons around rivers and reservoirs
- 14 Risk of flooding layer
- 15 Tilt-cartography layer
- 16 Tagus-Segura aqueducts
- 17 Quality of water: conductivity
- 18 Mines in aquifers, MMA, 2006
- 19 Groundwater piezometric monitoring network
- 20 Forest mapping for Spain, scale 1:50 000)
- 21 Hydrogeological-unit layer
- 22 Sewage-treatment plants.
- 23 Detailed urban areas
- 24 Marine intrusion control networks

- 25 Altitude
- 26 Drylands
- 27 Watersheds with water surplus
- 28 Distance from the shore
- 29 Dune systems
- 30 Administrative boundaries
- 31 Current MAR sites layer

Results and discussion

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, finally adopting the procedure that concurred with the current distributions of MAR activities in Spain, previous to any calculation (a detailed explanation can be found at DINA-MAR, 2010).

In order to study the attribution of the most ideal devices for each "MAR zone" the inventory of 24 devices (Table 8) proposed by the same authors has been distributed and classified according to their characteristics and their most suitable environments.

A vast sum of "what-if" conditions have been loaded into the system for each device or technique, in order to obtain a group of ranked results for each area according to the specific conditions.

A system of grade-weights has also been applied, after studying each device individually, and is presented as values in the "weight" column of Table 4.

After estimating the cost of the different building work carried by the Tragsa Group for the Spanish government, classified according to the origin of the water, a new specific mapping is proposed for total expected costs for all "MAR zones" (€/m³), depending on the device considered most appropriate for each case and featuring a series of alternatives classified according to their technical suitability and price (Table 5).

The final cartographic viewer has been called "HydroGeoportal DINA-MAR" and has been uploaded on the Internet at http://sig3.tragsatec.es/visor_dina-mar/ (Figures 12 to 17).

These detailed calculations carried with full scientific rigor are necessary to support the results and justify future actions to be implemented. Despite the fact that calculations might not be completely accurate, they should encourage water managers to consider this possibility and to determine costs prior decision making.

It is essential to study in depth the economic aspects of MAR techniques as well as to make a contingent evaluation on environmental and social aspects. The communication of these results to industries related to MAR water, such as agro-industries, desalination agents, waste water treatment agents, golf courses and so on is also considered a priority. New designs should encompass as many "low cost" devices as possible.

The research presented here could be applied, with the necessary changes and modifications, in other countries. One aspect to consider especially for detailed calculations of the "MAR zones" should be the terrain conditions which may be very different to Spain, as this is a determinant of surface runoff (plains, plateaus, moors) as well as the groundwater flow. It is also desirable to clarify the application of MAR techniques in heavily deforested areas.

Introducción

Este artículo describe los procesos relacionados con la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS) en la deducción de las zonas de España favorables para aplicar técnicas de Gestión de la Recarga de Acuíferos, que han sido designadas "Zonas MAR", el proceso para deducir el tipo de dispositivo más idóneo para cada una, la estimación económica de su coste y su incorporación a un visor cartográfico, que se ha designado el "Hidrogeoportal".

Para el primero de los procesos se han empleado hasta 79 capas y coberturas temáticas, mientras que el segundo se ha realizado con 18. La estimación de costes se basa en costes de obras reales ejecutadas en España por el organismo financiador del proyecto. La componente principal de I+D ha

estado en la determinación de la secuencia deductiva más idónea de todas las posibles, generando un nuevo proceso y una nueva herramienta, llamada el "Hidrogeoportal DINA-MAR", dotada de una alta carga de innovación.

El trabajo he requerido tres años de dedicación y se ha desarrollado en el marco del proyecto de I+D+i DINA-MAR (Depth Investigation of New Areas for Managed Aquifer Recharge), financiado por el Gobierno de España a través del Grupo Tragsa.

Definición del ámbito de estudio

En este trabajo se van a estudiar las zonas susceptibles para recarga artificial de acuíferos del territorio español en la península y Baleares.

En una primera aproximación se parte del límite nacional y se seleccionan los recintos de superficie superior a 10 km², con este proceso la zona de estudio se circunscribe al territorio peninsular y a las cinco islas mayores de Baleares.

De todo este territorio, las áreas más convenientes para la recarga artificial de acuíferos van a ser las áreas próximas a la red hidrográfica principal, que se definen a partir de las capas de embalses de la Base Cartográfico Numérica BCN2000 y humedales, ríos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento para la península, ríos de la BCN2000 de Baleares y puntos de aforo en los ríos del CEDEX.

Metodología

La línea de acción se ha basado en el empleo de sistemas de información geográfica (SIG) empleando los programas DINA-MAP y Arc/Gis de Esri, versión 9.3.

El cálculo de las zonas MAR se ha basado en la interrelación, mediante un proceso deductivo, de hasta

79 capas y coberturas temáticas de diferentes fuentes y orígenes. En general se han tenido en cuenta dos tipos de agua para la recarga, de origen fluvial y de depuradoras. En la tabla 1 aparece la totalidad de capas y coberturas empleadas.

El proceso de cálculo ha sido iterativo y reductivo, probando diferentes opciones de algebra de mapas en las aplicaciones GIS mencionadas.

Este proceso de análisis GIS ha contado con dos limitaciones importantes en el procesado de la información: diferentes sistemas de proyección de las capas y coberturas, dado que procedían de orígenes muy diversos, y la coincidencia incorrecta o inexacta de los límites de las distintas capas temáticas. A esto hay que añadir la elevada carga burocrática asociada a la solicitud de autorizaciones para el uso de esta información.

El esfuerzo para unificar la información de las 79 capas para una misma proyección y límites coincidentes ha sido especialmente relevante, ocupando más de un año de actividad de los técnicos del equipo de cartografía de Tragsatec.

Capa	Contenido
Afloramientos.shp.	Afloramientos permeables (2003)
permeab.shp	Afloramientos permeables MMA 2006
litolog.dbf	Geología de España a escala 1:200.000, MMA 2006
UH2_04.shp	Uds. Hidrogeológicas
UH2_04_sobreexp.shp	Unidades Hidrogeológicas sobreexplotadas
Muni06_Pob.shp	Municipios y zonas con descenso de población
ccaa.shp	Comunidades autónomas
provincial	Cartografía provincial
hoj25	Hojas topográficas a escala 1:25.000
NO3.shp	Red de control de nitratos en las aguas subterráneas
RegPNR_03.shp	Regadíos del Plan Nacional de Regadíos
RG_03_Subterr.shp	Regadíos con aguas subterráneas
Zonas_Vulnerables.shp	Zonas declaradas vulnerables 2005
Riod0050ceh.shp	Cauces fluviales (CEDEX)
hidro_buf2.shp	Polígonos concéntricos distantes de 1 a 5 km de los cauces
Embalses.shp	Representación de los embalses de la Base Cartográfico Numérica del IGN
Emb_buf.shp	Representación de las áreas que distan hasta 1 km de los embalses
Hidro_buf.shp	Polígonos concéntricos a 1-5 km de los cauces (con caudal medio) / 1 km de embalses
Ctepst.shp	Áreas que se encuentran dentro de un intervalo de pendiente preestablecido
Geología.shp	Mapa Geológico de España a escala 1.000.000
faciessalinas.shp	Facies salinas (evaporitas) del mapa 1:1.000.000
evaporit.shp	Facies salinas (evaporitas) del mapa 1:200.000
LIC.shp	Lugares de Interés Comunitario (LICS) en octubre de 2005

Capa	Contenido
ZEPA.shp	Zonas Especiales de Protección de las Aves (ZEPAS) en octubre de 2005
Ramsar.cov	Humedales RAMSAR, capa del 2001
Humedales_pl.shp	Capa de humedales del 2001 e información asociada
Humedal_pt.shp	Capa de humedales (puntos)
Hum_buf.shp	Áreas que distan hasta 1 Km de los límites de los humedales
Hidro_pol.shp	Embalses, capa de la BCN200 (del 2000)
ATS/tajo_segura.shp	Acueducto Tajo-Segura
ica_sub_nue.dbf	Red ICA superficiales IGME
ica_sub_tot.shp	Red ICA subterráneas IGME
redcoca.shp	Red COCA
Calidad.shp	Calidad de las aguas MIMAM 2000
cont-nitr.shp	Calidad de las aguas. Contenido Nitratos >50 + (media)
cont-cond.shp	Calidad de las aguas. Conductividad >2500
INM.shp	Estaciones meteorológicas del INM
SIAR.shp	Estaciones meteorológicas del SIAR
Tmax.shp	Temperatura media de las máximas del mes más cálido (°C)
Tmin.shp	Temperatura media de las mínimas del mes más frío (°C).
Tm.shp	Temperatura media anual (°C).
Plu.shp	Pluviometría media anual
Etp.shp	Evapotranspiración potencial media anual
Ambitos.shp	Masas de agua subterránea. Ámbitos de actuación
Masas.shp	Masas de agua subterránea
Masinf.shp	Masas de agua subterránea desglosadas por cuencas hidrográficas
Minist_96_Ptos/Aforos	Estaciones de aforo del MMA (1996). Capa múltiple Minist_96_Ptos
Minist_96_Ptos/Calidad	Estaciones de calidad del MMA (1996). Capa múltiple Minist_96_Ptos
Minist_96_Ptos/Meteo	Estaciones meteorológicas del MMA (1996). Capa múltiple Minist_96_Ptos
Minist_96_Ptos/Minas	Datos de minas del MMA (1996). Capa múltiple Minist_96_Ptos
minas-acuif.shp	Minas en acuíferos
Minist_96_Ptos/Ptos_acuif	Puntos de Acuíferos. Capa múltiple Minist_96_Ptos
Minist_96_Ptos/Ptos_redes	Puntos de Redes. Capa múltiple Minist_96_Ptos
corine.shp	Corine Land Cover
corine.shp	Usos de suelo, obtenida del CORINE Land Cover
rios_riesgo.shp	Zonas inundables (subcuencas hidrográficas)
Acuiferos.shp	Sistemas Acuiferos de ilterreg
essbt_tipo red.shp	Redes de control de las aguas subterráneas MIMAM/Confederaciones
Ebro2piezo.shp	Red de control de las aguas subterráneas. Cuenca del Ebro
2piezo.shp	Redes de control de las aguas subterráneas 2007 + datos calidad + piezometría
mfe_mill	Masas Forestales a escala 1:1.000.000
cul_ap_62.	Mapa de cultivos y aprovechamientos 62
Mar_IGME.shp	Unidades hidrogeológicas susceptibles de recarga artificial según el IGME
Mar.shp	Dispositivos de AR operativos en España en la actualidad
redaforosm1.shp	Estaciones de aforo con datos de caudal
corine.shp	Capa de edafología

Capa	Contenido
INM_EXCESO.shp	Estaciones meteorológicas de zonas o subcuencas con excedentes hídricos
cuen.shp	Cuencas hidrográficas principales
Cuencas.shp	Subcuencas hidrográficas CEDEX
UDAs.shp	Unidades de demanda agraria
PR	Depuradoras
depura.shp	Depuradoras en la cuenca del Duero
PR	Red de control de la intrusión marina
Minist_96_Ptos/Intrusión	Est. red de control de intrusión marina del MMA (1996). Capa múltiple Minist_96_Ptos
PR	Inversiones regadíos/sequías
PR	Cartografías hidrogeológicas precisas en zonas de afloramientos permeables
urbano_bcn.shp	Áreas urbanas detalladas
EST_SAICA.shp	Red SAICA
piezometria2007	Red de control piezométrico del MMA, 2007

Tabla 1. Listado con la totalidad de las capas recopiladas, tratadas y empleadas en el proceso de cálculo y en la elaboración de las cartografías.

Table 1. List with all of the layers collected, treated and used in the calculation process and the elaboration of maps.

Proceso de análisis

En la primera fase se incorporaron todas las capas, generando nueva información de sus cruces. Se construyó una base de datos para determinar su idoneidad ante la aplicación de técnicas de recarga gestionada y, posteriormente, cuáles podrían ser los dispositivos más adecuados para cada zona.

En el proceso reductivo quedaron 23 capas para el cálculo final. Habida cuenta de la enorme cantidad de información a tratar, las capas tanto vectoriales como ráster fueron transformadas en el SIG en rejillas o *grids*, con una dimensión uniforme de 100 metros y con el mismo origen y número de celdas. La unificación se hizo en ráster para proyección UTM, ED50 y huso 30 extendido.

