

Gestión de acuíferos urbanos en zonas costeras: experiencias en Iberoamérica

Emilia Bocanegra¹, Emilio Custodio², Marisol Manzano³, Gerson Cardoso da Silva Junior⁴, Suzana Montenegro⁵

¹Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP), Casilla de Correo 722, 7600 Mar del Plata, Argentina.

²Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), Gran Capità, s/n. Mòd. D-2. Office 007, 08034 Barcelona, España.

³Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), P^o de Alfonso XIII 52, E-30302, Cartagena, España.

⁴Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ), Rua Brig. Trompowski s/n, 21941-590 Rio de Janeiro, Brasil.

⁵Universidad Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Prof. Moraes Rego 1235, Cidade Universitária, Recife, Brasil.

Mail de contacto: emilia.bocanegra@gmail.com

RESUMEN

Se ha realizado una caracterización de las actuaciones de gestión llevadas a cabo en 33 acuíferos costeros de Iberoamérica clasificándolas en relación con tres grandes grupos de objetivos, medioambientales, de desarrollo de infraestructuras y de gestión económica. Los principales resultados son: a) Los objetivos medioambientales incluyen medidas de monitoreo, disminución de las extracciones, barrera física e inyección de agua dulce o extracción de agua salada. b) Los objetivos de desarrollo de infraestructuras para atención a la demanda y a su garantía incluyen plantas desaladoras, plantas de tratamiento de aguas subterráneas de mala calidad, construcción de drenes, reubicación de pozos, importación de agua y reuso de agua regenerada. c) Los objetivos de gestión económica, gobernanza, conocimiento y participación pública incluyen políticas de gestión ambiental, normas para limitar la extracción, permisos de explotación, acciones de control, educación ambiental y desarrollo del conocimiento científico.

Palabras clave: acuíferos costeros, Iberoamérica, gestión, objetivos, actuaciones.

ABSTRACT

A characterization of management actions implemented in 33 coastal aquifers in Latin America and the Iberian Peninsula has been carried out. They were classified in relation to three groups of objectives, environmental, infrastructure development and economic management. The main results are: a) Environmental objectives include monitoring measures, abstraction reduction, a physical barrier, and injection of fresh water and/or salt water abstraction. b) The objectives of infrastructure development and demand attention include desalination plants, plants for poor groundwater treatment, construction of drains, relocation of wells, water import and reuse of reclaimed water. c) The objectives of economic management, governance, knowledge and public participation include environmental management policies, rules to limit the abstraction, abstraction permits, control of activities, environmental education and development of scientific knowledge.

Keywords: coastal aquifers, Iberoamérica, management, objectives, actions.

Introducción

Las zonas costeras tienen un potencial enorme para la sociedad moderna, cumpliendo una serie de funciones en relación con la creación de empleo, el crecimiento económico y la calidad de vida (Comisión Europea, 1999):

- Producción agraria en llanuras costeras.
- Diversificación de actividades pesqueras.
- Posible producción de energía a partir de fuentes tradicionales como el petróleo o el gas,

o de fuentes renovables como el viento la marea y las olas.

- Movilidad y comercio: los puertos naturales y artificiales y las vías de comunicación a lo largo de la costa son elementos clave de las redes de transporte.

- Turismo, ocio, actividades recreativas y valores estéticos (playas, deportes acuáticos y paisajes de gran belleza).

- Residencias para personas de la tercera edad.

El problema biofísico fundamental de la zona costera radica en que el desarrollo con frecuencia no se contiene en los límites de las capacidades ambientales locales. Algunas de las manifestaciones más comunes de este problema son:

- erosión costera, a menudo exacerbada por una infraestructura humana inadecuada y un desarrollo demasiado próximo al litoral, pero también por una gestión del agua y del territorio inadecuadas en zonas interiores de las cuencas fluviales.
- destrucción del hábitat como consecuencia de una construcción y ordenación territorial poco planificadas; cerca del 30 % del territorio adyacente a los ecosistemas costeros del mundo ha sido alterado o destruido debido principalmente a la creciente demanda por terrenos que luego son destinados a la construcción de casas, a la industria y a la recreación (Burke et al., 2001),
- contaminación del suelo y de los recursos hídricos en la medida en que la contaminación de las fuentes marinas o interiores, incluidos los sitios de disposición de residuos, se desplazan hacia el litoral,
- problemas de calidad y cantidad de agua, dado que la demanda suele ser intensiva; la intrusión de agua salada debida a la explotación excesiva de los acuíferos costeros suele conllevar problemas progresivos de intrusión marina, de desplazamiento de otras aguas subterráneas salinas y de pérdida poco reversible de capacidad de almacenamiento de agua.
- en algunos casos notables problemas debidos a la subsidencia del terreno por las extracciones de agua subterránea de acuíferos poco consolidados, los que son frecuentes en las áreas costeras.

Estas presiones son desafíos que se deben afrontar y resolver para sostener los hábitats y recursos de los que dependen las zonas costeras y garantizar su capacidad para realizar todas sus funciones básicas y poder seguir siendo soporte del bienestar humano.