Las capas definitivas empleadas en el proceso han sido:

1. AFLORAMIENTOS PERMEABLES
2. GEOLOGÍA DE ESPAÑA
3. RED DE CONTROL DE NITRATOS EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
4. ZONAS DECLARADAS VULNERABLES EN 2005
5. REGADÍOS DEL PLAN NACIONAL DE REGADÍOS
6. POLÍGONOS CONCÉNTRICOS DISTANTES HASTA 2 KILÓMETROS DE LOS EMBALSES
7. POLÍGONOS CONCÉNTRICOS DISTANTES DE 1 A 5 KILÓMETROS DE LOS RÍOS
8. RIESGO DE INUNDACIÓN
9. PENDIENTE
10. ÁREAS DISTANTES HASTA UN KILÓMETRO DE LOS HUMEDALES

11. ÁREAS DISTANTES HASTA UN KILÓMETRO DEL TRASVASE TAJO-SEGURA
12. CALIDAD DE LAS AGUAS. CONDUCTIVIDAD
13. ZONAS DE INFLUENCIA DE MINAS EN ACUÍFEROS
14. USOS DEL SUELO SEGÚN CORINE
15. NATURALIDAD DEL TERRITORIO SEGÚN CORINE
16. BUFFER DE LAS ÁREAS URBANAS DETALLADAS
17. PIEZOMETRÍA SUPERFICIAL
18. PIEZOMETRÍA PROFUNDA
19. MASAS FORESTALES A ESCALA 1:50.000
20. UNIDADES HIDROLÓGICAS SUSCEPTIBLES DE RECARGA ARTIFICIAL SEGÚN EL IGME
21. BUFFER DE ESTACIONES DEPURADORAS Y HABITANTES EQUIVALENTES.
22. BUFFER DE ESTACIONES DEPURADORAS POR LAGUNAJE.
23. BUFFER DE PUNTOS DE CONTROL DE INTRUSIÓN MARINA.
24. DISTANCIA A LA COSTA
25. RANGO ALTITUDINAL
26. ZONAS ÁRIDAS
27. SUBCUENCAS CON EXCEDENTES HÍDRICOS
28. SISTEMAS DUNARES SEGÚN CORINE

El resultado final es una capa con todos los factores que intervienen en el análisis y un campo para cada uno de los dispositivos MAR. Este campo recoge un "peso" a asociar a cada rango conforme a su relevancia, con valores más altos en las zonas más favorables y los menores en las que menos para cada tipo de dispositivo (conforme al inventario de elaboración propia de la figura 8).

Cada una de estas capas y los rangos establecidos, como primera etapa del sistema de rangos-pesos final diseñado y aplicado, se describe a continuación:

1- Afloramientos permeables (Mapa litoestratigráfico y de permeabilidad de España, Ministerios de Educación y Medio Ambiente, 2006)

La información original está publicada en un DVD, con una serie de capas por cuenca hidrográfica en formato *shape*. El shape de permeabilidad es *clplit.shp*. Se han unido todas las cuencas para tener toda la información en una capa y finalmente se convierte a *ráster*. El campo empleado ha sido "PERME: permeabilidad". Los valores de permeabilidad posibles son:

- MUY ALTA
- ALTA
- MEDIA
- BAJA
- MUY BAJA

} estos dos valores no interesan a efectos de recarga

2- Geología de España (Mapa litoestratigráfico y de permeabilidad de España, Ministerios de Educación y Medio Ambiente, 2006)

Los campos usados en este aspecto han sido:
DLO: Descripción litoestratigráfica de detalle.

DCO: Agrupa la descripción de material genérica y la permeabilidad.

Se añadió un campo nuevo, llamado "*glito*", para codificar el valor del grupo litoestratigráfico. Las clases diferenciadas en este campo son:

- ALUVIAL
- DETRITICO
- KARSTICO
- METAMÓRFICO
- VOLCÁNICO
- INTRUSIVO
- EVAPORÍTICO

3- Red de control de nitratos en las aguas subterráneas (Ministerio de Medio Ambiente, 2000)

La información original es una capa de puntos en formato *shape*. El campo usado ha sido NO_3 : concentración de nitratos. Para que esta información tenga forma de superficies se realizó primero una conversión a *ráster* (el sistema asigna a cada celda un valor de concentración de nitratos en función de lo que tiene alrededor) y un valor de estratificado para dos casos: 1: < 50 y 2: ≥ 50 (figura 1).

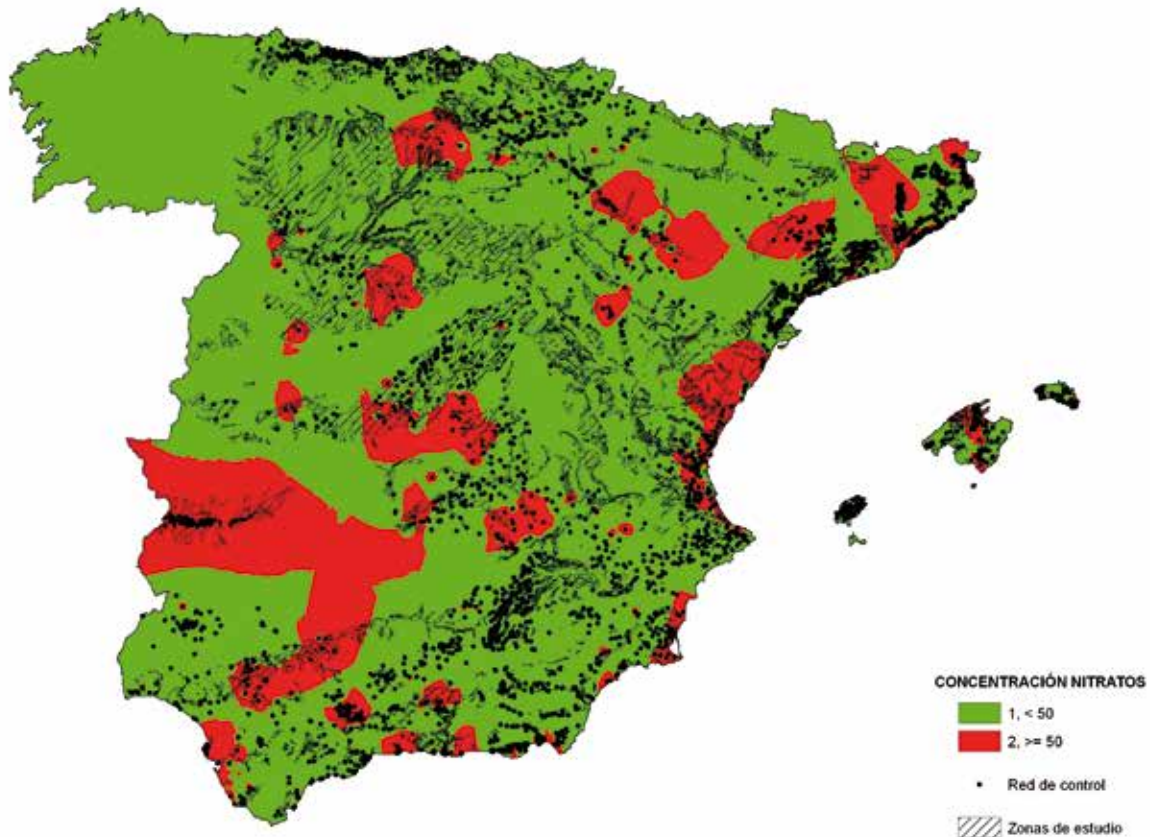


Figura 1. Polígonos por zonas vulnerables de contaminación nítrica.
Figure 1. Polygons of vulnerable areas of nitrate contamination.

4- Zonas declaradas vulnerables en 2005 (Tragsatec, 2005)

La capa de partida es un shape de polígonos de zonas vulnerables. Originalmente es una capa de puntos en formato shape. Los campos asociados son:

VUL_NOM: Nombre de la zona

VUL_COM: Comunidad autónoma en donde se localiza la zona

ID_ZONA: Identificador

Se añadió el campo NZON_VULNE que se convirtió en ráster

0: Zona no vulnerable

1: Zona vulnerable.

5- Regadíos del Plan Nacional de Regadíos (Plan de Vigilancia Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente, 2003)

La información de partida está en formato shape y en formato cobertura. La base de datos asociada es compleja, pero para el análisis de la recarga nos interesa el campo que describe el origen del agua: RG_O_AGUA: con 5 valores posibles. Se convirtió a grid mediante el atributo rg_o_agua.

1: Superficiales

2: Subterráneas

4: Retornos

5: Depuradoras

6: Desalinizadoras.

6- Representación de los embalses de la Base Cartográfica Numérica (IGN, 2000)

Representación de los embalses de la BCN, donde hay representados 785. Se han cuadrado con la capa del CEDEX utilizada como base de representación de los ríos. Cuando un mismo embalse está también en la capa de humedales, se ha sustituido el contorno del embalse por el del humedal. Sobre esta capa se ha realizado el cálculo de la superficie ocupada por embalses en España peninsular, obteniendo un área de ocupación por embalses de casi 2.745 km². Su desglose por cuencas hidrográficas queda como sigue:

Cuenca	Área (m ²)
BALEARES	1179557
DUERO	319513193
EBRO	345186571
GUADALQUIVIR	487259300
GUADIANA	547113921
JUCAR	145142369
NORTE	212642322
PIRINEO	23880494
SEGURA	69632259
SUR	58770598

Cuenca	Área (m ²)
TAJO	535385313
TOTAL:	2745705897

Tabla 2. Superficie ocupada por embalses en España (desglose por cuencas hidrográficas).

Table 2. Area occupied by dams in Spain (breakdown by big basins).

La capacidad de embalse total según datos del MI-MAM en enero de 2005 asciende a 53.198 hm³ [Fuente: hispagua (CEDEX)].

6b- Polígonos concéntricos distantes hasta 2 kilómetros de los embalses (Tragsatec, 2008)

Creada a partir de los embalses de la BCN (Base Cartográfica Nacional escala 1:200.000 del Instituto Geográfico Nacional). Se utilizó la herramienta "buffer", con una distancia de 2 km, asignando una codificación, y convertida en grid.

0: zona distancia superior a 2 km.

1: Zona distancia hasta 2 km.

7- Cauces fluviales (CEDEX)

Se trata de la red hidrográfica del CEDEX, escala 1:50.000. Esta información se corresponde sólo con los ríos peninsulares, por lo que para Baleares se ha utilizado la capa BCN2000. A los ríos se les añadió el campo médano (caudales medios oficiales según el CEDEX), calculando el valor de este campo en función de los datos de la capa de aforos. El cálculo y preparación para su incorporación en DINA-MAR (figuras 2 a y b) se realizó de la forma siguiente:

- Si un tramo de río tiene un punto de aforo, se asigna el caudal a todo el tramo.
- Si tiene más de un punto de aforo, se distribuye el tramo mediante polígonos de Thiessen (figura 2c).
- Si un tramo no tiene ningún dato de caudal, se toma el dato medio de los dos tramos contiguos.
- Si un río no tiene dato de caudal en el nacimiento, se toma el del primer tramo con dato.
- Si un río no tiene dato de caudal en la desembocadura, se toma del último tramo con dato.
- Los afluentes que no tienen datos de caudal se asigna un 10% del río al que vierten. Si vierten a uno de los ríos principales, se asigna un 10% en el curso alto y un 5% en el curso medio y bajo.

Se ha establecido una división acorde con el caudal de los ríos, que ha quedado en cinco intervalos. El procedimiento para establecerlos ha sido la selección de los ríos con dato de caudal y la clasificación automática por cuantiles mediante la aplicación Arcmap. La clasificación por cuantiles se realizó con el fin de que cada intervalo tuviera un número de elementos similar, y fue modificada varias veces durante la cali-

bración. Se añadió además un radio de influencia de 1 km alrededor de los embalses.

Solapando las dos capas anteriores, se generó la capa a representar en nuestro ámbito de estudio según el origen del agua: zonas de influencia, que distan de 1 a 5 km de los ríos en función del caudal (Hidro_buf1.shp) y/o hasta 1 km de los embalses (Hidro_buf2.shp). Con los resultados se generaron capas temáticas acordes con los criterios siguientes:

Caudal (m ³ /s)	Radio de influencia	Clase
Embalses	<=1 km	0
0 - 0,45	<=1 km	1
> 0,45 - 1,65	>1 y <=2	2
> 1,65 - 7,26	>2 y <=3	3
> 7,26 - 27,5	>3 y <=4	4
> 27,5	>4 y <=5	5

En cuanto al posible riesgo de inundación, aspecto tenido en cuenta para prever la salvaguarda de las infraestructuras, se tuvo en cuenta la capa de ríos del CEDEX con el campo riesgo (Rios_ries), asignando un riesgo de inundación a la capa de subcuencas hidrográficas del CEDEX, de modo que a cada recinto se le ha asignado el riesgo máximo de cada tramo.

sin riesgo	0
máximo	1
medio	2
mínimo	3

7b- Polígonos concéntricos distantes de 1 a 5 kilómetros de los ríos (Tragsatec, 2008)

Se crea a partir de los ríos del CEDEX para la península y de los ríos de la BCN en Baleares. Se crearon primero 5 capas con los buffer de 1, 2, 3, 4 y 5 kilómetros de radio de la envolvente. Uniendo las capas se crearon los campos "anillo" y desanillo con los valores posibles de:

- 0: Zona a distancia superior a 5 kilómetros
- 1: Zona de 0-1 km. en torno a los ríos.
- 2: 1-2 km.
- 3: 2-3 km.
- 4: 3-4 km.
- 5: 4-5 km.

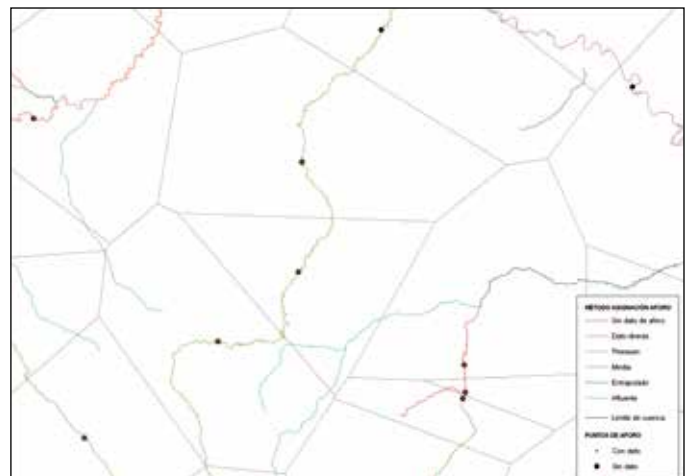


Figura 2 a), b) y c). Modo de asignación del caudal a los ríos, clasificación de los ríos en función del caudal y división de los tramos de río de acuerdo con los datos de las estaciones de aforo mediante polígonos de Thiessen.

Figure 2 a), b) and c). Mapping showing assignment mode for river flow rate. The river classification depends on the flow rate and division in river stretches according to gauge station data by Thiessen polygons.

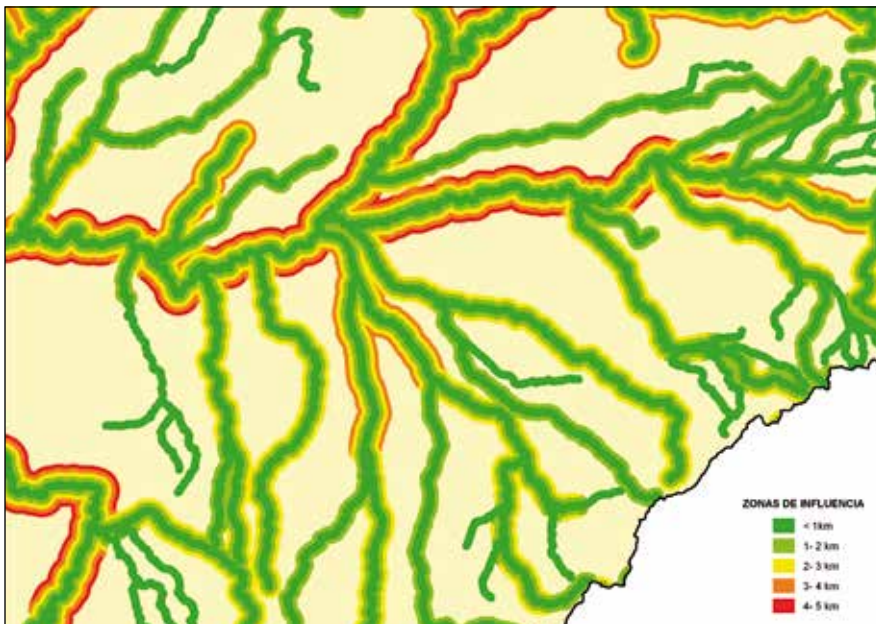


Figura 3. Polígonos concéntricos en torno a ríos.

Figure 3. Concentric polygons around rivers.

8- Riesgo de inundación (Tragsatec, 2007)

Capa creada a partir de los ríos del CEDEX con el dato de riesgo de inundación asociado. Para construir esta capa se cruzaron los ríos con las subcuencas (ambos también del CEDEX), asignando a cada subcuenca el riesgo máximo de los ríos que la atraviesan.

9- Pendiente (Tragsatec, 2007)

Se calculan a partir del Modelo Digital del Terreno de 100 m de resolución. Se calcula la pendiente, se estratifica y se convierte a vectorial suavizando. Los

intervalos de pendiente con los que trabajamos, expresados en porcentaje, son:

- 1: 0 – 10 %
- 2: 10 – 20 %
- 3: 20 – 30 %
- 4: 30 – 40 %
- 5: 40 – 50 %
- 6: > 50 %

A efectos de recarga artificial, se eliminan las áreas de pendiente superior al 50%. Los otros intervalos se

construyen para su posible relación con los distintos métodos de recarga.

10- Áreas distantes hasta un kilómetro de los humedales (Tragsatec, 2007)

Calculadas a partir de la capa de humedales. Si una zona está dentro de esta área, se valora de forma diferente para la recarga artificial; si no está en esta zona de influencia de humedales el cálculo de los dispositivos de recarga no se verá afectado.

11- Áreas distantes hasta un kilómetro del acueducto Tajo-Segura (Tragsatec, 2007)

Calculadas a partir de la línea del trasvase Tajo-Segura. Esta capa funciona de forma similar a la anterior, si una zona esta dentro de la zona de influencia de 1 km del trasvase influirá en el cálculo de dispositivos, en caso contrario, no.

12- Calidad de las aguas. Conductividad (Tragsatec, 2007)

Se crea a partir de la información de calidad de las aguas, asociada a las unidades hidrológicas y del atributo de conductividad. Se han considerado dos franjas:

1: conductividad < 2500 µS/cm

2: conductividad > 2500 µS/cm

13- Zonas de influencia de minas en acuíferos (Tragsatec, 2007)

Se calculan las zonas de influencia de 2 km en torno a la capa de minas en acuíferos con el mismo criterio que la capa 11.

14- Usos del suelo según CORINE (IGN, Ministerio de Fomento, 2000)

Se definen a partir del Corine los usos del suelo (forestal, prados y pastos y subdesértico). Estos se construyen a partir del código de 3 dígitos, y son:

Cod corine	Descripción código	Uso de suelo
311	Bosques de frondosas	Forestal
312	Bosques de coníferas	Forestal
313	Bosque mixto	Forestal
322	Landas y matorrales mesófilos	Forestal
323	Matorrales esclerófilos	Forestal
324	Matorral boscoso de transición	Forestal
231	Prados y praderas	Prados y pastos

Cod corine	Descripción código	Uso de suelo
321	Pastizales naturales	Prados y pastos
331	Playas, dunas y arenales	Subdesertico
332	Roquedo	Subdesertico
333	Espacios con vegetación escasa	Subdesertico

En el proceso de cálculo se añadió el campo uso, se calculó su valor de acuerdo con la descripción citada y se disolvió por este campo. Finalmente se convirtió a ráster.

15- Naturalidad del territorio según CORINE. (IGN, Ministerio de Fomento, 2000)

Se clasifica el territorio en función de la naturalidad, a partir del código de 3 dígitos y del de 5 dígitos, de acuerdo con la tabla de clasificación del territorio según CORINE siguiente:

Corine	Descripción código	Naturalidad
211	Tierras de labor en secano	Agrario
212	Terrenos regados permanentemente	Agrario
213	Arrozales	Agrario
221	Viñedos	Agrario
222	Frutales	Agrario
223	Olivares	Agrario
231	Prados y praderas	Agrario
241	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	Agrario
242	Mosaico de cultivos	Agrario
331	Playas, dunas y arenales	Sin vegetacion
332	Roquedo	Sin vegetacion
333	Espacios con vegetación escasa	Sin vegetacion
335	Glaciares y nieves permanentes	Glaciares y nieves permanentes

Corine	Descripción código	Naturalidad
411	Humedales y zonas pantanosas	Humedal
421	Marismas	Humedal
51120	Canales artificiales	Infraestructuras hidráulicas
122	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	Infraestructuras transporte
123	Zonas portuarias	Infraestructuras transporte
124	Aeropuertos	Infraestructuras transporte
111	Tejido urbano continuo	Urbano
112	Tejido urbano discontinuo	Urbano
132	Escombreras y vertederos	Urbano
133	Zonas en construcción	Urbano
141	Zonas verdes urbanas	Urbano
142	Instalaciones deportivas y recreativas	Urbano
121	Zonas industriales o comerciales	Industrial

El proceso de cálculo es similar al empleado en la capa 14 con el campo "naturalidad".

16- Buffer de las áreas urbanas detalladas (Tragsatec, 2009)

Esta capa se ha construido extrayendo del Corine los códigos siguientes:

111	Tejido urbano continuo
112	Tejido urbano discontinuo

En el proceso de cálculo, primero se eliminaron los límites internos. Hay núcleos urbanos que se conforman en varios recintos. Se consideraron un único núcleo cuando las partes que forman el recinto están a 400 m o a una distancia inferior. Se hace un "buffer" de la capa anterior y se cruza este "buffer" con ella. A cada recinto se le asignó un número, en función de la zona buffer de la que forma parte y del término municipal, de manera que hay núcleos mono y multiparte.

Se asignó al núcleo de mayor superficie del municipio la población total de dicho municipio, datos del INE de 2009. Finalmente se creó un buffer de 5 km para los núcleos de población mayor de 20.000

habitantes y un buffer de 1 km para los núcleos de población menor.

17- Piezometría superficial (IGME 2009)

La información de partida son las isopiezas del acuífero con su cota, los puntos utilizados con su cota y las masas de agua. Se convirtieron estos datos a ráster y se calculó la profundidad por diferencia con el modelo digital del terreno. Se establecieron cuatro intervalos:

- 1: 0 - 25
- 2: 25 - 50
- 3: 50 - 150
- 4: 150 - 200

18- Piezometría profunda 2008 (IGME 2009)

Tratamiento similar a la cobertura 17. El resultado fue reclasificado como 1 para las zonas de profundidad mayor de 200 m.

19- Masas forestales a escala 1:50.000 (Mapa Forestal de España 1:50.000, Ministerio de Medio Ambiente)

Se creó una capa de usos del suelo. Se utilizó el campo del mapa usos_general, que clasifica la superficie en los siguientes contenidos:

- Agua
- Arbolado
- Arbolado disperso
- Arbolado ralo
- Artificial
- Cultivos
- Desarbolado

Los bosques son los recintos con el atributo usos_general = 'Arbolado'. Se extrajo el mapa estos recintos y convirtió a ráster.

20- Unidades Hidrológicas susceptibles de recarga artificial (IGME, 2001)

Es una capa de recintos extraídos de la capa de Unidades hidrológicas, que se corresponde con las zonas apropiadas para la recarga artificial, según el IGME.

21- Buffer de estaciones depuradoras y habitantes equivalentes (TRAGSATEC, 2009)

Se realizó un buffer de 1 km de las estaciones depuradoras y se estratificó conforme al dato de habitantes equivalentes asociado a la EDAR.

22- Buffer de estaciones depuradoras por lagunaje (Tragsatec, 2009)

Se extrajo de la capa anterior.

23- Buffer de puntos de control de intrusión marina (Tragsatec, 2009)

Se realiza un "buffer" de los puntos de control de intrusión marina de 5 km.

24- Distancia a costa (Tragsatec, 2009)

Se realizan dos "buffer" hacia el interior del límite de la zona de estudio, considerando dos distancias de 2 y 5 km. Se cruzó con la zona de estudio y se codificó así:

- 1: Zonas de 0 a 2 kilómetros de la costa
- 2: Zonas de 2 a 5 kilómetros de la costa
- 3: Zonas a más de 5 kilómetros de la costa.

25- Rango altitudinal (Tragsatec, 2009)

Se parte del modelo digital del terreno de resolución 100 metros. Se estratificó conforme a los siguientes intervalos:

- 1: 0 - 20
- 2: 20 -1.500
- 3: > 1.500

26- Zonas áridas (Tragsatec, 2009)

Se partió de los datos de pluviometría del Instituto Meteorológico Nacional (1960-1996), para la caracterización agroclimática de España. Se estratificó en dos intervalos:

- 1: Precipitación menor de 400 mm
- 2: Precipitación mayor o igual a 400 mm

27- Estaciones meteorológicas de zonas o subcuencas con excedentes hídricos

Es una capa de recintos con las subcuencas del CEDEX con excedente hídrico. Se clasificaron las esta-

ciones meteorológicas por el campo "exceso_anu". Se consideró que las subcuencas con excedente hídrico son aquellas que tienen, al menos, una estación meteorológica con un valor superior a 100 mm para el campo "exceso_anu".

28- Sistemas dunares según CORINE (IGN, Ministerio de Fomento, 2000)

Se extrae de Corine el código 33110 (playas y dunas). En todos los casos la proyección es UTM, ED50, huso 30 extendido y convertida a ráster.

Cálculo inicial de las "zonas MAR" o zonas de recarga

Inicialmente se calcularon las zonas de influencia en torno a la red hidrográfica en los tramos con exceso en el caudal de los ríos, a partir de los datos de estaciones de aforo. No todos los tramos tienen datos de caudal, y además, en algunos tramos había

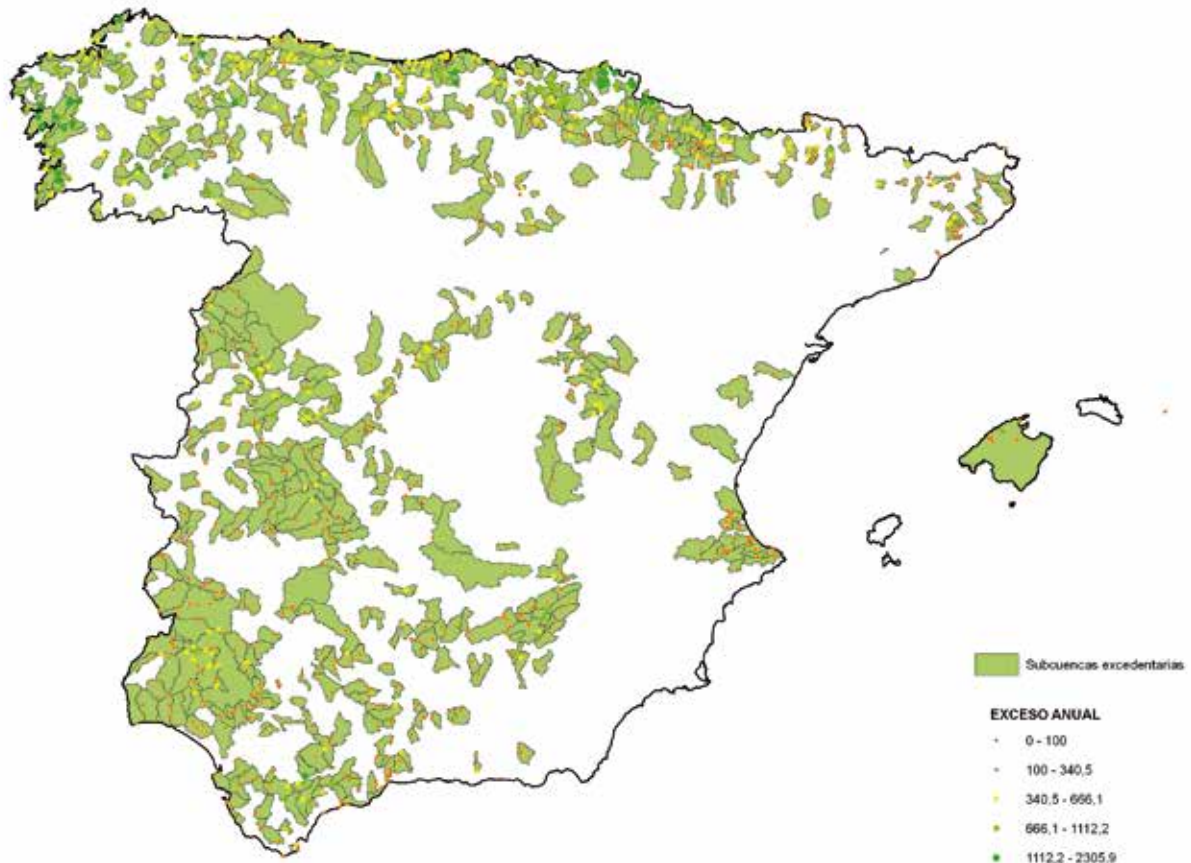


Figura 4. Subcuencas con excedentes.
Figure 4. Sub-basins with water surpluses.

dos datos diferentes. Los tramos con más de un dato de caudal se reparten mediante el cálculo de polígonos de Thiessen. A los tramos sin dato se les asignó un valor de caudal mediante los pasos siguientes:

- Si uno o más tramos no tienen caudal, pero están conectados con dos tramos de la misma corriente con dato, se les asignó un caudal medio de ambos datos.
- Si un tramo no tiene caudal, pero está conectado con otro tramo de la misma corriente con dato, se le asignó el mismo caudal.
- En los ríos que tienen sólo un dato de caudal se extrapola hacia el nacimiento y hacia la desembocadura.
- A los afluentes sin dato se les asignó un 10% del caudal del río al que vierten, si éste tiene dato.
- En el caso de los ríos principales, se les asignó un 10% del caudal del río en el curso alto y un 5% del caudal del río en el curso bajo. En el Ebro se asignó un 1% en los ríos sin dato a partir del curso medio y bajo.
- A los ríos sin dato o conectados con otros sin dato, no se les asignó caudal.

Tras este cálculo, los ríos se clasificaron en cinco categorías en función del caudal:

- 1: 0 - 0,45
- 2: > 0,45 - 1,65
- 3: > 1,65 - 7,26
- 4: > 7,26 - 27,5
- 5: > 27,5

Tras establecer esta clasificación, se calculan las zonas de influencia con 5 rangos de longitud, de 1 a 5 km, según la categoría del río.

Además de los ríos, se han calculado las zonas de influencia de embalses. Se ha partido de los embalses de la BCN2000. En el caso en que un embalse estuviera también en la capa de humedales se ha tomado el perímetro del humedal. Para estos elementos se ha calculado una zona de influencia de 1 kilómetro. La zona inicial de estudio va a ser la unión de zonas de influencia de ríos y embalses.

Tras la definición de las zonas de influencia de ríos, embalses y depuradoras, se eliminaron las zonas que cumplían una o más de las condiciones detalladas a continuación:

- No se superponen sobre un acuífero, definidas a partir de la capa de acuíferos interés.
- Pendiente superior al 50%, calculada con el modelo digital del terreno de 100 m.
- Zonas de permeabilidad baja o muy baja, del "Mapa litoestratigráfico y de permeabilidad de España" 1:200.000 del MMA, 2006.

Reducción o reajuste de las "zonas MAR"

En cumplimiento del objetivo prioritario del proyecto, se han efectuado varios análisis mediante operaciones de álgebra de mapas, cruzando la información Geográfica de las capas descritas, con objeto de determinar las "Zonas MAR" o zonas susceptibles para la recarga artificial de acuíferos en el territorio nacional (excluyendo las islas Canarias).

Etapa de tanteo

A partir de las "capas provisionales" generadas en la etapa previa mediante las intersecciones descritas en el proceso iterativo-reductivo, se obtuvieron unos resultados provisionales, lo que permitió avanzar en el establecimiento del orden del proceso reductivo. Los cruces principales llevados a cabo en la primera etapa o etapa de tanteo fueron:

Cruce 1: Cruce de la zona de estudio con las capas correspondientes a pendientes menores del 50%, acuíferos "Interreg" definidos por el IGME, masas de agua, unidades hidrogeológicas, calidad y, para realizar una aproximación inicial al ámbito de estudio.

Además de los polígonos resultantes, cuya leyenda corresponde a la litología y así aparecen representados en forma de mapas coropléticos, se han respetado los límites de los acuíferos lejanos al área de influencia de las fuentes de origen de agua principales, siendo estas áreas también susceptibles de recarga artificial, aunque requieren mayores inversiones.

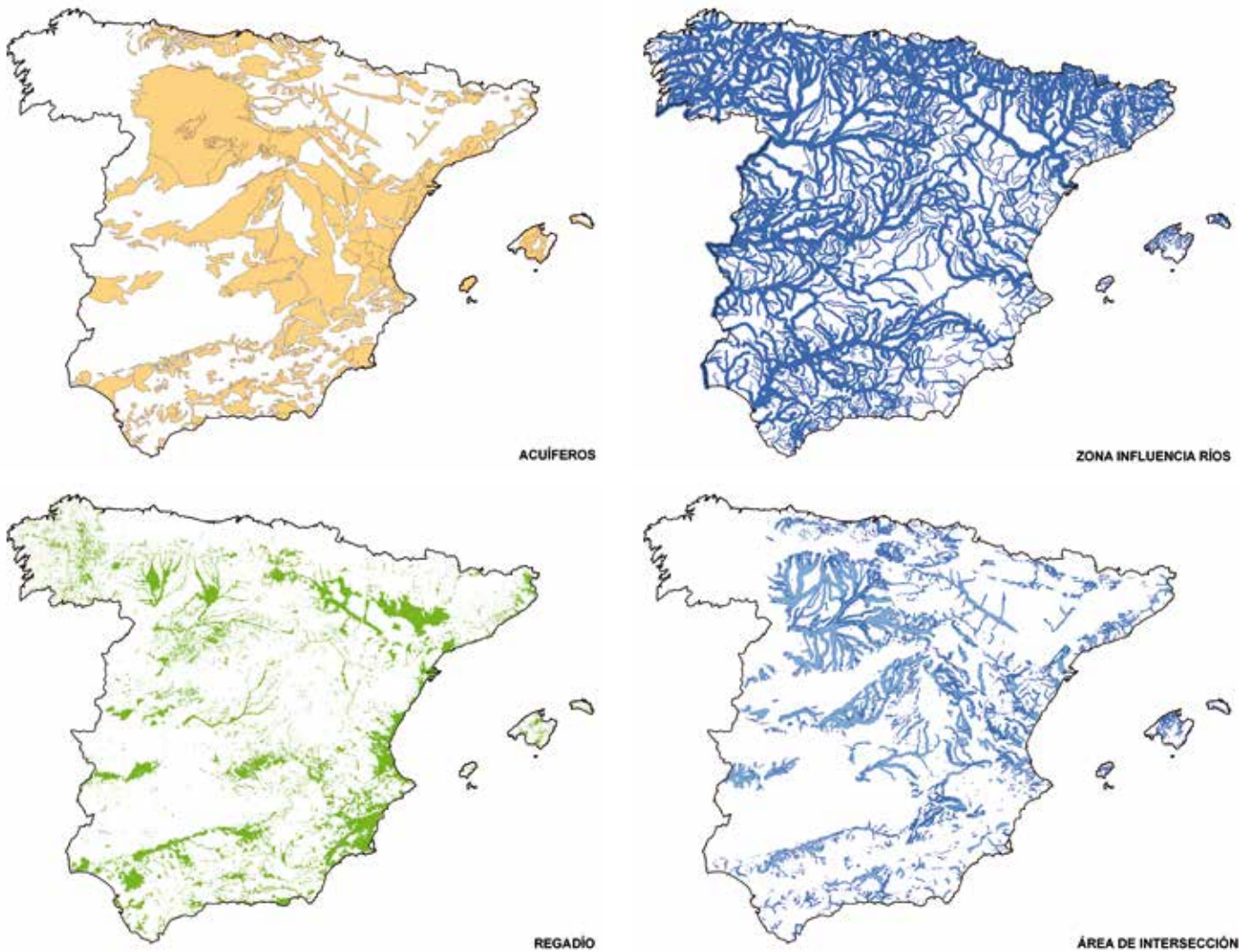
Cruce 2: La capa resultante del cruce primero se confrontó con los mapas hidrogeológicos, con objeto de rechazar las "zonas objetivo" en las que el nivel del agua se encuentra por encima de los cinco metros (inicialmente se consideró esta profundidad de alerta), mermando en cierta medida la capacidad de almacenamiento de agua en el acuífero.

Cruce 3: Cruce de la zona de estudio con los sistemas acuíferos, usos forestales y subcuencas hidrográficas.

Cruce 4: Cruce de la zona de estudio con regadío con aguas subterráneas, sistemas acuíferos. A este análisis se ha añadido la capa con datos relativos a la calidad de las aguas. Las figuras 5 ilustran los primeros resultados cartográficos.

Etapa de definición

El proceso reductivo consistió en la eliminación de polígonos o fragmentos de estos en sucesivas operaciones de álgebra de mapas. Se realizaron sucesivas operaciones SIG, analizando los resultados y confron-



Figuras 5. Imágenes de los primeros cruces de capas temáticas realizados con objeto de determinar las zonas (provisionales) susceptibles de regeneración hídrica en España mediante la técnica MAR.

Figure 5. Pictures of the first thematic layer crosses made in order to determine areas susceptible for water regeneration by means of MAR techniques (provisional) for Spanish territory.

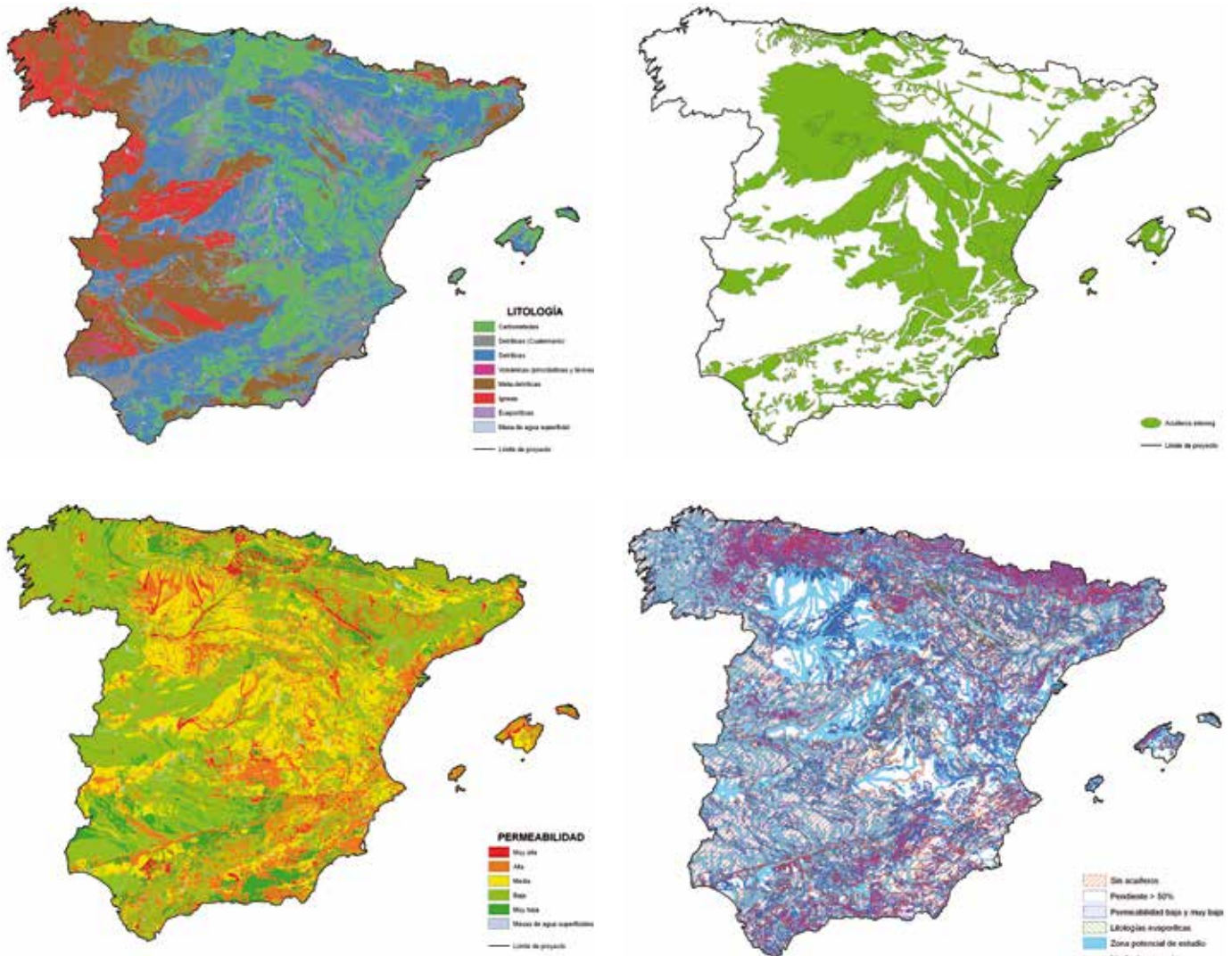
tando estos con la posición de los dispositivos existentes en la actualidad y con las zonas sobre las que hay antecedentes bibliográficos que confirman su idoneidad.

Todas las capas presentadas (79) fueron empleadas en los cálculos y en la ejecución de las cartografías finales, si bien, algunas constituyen elementos ilustrativos, sin intervenir en el cálculo SIG. Cabe destacar el uso de las 28 capas descritas, en especial la capa de afloramientos permeables, litología, acuíferos, nivel del agua, cauces fluviales, depuradoras, estaciones de aforo con medidas excedentarias, pendientes, altitud y distancia a la costa.

Las figuras 6 ilustran el proceso de álgebra de mapas cuasi-definitivo empleado para la obtención de los resultados siguientes. Algunas capas contenían información de relevancia para la siguiente fase (asignación del tipo de dispositivo/s más idóneo).

Tras varios ensayos se han definido las "Zonas MAR" en España, cuya agrupación por cuencas hidrográficas figura en la tabla 3.

Aproximadamente un 16 % (67.000 km²) del territorio de España peninsular e Islas Baleares es susceptible a la gestión de la recarga. Las cuencas más idóneas son Duero y Baleares; y las menos las del norte y Guadalquivir.



Figuras 6. Imágenes de los cruces de capas temáticas realizados con objeto de determinar las zonas (cuasi definitivas) susceptibles de regeneración hídrica en España mediante la técnica MAR.

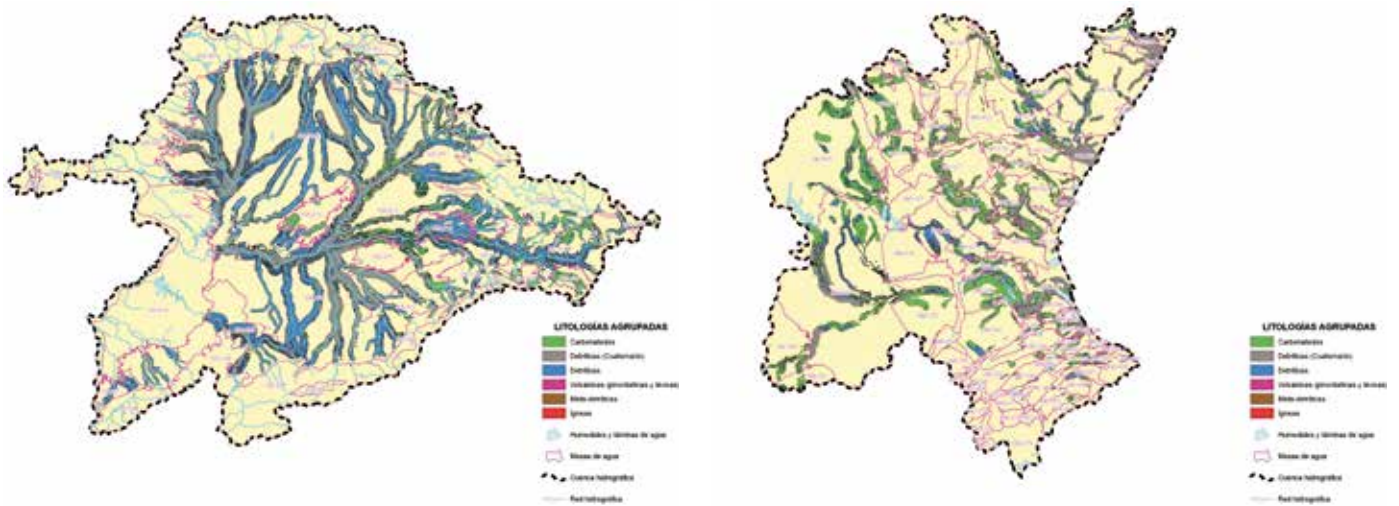
Figure 6. Images of crosses of thematic layers made in order to determine the areas susceptible to water regeneration by means of MAR techniques in Spain (quasi-final).

Para facilitar la identificación de las “Zonas MAR” se han elaborado 11 mapas coropléticos por grandes cuencas hidrográficas. Un ejemplo de los resultados para cuencas idóneas se presenta como figuras 7. La totalidad de las cartografías se encuentran en <http://www.dina-mar.es/post/2012/03/12/Mapas-DINA-MAR.aspx>.

La componente de R+D principal se ha basado en estudiar qué secuencia deductiva conducía a resultados similares al inventario de dispositivos MAR existente (en DINA-MAR, 2010).

Búsqueda de criterios para asociar dispositivos con cada “zona MAR”

Con los elementos físicos bien definidos y conociendo las especificaciones de los 24 dispositivos MAR inventariados (figura 8), se ha diseñado y automatizado un sistema que asigna un peso a cada dispositivo según su idoneidad y ajuste a las características físicas y a los restantes indicadores con respaldo GIS.



Figuras 7. Distribución de las “zonas MAR” en la cuenca del río Duero, las más proclive a la recarga artificial del territorio español.
Figure 7. Distribution of MAR areas in the Douro and Jucar river basins, some of the most prone to artificial recharge within the Spanish territory.

ID	Cuenca	Total cuenca (km ²)	Sup. cuenca (km ²)	% cuenca	% total
1	Norte	1952.98	53780.90	3.63	2.92
2	Duero	21565.45	78955.69	27.31	32.26
3	Tajo	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	Sur	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	Pirineo	1746	16555.28	10.55	2.61
11	Baleares	1023.07	5038.33	20.31	1.53
	Total	66853.9	499428.31	13.39	100

Tabla 3. Datos relativos a la distribución de zonas MAR por cuencas (o demarcaciones) hidrográficas. Columnas: superficie de la cuenca y de la “zona MAR” circunscrita en ella y porcentaje que representa **respecto a cada cuenca y al área MAR total.**

Table 3. Data relating to the distribution of MAR zones in Spain (breakdown in big basins). Columns: Total surface of each basin, MAR zone area’ circumscribed and percentage that represents each zone out of the total area.

Proceso de análisis. Unión de todos los temas y asignación de los métodos de recarga artificial

Los principales criterios de asociación han estado apoyados en capas, coberturas temáticas y en un sistema relacional de rangos-pesos. Los rangos establecidos han sido (columna primera de la tabla 4) 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 para alimentar al Hidrogeoportal DINA-MAR (tabla 4).

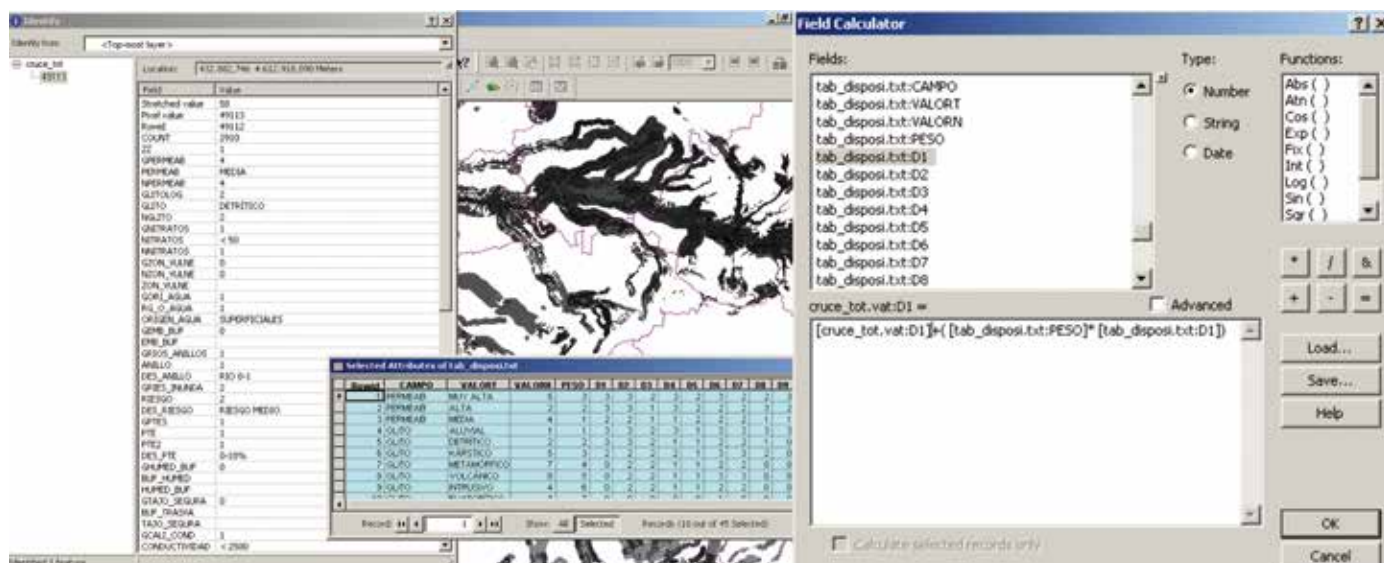
N	SISTEMA	TIPO DE DISPOSITIVO	ICONO	FIGURA	FOTO	LEYENDA
1	DISPERSIÓN	BALSAS DE INFILTRACIÓN / HUMEDALES				Humedal artificial para la recarga del Sanchón, Coca, Segovia. Foto: DINA-MAR
2		CANALES Y ZANJAS DE INFILTRACIÓN				Canal de recarga artificial de la Cubeta de Santiluste, Segovia, Spain, operativa desde 2002. Foto: DINA-MAR.
3		CABALLONES/TÉCNICAS DE TRATAMIENTO SUELO/ACUIFERO				Caballones en el fondo de una balsa de infiltración. California. Foto: D. Peyton
4		CAMPOS DE INFILTRACIÓN (INUNDACIÓN Y DIFUSIÓN CONTROLADA)				Campo de infiltración de Omdel (Namibia). Foto: G. Tredoux.
5		RECARGA ACCIDENTAL POR RETORNOS DE RIEGO				Recarga artificial por retornos de riego. Extremadura, España.
6	CANALES	DIQUES DE RETENCIÓN Y REPRESAS				Dique de recarga artificial en cabecera de cuencas, Alicante. Foto: DINA-MAR
7		DIQUES PERMEABLES				Dique permeable en Huesca, España. Foto: Tragsatec.
8		SERPENTEOS / LEVEES				Serpenteos en el río Santa Ana, Condado de Orange, California. Foto: A. Hutchinson.
9		ESCARIFICACIÓN LECHO				Escarificación del lecho del río Besòs, Barcelona. Foto: J. Armenter.
10		DIQUES SUBSUPERFICIALES/SUBTERRÁNEOS				Dique subsuperficial (embalse de arena) en Kitui, Kenia. Foto: Sander de Haas.
11		DIQUES PERFORADOS				Dique perforado. Lanjarón, Granada, España. Foto: Tragsatec.
12	POZOS	GANATS (GALERÍAS SUBTERRÁNEAS)				Ganat de Carbonero el Mayor. Segovia. Foto: E.F. Escalante.
13		POZOS ABIERTOS DE INFILTRACIÓN				Pozo abierto de infiltración. Arizona, USA. Foto: DINA-MAR
14		POZOS PROFUNDOS Y MINISONDEOS				Pozo de recarga artificial. Cornellá, Barcelona. Foto: DINA-MAR
15		SONDEOS				Sondeo para MAR (ASR) en Adelaida. Foto: P. Dillon.
16		DOLINAS, COLAPSOS...				Colapso cárstico "El Hundimiento". Alicante, España. Foto: DINA-MAR
17		ASR				Dispositivo ASR en Scottsdale, Arizona. Foto: DINA-MAR
18	ASTR				Dispositivo ASTR en California.	
19	FILTRACIÓN	BANCOS FILTRANTES EN LECHOS DE RÍOS (RBF)				Sistema RBF para MAR en Eritrea. Foto: A. Twinhof.
20		FILTRACIÓN INTERDUNAR				Filtración interdunar cerca de Amsterdam, Holanda. Foto: Allus.
21		RIEGO SUBTERRÁNEO				Riego subterráneo en Andalucía. Foto: Tragsa.
22	LLUVIA	CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN IMPRODUCTIVO				Captación de lluvia en improductivo para MAR.
23	SUDS	RECARGA ACCIDENTAL CONDUCCIONES Y ALCANTARILLADO				Recarga artificial desde el alcantarillado en España. Foto: Tragsa
24		SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE				SUDS. Gomeznarro. Madrid. Foto: E.F. Escalante.

Figura 8. Inventario de dispositivos de recarga gestionada potencialmente aplicables en las Zonas MAR” (modificado de DINA-MAR, 2010).

Figure 8. Inventory of potentially applicable managed aquifer recharge devices in the MAR-zones (modified from DINA-MAR, 2010).

TÉCNICAS Y DISPOSITIVOS DE MAR			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
CASUÍSTICAS 1	CÓDIGO	PESO	DISPERSIÓN				CANALES				POZOS				FILTRACIÓN		LLUVIA	SUJOS										
			BALSAS DE INFILTRACIÓN / HUMEDALES	CANALES DE INFILTRACIÓN	CABALLONES/TÉCNICAS DE TRATAMIENTO SUELO/ACUIFERO	CAMPOS DE INFILTRACIÓN (INUNDACIÓN Y INFUSIÓN CONTROLADA)	RECARGA ACCIDENTAL POR RETORNOS DE RIEGO	DIQUES DE RETENCIÓN Y REPRESAS	DIQUES PERMEABLES	SERPENTEOS LEVEYES	ESCARIFICACIÓN LECHO	DIQUES SUBSUPERFICIALES/SUBTERRÁNEOS	DIQUES PERFORADOS	QANATS (GALERÍAS SUBTERRÁNEAS)	POZOS ABIERTOS DE INFILTRACIÓN	POZOS PROFUNDOS Y MINISONDEOS	SONDEOS	DOLINAS, COLAPSOS...	ASR	ASTR	BANCOS FILTRANTES EN LECHOS DE RÍOS (RBF)	FILTRACIÓN INTERDUAR	RIEGO SUBTERRÁNEO	CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN IMPRODUCTIVO	RECARGA ACCIDENTAL CONDUCCIONES Y ALCANTARILLADO	SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE		
Usos de suelo, obtenida del CORINE Land Cover	FORESTAL		1	0	2	3	0	0	3	3	0	0	3	3	2	1	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	
	SUBDESERTICO		1	0	0	1	0	1	0	1	0	2	0	3	3	3	2	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	PRADOS Y PASTOS		4	1	2	2	2.5	2	1	1	1	2	0.5	0	0	2	2	2	1	2	0	0	0	0	1	2	0	0
Peso basado en la naturalidad (se da preferencia a las actuaciones en áreas menos sensibles y por tanto más humanizadas)	AGRARIO		4	3	3	2	3	3	1	2	2	3	1	3	0	3	3	3	0	3	3	1	0	3	2	0	0	
	SIN VEGETACIÓN		2	1	0	0	0	0	1	1	1	0	2	1	2	2	2	1	3	1	1	0	3	0	0	0	0	0
	GLACIARES Y NIEVES PERMANENTES		1	0	0	3	0	0	3	3	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	HUMEDALES		3	2	2	0	3	1	2	2	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
	INFRAESTRUCT. HIDRÁULICAS		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	0
	INFRAESTRUCT. TRANSPORTE		5	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	1
	URBANO		5	2	1	0	0.5	1	0	0	0	0	0.5	0	0	3	3	2	0	2	2	3	0	2	3	3	3	3
INDUSTRIAL		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	0	2	2	2.5	0	0	3	2	2	
Buffer 1 o 5 km Áreas urbanas	1 km	nº habitantes <20.000	1.5	1	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	nº habitantes >=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	
Piezometría superficial 2008	ISOPIEZAS MORADAS	<25	1	3	3	1	3	3	3	1	3	3	3	1	3	3	1	0	1	0	0	3	1	3	1	1	3	
		>25 y <=50	2	2	2	1	1	2	1	1	1	2	3	1	2	2	3	1	1	1	1	0.5	1	2	1	1	2	
		>50 y <=150	3	1	1	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1	3	2	0	0	0	1	1	2
		>150	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3	3	0	0	0	0	0	2
Piezometría profunda 2008	ISOPIEZAS ROSAS	p>200 m	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	
Masas Forestales a escala 1:50.000	BOSQUES		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	
Unidades hidrogeológicas susceptibles de recarga según el			3	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	
Áreas que distan hasta 1 km de las depuradoras	BUFFER DE 1 KM Y DATOS DE HABITANTES EQUIVALENTES	<20.000	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	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	2	1	1	1	1	2	
		>=200.000	3	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	3	2	1	1	1	1	3
Depuradoras por lagunaje	BUFFER DE 1 KM		2	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Áreas que distan hasta 5 km de la red de control de la intrusión marina	BUFFER DE 5 KM PTOS INTRUSIÓN	5 km	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	3	3	0	0	0	0	0	1	
Rango altitudinal		> 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	1	1	0.5	0.5	0	3	2	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1
Zonas áridas	PRECIPITACIÓN	>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	1	0.5	3	2	2	1	1
Est. meteo en zonas con excedentes hídricos	SUCUENCAS EXCEDENTE HÍDRICO		2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	3	1	1	2	1	1	2	2	1	2	2	3	
Distancia a la costa		< 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	1
		>=5 km	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1
Sistemas dunares en capa geología (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		

Tabla 4. Aspecto de la table-matriz que relaciona factores físicos e indicadores con los dispositivos MAR asociado al SIG.
Table 4. Aspect of the table-matrix that relates indicators versus physical factors with the most willing MAR device associated by means of GIS.



Figuras 9 a y b. Proceso de cálculo de la puntuación para el dispositivo D1.
Figure 9, a & b. Calculus process for D1 score device.

La tabla-matriz confronta los 24 tipos de dispositivos con las distintas capas de información geográfica, las casuísticas identificadas y los códigos asignados en su clasificación, conforme a los criterios metodológicos ya descritos. La tabla presenta además el peso asignado para cada casuística y código, peso que interviene directamente en el proceso de cálculo SIG como base de datos asociada al motor de cálculo, mediante un método la puntuación individualizado para cada polígono.

A continuación se presenta un ejemplo del método de cálculo de puntuación para un dispositivo de recarga artificial, en concreto el D1 (balsas de infiltración).

En primer lugar se añaden los campos D1, D2,... D24 a la capa con el cruce de todos los temas, con objeto de calcular la puntuación para cada dispositivo en estos campos (figura 9a). Más tarde se conecta la tabla de cruce con la tabla de puntuación por dispositivo, primero por la permeabilidad, y se calcula D1 (figura 9b). Se hacen sucesivos "join" por cada uno de los temas y se aplica la fórmula.

Este proceso calcula automáticamente una puntuación para cada método y para toda la tabla, además calcula un atributo con el dispositivo más idóneo, considerando como tal el que tenga la puntuación más alta.

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 diferentes.

Redefinición

El proceso de cálculo contiene además un gran número de condicionantes de tipo "if... then" diferenciados para cada uno de los 24 dispositivos inventariados. Se han agrupado en 4 campos: es deseable, pros, problemas generados y aspectos medioambientales. Estos últimos cuentan además con seis criterios de planificación ambiental en base a fuentes de contaminación, riesgos, condicionantes, demandas, tendencias y ventajas.

La totalidad de los criterios empleados se presentan en DINA-MAR, 2010, pg 243 a 250 (en <http://www.dina-mar.es/pdf/dina-mar-2007-2011-libro.pdf>).

Resultados y discusión

Resultado final

El resultado de los calculos secuenciales quedan expresados en la cartografía "dispositivos más favorables en las zonas MAR (figura 10).

Asignación de costes aproximados como herramienta de soporte a la decisión

Como etapa final, se ha realizado un cálculo aproximado del coste de implementación con dos alternativas, aguas de origen fluvial o de depuradoras, y tipo de dispositivo más idóneo, conforme a la jerarquización que elabora la propia aplicación. El proceso de cálculo se presenta en la tabla 5 (1/0 significa si aplica o no).

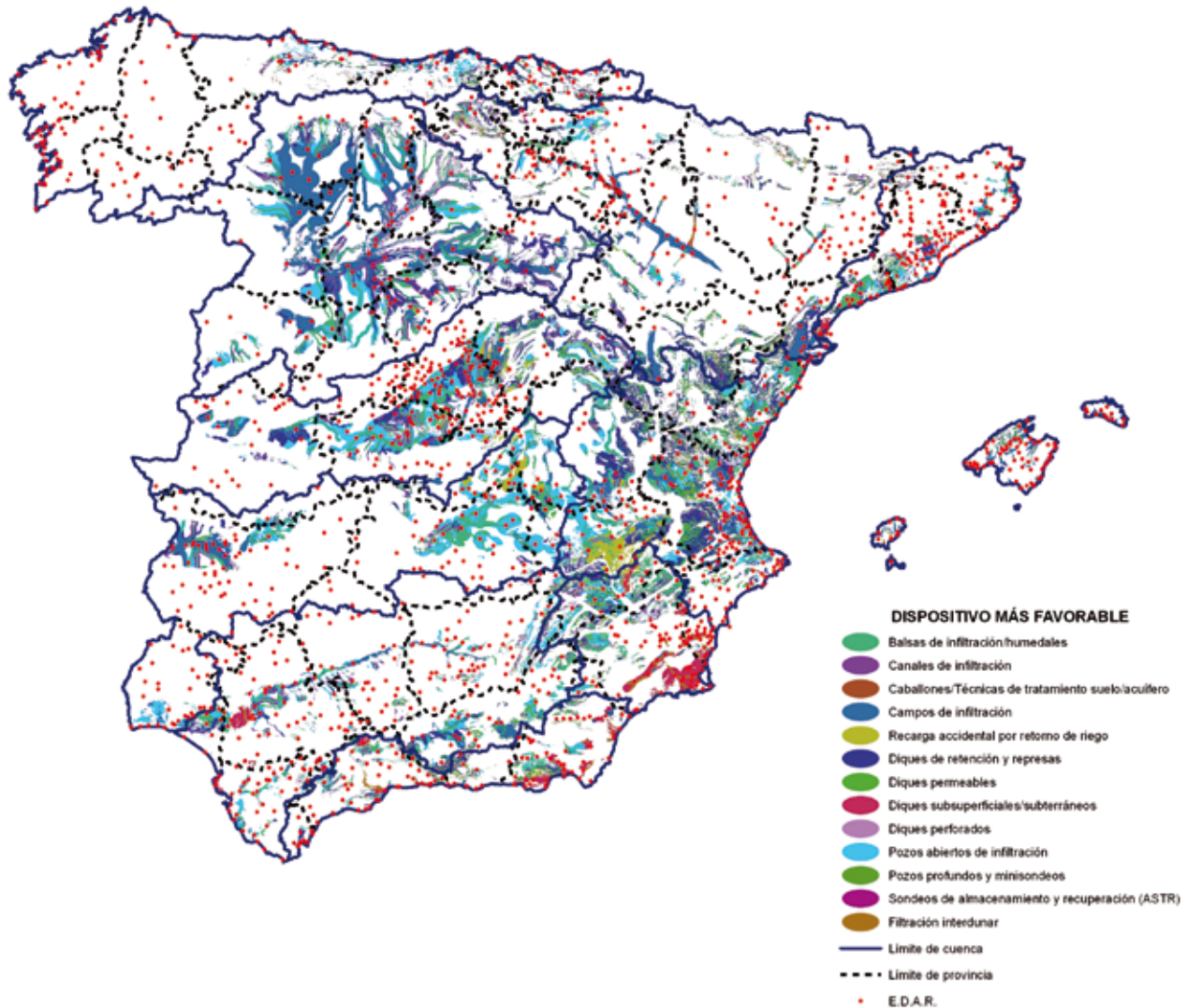


Figura 10. Cartografía resultante con expresión de las “Zonas MAR” y los dispositivos asignados por su idoneidad para cada sector. El hidrogeportal DINA-MAR presenta, además, las opciones restantes con menor peso conforme a un código de colores que figura en la leyenda.

Figure 10. Final cartography with expression of the MAR zones and the best devices assigned according to their suitability for each sector. Hydrogeportal DINA-MAR presents, in addition, the remaining options with lower weights in accordance with a code of colors expressed in the legend.

En el primer caso, el coste potencial por acción tiene un radio de inversión en torno a 0.20 €/m³, con tuberías de conducción de 8 km de longitud máxima desde el cauce de toma, e infiltración mediante pozos, balsas y canales. Se ha estimado un coste medio en torno a 1.2 M€ por cada actividad. Los costes de mantenimiento se han estimado en 0.01 € m³/año.

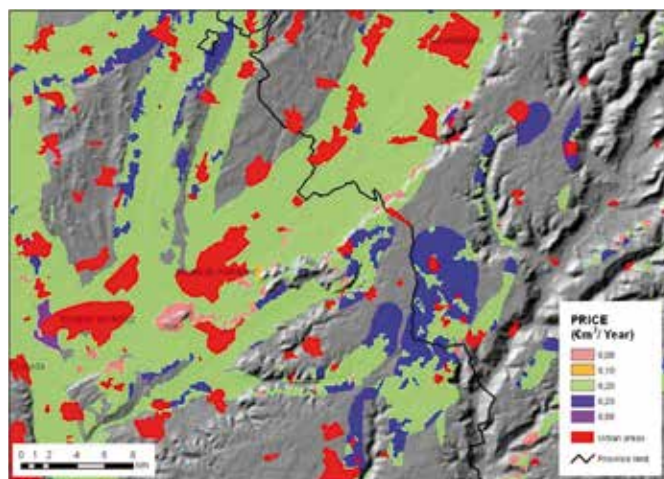
En el segundo caso se considera la recarga con aguas de depuradora a través de pozos y sondeos profundos de inyección en las inmediaciones de las

plantas de tratamiento. El agua debe tener un tratamiento terciario y una osmotización posterior. El estudio ha considerado caudales de recarga entre 50 y 80 l/s a través de pozos de 50 m, de profundidad y de en torno a 100 l/s para sondeos de hasta 500 m, con un coste estimado de inversión de 0.23 €/m³ (50 m) y 0.58 €/m³ (500 m) (sin considerar los costes de tratamiento terciario). Los costes estimados de construir dispositivos han sido de 172 500 € para los pozos y 580 000 € para sondeos, incluyendo los elementos de inyección. Los costes estimados de

TÉCNICAS Y DISPOSITIVOS DE MAR																									
		DISPERSIÓN				CANALES						POZOS						FILTRACIÓN		LLUVIA	SUDS				
		BALSAS DE INFILTRACIÓN / HUMEDALES	CANALES DE INFILTRACIÓN	CABALLONES/TÉCNICAS DE TRATAMIENTO SUELO ACUÍFERO	CAMPOS DE INFILTRACIÓN (INUNDACIÓN Y DIFUSIÓN CONTROLADA)	RECARGA ACCIDENTAL POR RETORNOS DE RIEGO	DIQUES DE RETENCIÓN Y REPRESAS	DIQUES PERMEABLES	SERPENTES LEVEES	ESCARIFICACIÓN LECHO	DIQUES SUBSUPERFICIALES/SUBTERRÁNEOS	DIQUES PERFORADOS	GANATS (GALERÍAS SUBTERRÁNEAS)	POZOS ABIERTOS DE INFILTRACIÓN	POZOS PROFUNDOS Y MINISONDOS	SONDEOS	DOLINAS, COLAPSO...	ASR	ASTR	BANCOS FILTRANTES EN LECHOS DE RÍOS (RBF)	FILTRACIÓN INTERDUNAR	REGO SUBTERRÁNEO	CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN IMPRODUCTIVO	RECARGA ACCIDENTAL CONDUCCIONES Y ALCANTARILLADO	SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE
CASUÍSTICAS 1		CÓDIGO																							
		PEBO																							
Índice económico inversión media		Euros/m3/año																							
	fluvial	0,20	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	fluvial diques	0,10	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluvial diques enterrados	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SUDS (urbano)	0,08	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0
	depurada <50 l/s	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	depurada >50 l/s	0,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5. Cálculo de un índice económico promedio de la relación de cada polígono de las “Zonas MAR”. Los números están especificados en la figura 8.

Table 5. Calculation of an economic average index of the relationship for each MAR zone polygon. Each number assignment is specified in Figure 8.



Figuras 11 a y b. Cartografías coropléticas de “iso-precios” de implementación de instalaciones de recarga gestionada en las “Zonas MAR” en España peninsular e Islas Baleares (a), vista general; (b) ejemplo de detalle. Cartografía disponible en: <http://goo.gl/YbmLu>.

Figures 11 a & b. Chloroplethic cartography of “iso-prices” for implementing MAR facilities in the “MAR zones” in peninsular Spain and Balearic Islands (a), overview; (b) an detailed example. Cartography available at: <http://goo.gl/YbmLu>.

mantenimiento se estiman en 0.13 €/m³ (50 m) y 0.15 €/m³ (500 m).

Con estos resultados se ha elaborado una cartografía de “isoprecios” específica (figuras 11) disponible en: <http://goo.gl/YbmLu>.

Estos costes se han calculado a partir de obras reales ejecutadas por el Grupo Tragsa para la situación de España en el año 2010.

Debe tenerse en cuenta que cualquier iniciativa está sujeta a concesión administrativa, además requiere

los pertinentes estudios detallados de viabilidad y un proyecto adecuado.

Visor web. El “hidrogeoportal”

La aplicación que plasma la información presentada se encuentra disponible en Internet en la aplicación designada “Hidrogeoportal DINA-MAR”, visor Web desarrollado sobre Arc/Gis Server 9.3,

Figura 12. Visor Web o “hidrogeoportal”. Aplicación on line para determinar las zonas de España más indicadas para acometer operaciones de recarga gestionada conforme a sus características. Aspecto general.

Figure 12. Web Viewer or “hydrogeoportal”. Application online to determine the areas of Spain more susceptible to undertake managed aquifer recharge activities according to their characteristics. General appearance..



http://sig3.tragsatec.es/visor_dina-mar/, cuya pantalla de bienvenida consta en la figura 12. Esta permite consultar geográficamente las capas que forman parte del análisis, así como los resultados finales, es decir, la asignación de dispositivos, el cálculo del dispositivo más óptimo y, en la última etapa, costes de implementación estimados.

El visor considera aguas de diferente origen (fluvial, depuradoras) y usos diversos, en especial regadío, almacenamiento y usos medioambientales. Los criterios de mayor peso son la permeabilidad de las formaciones y su capacidad de almacenamiento potencial.

La figura 14 muestra un detalle donde se puede observar el cálculo del dispositivo más idóneo en una zona MAR elegida al azar.

Identificación de elementos en el visor cartográfico del Hidrogeoportal

Para identificar los elementos cartográficos del visor del Hidrogeoportal, se utiliza la herramienta de identificación que está en la barra de herramientas del visor, en la parte superior derecha de la pantalla. Una vez activada, cambia el aspecto del cursor del ratón cuando se sitúa sobre la región de mapa del visor,



Figuras 13 a y b. “HydroGeoportal”. Detalle de un sector de la cuenca del Tajo.

Figures 13, a and b. HydroGeoportal. Detail of a sector for the Tagus river basin.

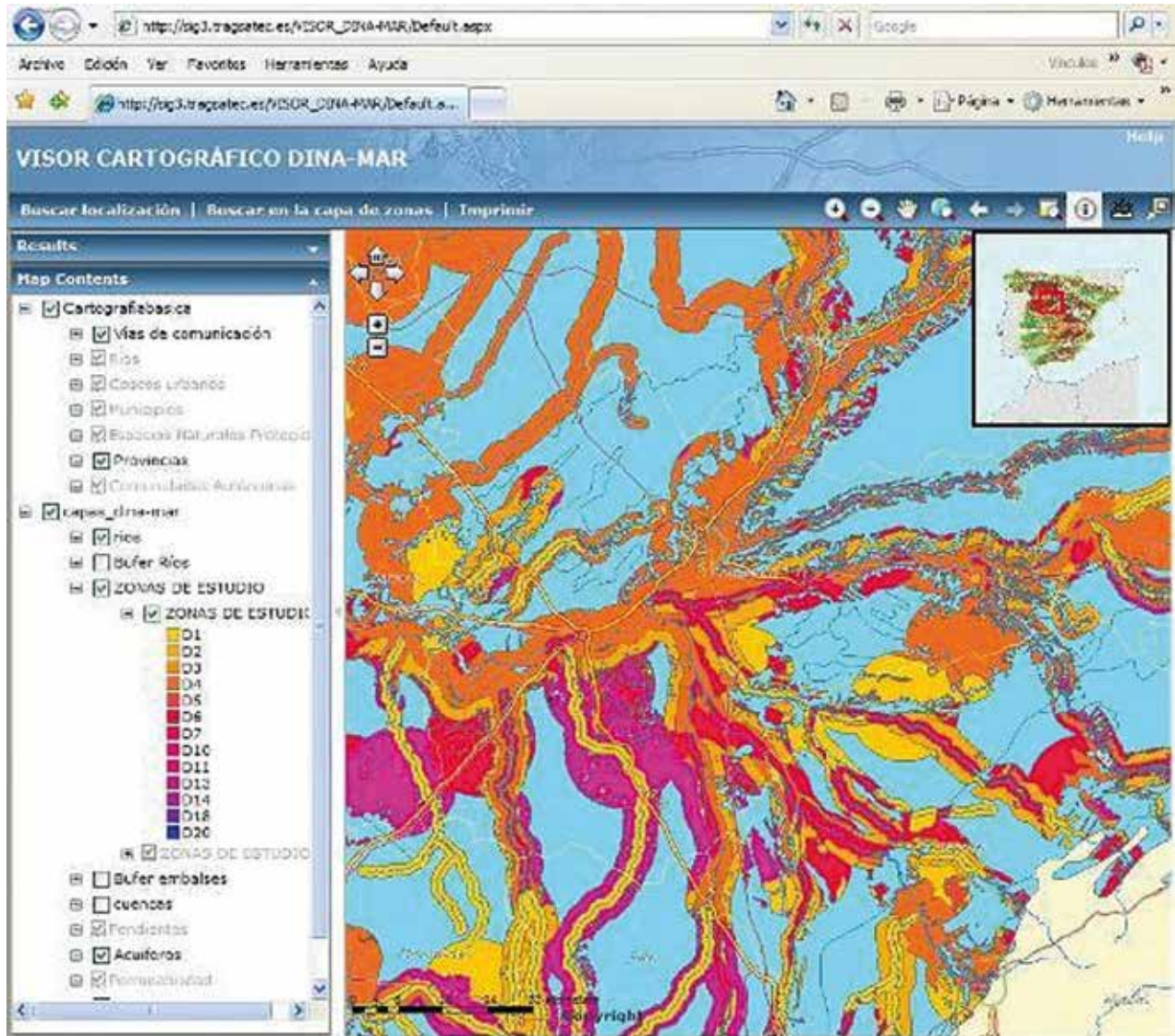


Figura 14. Detalle del cálculo del dispositivo óptimo.
Figure 14. Detailed example for the calculation of the optimum device.

para adoptar la forma de una mano con un dedo extendido. Al pulsar sobre una parte del mapa, el visor procesa la petición, y presenta una ventana flotante con la información requerida.

Esta ventana flotante presenta, por defecto, la información de atributos correspondiente a la capa situada en la parte más alta de la visualización, de entre las que están activadas en la tabla de contenidos de la parte izquierda del visor. Solo aparecerán en la ventana flotante de identificación las capas que estén visibles en la ventana de mapa. En la parte superior aparece, entre paréntesis, el nombre del elemento y

el nombre de la capa a la que corresponde. Debajo aparece el listado de la información alfanumérica asociada (figura 15).

A la derecha del encabezado de la ventana aparecen dos iconos. Uno tiene el aspecto de una flecha apuntando hacia arriba y otro de un aspa. El aspa sirve para cerrar completamente la ventana, mientras que la flecha permite cerrar la zona de información alfanumérica, reduciendo la ventana a solamente el nombre del elemento y la capa. El listado se puede volver a desplegar pulsando de nuevo sobre el icono de la flecha.

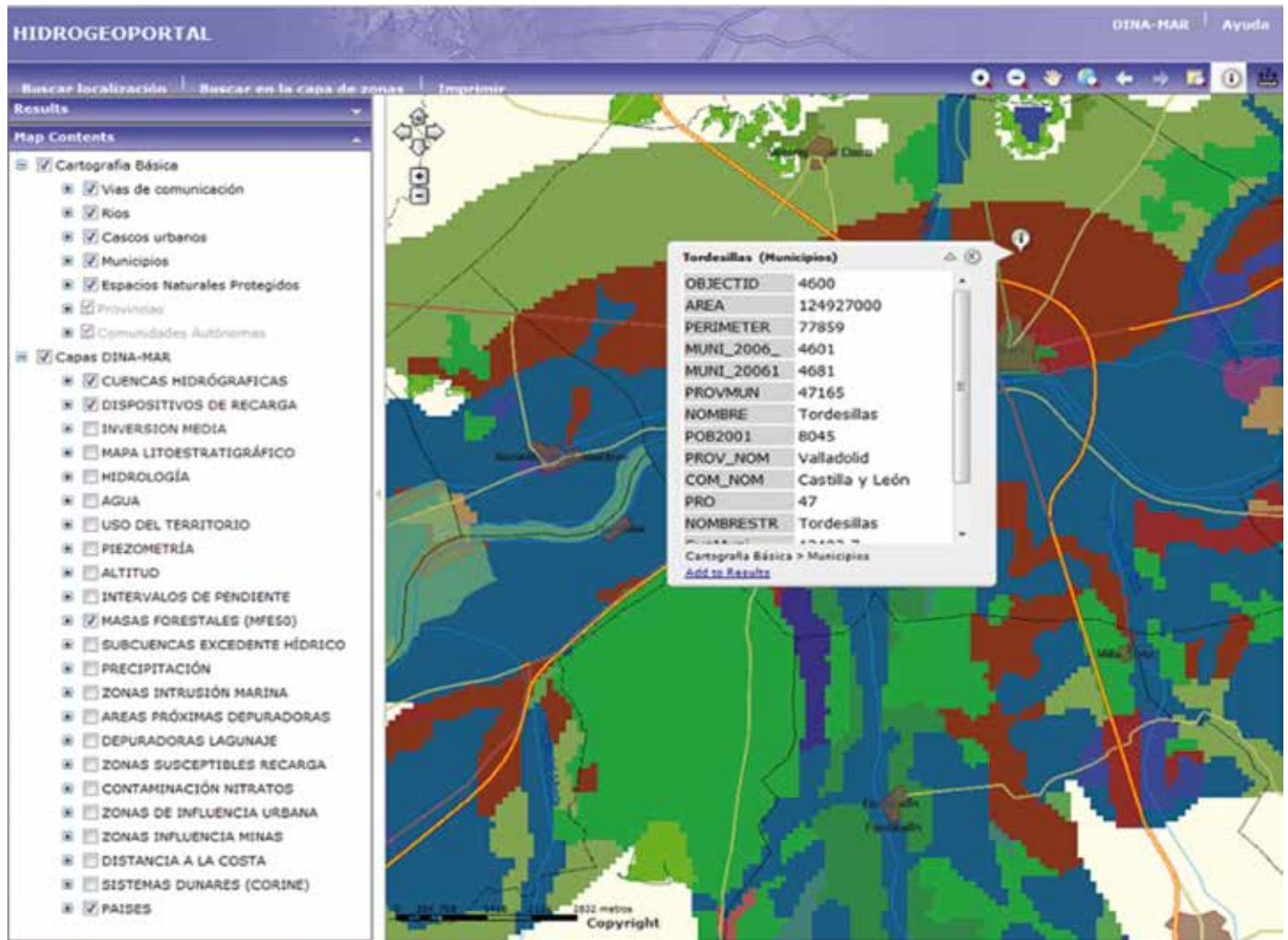


Figura 15. Hidroeportal. Capas y atributos de una “zona MAR”.
Figure 15. Hydrogeportal. Layers and attributes for a MAR zone.

Pulsando sobre el nombre de la capa, se puede desplegar otra lista, que nos permite cambiar la capa sobre la que identificamos. El listado presenta las capas disponibles, que son las presentes en la localización elegida de entre las disponibles en el mapa en ese momento.

Al elegir otra capa de la lista desplegable, en la parte inferior de la ventana se presenta el listado de los atributos de la capa elegida, correspondientes a la localización identificada (figura 16).

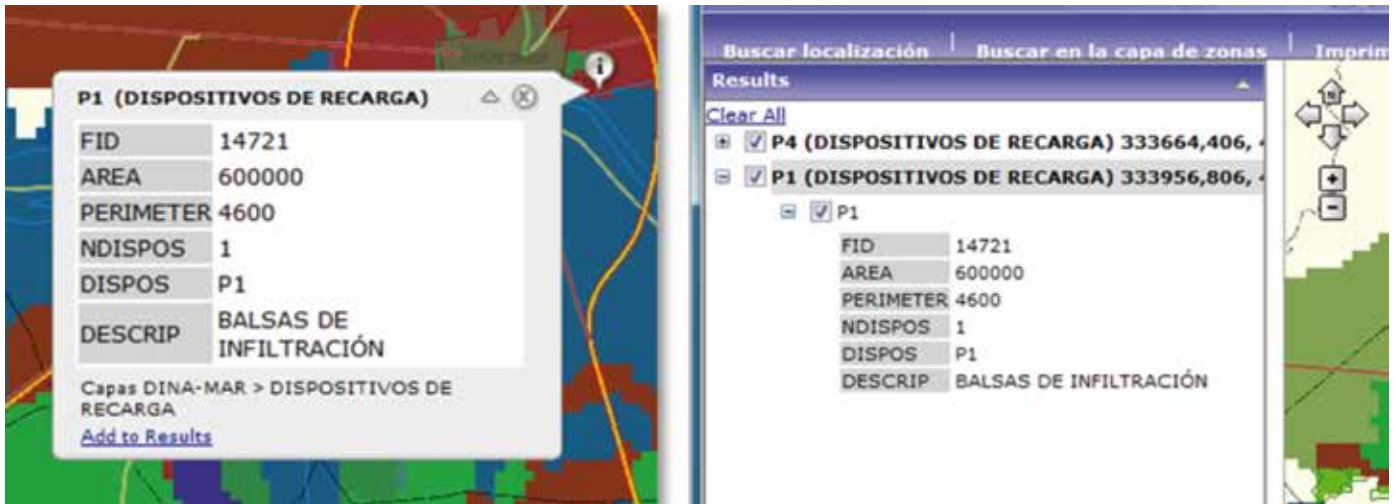
En cualquier momento, si se pulsa al enlace que aparece en la parte inferior de la ventana (Add to results), la información presentada se traslada a la ventana de resultados situada sobre la tabla de contenidos del visor, en la parte izquierda de la aplicación, donde queda listada (figura 17).

Todos los elementos identificados en esta ventana de resultados tienen un comportamiento interactivo con el mapa: la caja con la marca de verificación situada a la izquierda del nombre de la capa, o del elemento permite que se resalte sobre el mapa el perfil cartográfico completo del elemento identificado.

El código asignado a cada dispositivo corresponde al inventario desarrollado en el marco del proyecto, figura 8, en <http://goo.gl/azKs5S>.

Conclusiones

Este estudio describe la metodología seguida para determinar las zonas de la Península Ibérica española e



Figuras 16. Visor cartográfico. Identificación de dispositivos de recarga jerarquizados para cada “zona MAR”.
Figures 16. Cartographic Viewer. Identification of recharge devices ordered according their suitability for a polygon.

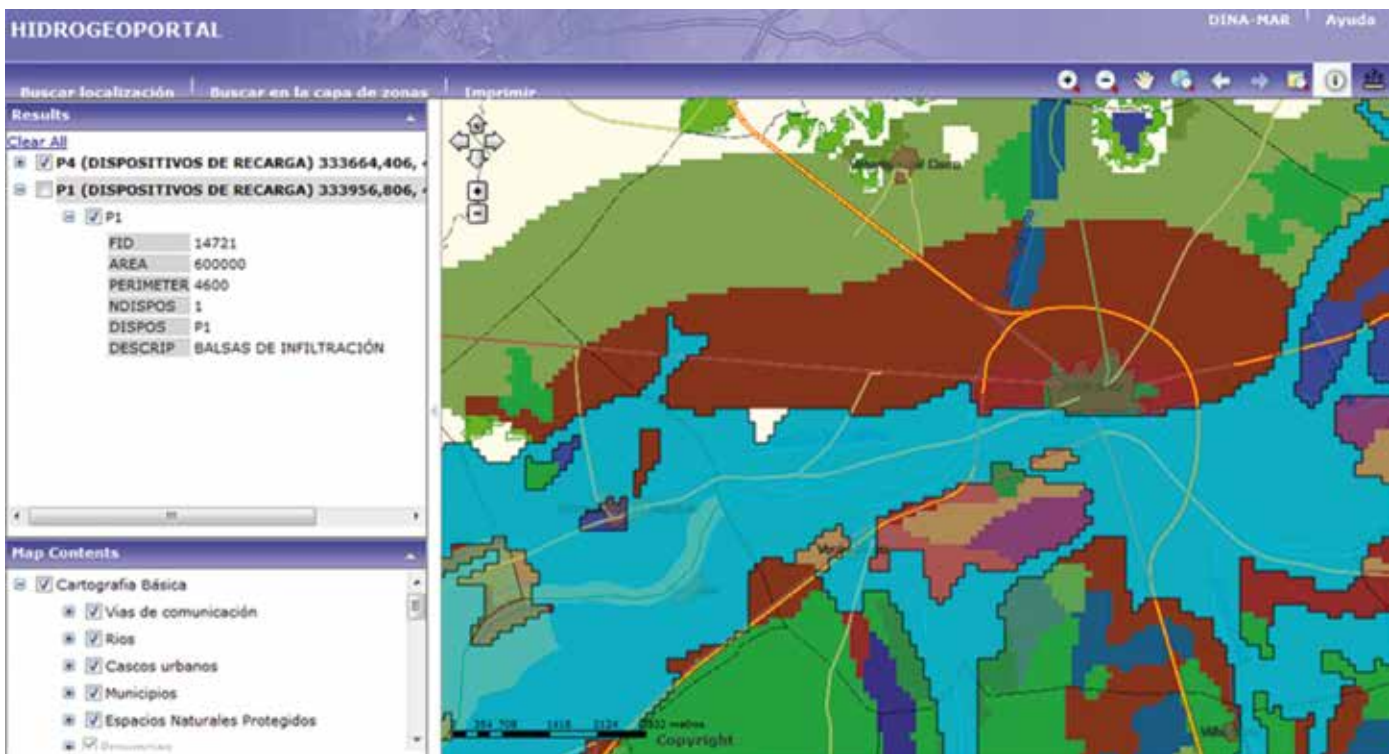


Figura 17. Visor cartográfico. Zona y tabla de contenidos asociada.
Figure 17. Cartographic Viewer. Area and associated contents table.

Islas Baleares susceptibles de aplicar técnicas de recarga gestionada de acuíferos, concluyendo en que el potencial de la técnica es muy alto para la zona de estudio y se adapta bien a la realidad hídrica del Siglo XXI y del escenario de cambio climático actual.

El procedimiento ha sido deductivo-reductivo, con un fuerte apoyo GIS y operaciones complejas de álgebra de mapas. Se ha deducido la idoneidad para aplicar técnicas de recarga gestionada en aproximadamente 67 000 km² del mencionado territorio,

delimitando una serie de polígonos que se han denominado "zonas MAR". Estos cuentan con expresión cartográfica y un visor *on line* que sintetiza aquellas de sus características físicas que han conducido a su determinación.

El resultado más visual es el desarrollo de una aplicación denominada "Hidroggeoportal DINA-MAR", que gestiona un volumen importante de información de diferentes procedencias y escalas en una interfaz amigable de ayuda a la toma de decisiones. Su fácil accesibilidad permite a esta herramienta su uso por un amplio elenco de usuarios potenciales, desde los "hidroggestores" de España a estudiantes de hidrogeología y diversos agentes implicados en el ciclo del agua.

Se han agrupado recintos de algunas capas. Se han estratificado capas a partir de atributos numéricos y se han realizado procesos de análisis SIG para la creación de otras capas nuevas precisadas en el trabajo, como son las relativas a los dispositivos más idóneos para cada "Zona MAR" jerarquizados en base a su idoneidad.

La metodología de trabajo seguida se puede utilizar para trabajar tanto en una zona concreta, aumentando la escala de detalle, como en escenarios análogos de otros lugares del mundo (con las correspondientes modificaciones).

La aplicación diseñada aporta una primera aproximación como sistema de soporte a la toma de decisiones,

si bien, es preciso consultar cartografías de detalle y otras fuentes de información, así como acometer los oportunos estudios de detalle antes de implementar actuaciones concretas.

Agradecimientos

El desarrollo del hidroggeoportal y el propio artículo se han realizado en el marco del proyecto de I+D+i DINA-MAR, 30/13.053, financiado por el Grupo Tragsa.

Referencias

- Fernández Escalante E. y San Sebastián Sauto, J. 2012. Rechargeable sustainability. The key is the Storage. Libro en inglés y español editado por Tragsa. May 2012. ISBN: 13:978-84-615-8704-9. 126 pg. <http://www.dina-mar.es/pdf/DM-Rechargeable%20sustainability-en-sp.pdf>
- DINA-MAR (multiautor) 2010. "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/pdf/dina-mar-2007-2011-libro.pdf>
- <http://www.dina-mar.es/> Proyecto DINA-MAR, Grupo Tragsa. Septiembre de 2013.
- <http://hispagua.cedex.es>. Cedex. Enero de 2005

Recibido: septiembre 2013

Revisado: mayo 2014

Aceptado: junio 2014

Publicado: septiembre 2014