Las aguas subterráneas constituyen uno de los principales recursos de las zonas costeras, tanto como fuente y reserva temporal de agua dulce para el desarrollo urbano, turístico, agrícola e industrial como para mantener los servicios de los ecosistemas. Por esta razón los acuíferos costeros suelen estar intensamente explotados.

En las áreas urbanas los acuíferos someros son, por un lado, importantes elementos para el abastecimiento urbano y por otro lado su existencia supone posibles interacciones con edificios e instalaciones, los cuales a su vez pueden afectar al nivel freático. Pero también los acuíferos más profundos bajo el área urbana tienen interés por su importante papel geotécnico y como fuente de agua urbana, tanto en el pasado, como actualmente y en el futuro.

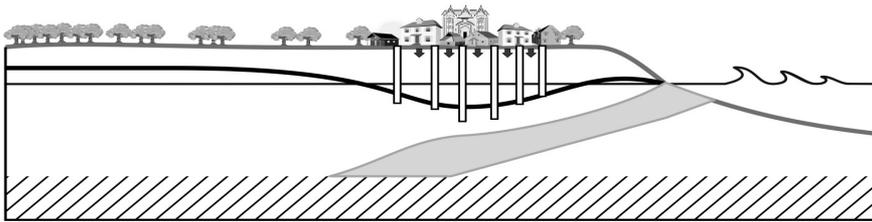
La hidrogeología urbana en zonas costeras trata del conocimiento del flujo del agua subterránea y de la recarga, del uso y la calidad del agua y la gestión en relación con los acuíferos bajo áreas urbanizadas que tienen como contorno la interfaz entre el continente y el mar (Custodio, 2004). También considera los acuíferos de los alrededores (peri-urbanos) que se usan para abastecer a la población y a sus satélites urbanos, industriales, comerciales, de riegos intensivos, de recreo, parques, etc.

Los principales impactos del desarrollo intensivo de aguas subterráneas en ambientes antropizados costeros son: descenso piezométrico, intrusión marina, contaminación por insuficiencia o falta de sistemas de saneamiento, contaminación por pérdidas de las redes sanitarias, contaminación por actividad agrícola, ganadera e industrial periurbana, subsidencia, deterioro de infraestructuras urbanas y falencias en la gestión. Una síntesis conceptual sobre los efectos de la explotación intensiva de las aguas subterráneas en las zonas costeras, siguiendo el esquema de Foster et al. (1998) para áreas urbanas y peri-urbanas, se presenta en la Fig. 1 (Bocanegra, 2011).

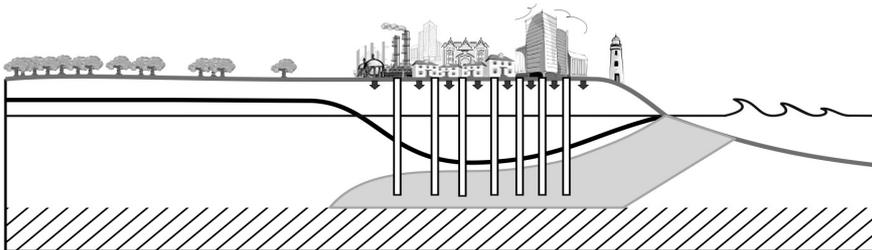
Conocer los problemas que afrontan los acuíferos costeros y los tipos de actuaciones de gestión, puede ser útil para asesorar nuevos planes de gestión. Este trabajo realiza una caracterización de un número representativo de acuíferos costeros de Iberoamérica (América Latina y la Península Ibérica) desde el punto de vista de las actuaciones de gestión que se llevan a cabo en los mismos y de los objetivos de dichas actuaciones.

Contexto

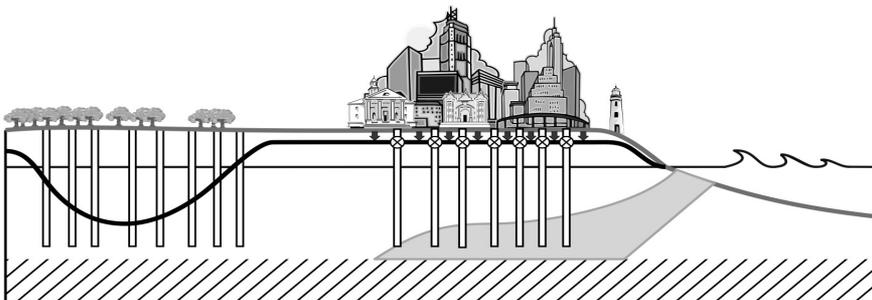
Entre los años 2006 y 2008 se desarrolló el proyecto del Programa Internacional de Correlación Geológica de UNESCO IGCP 519 "Gestión Integrada de Acuíferos Costeros en Iberoamérica". El objetivo del trabajo fue estudiar los tipos de acuíferos costeros existentes en Iberoamérica, su estado de conocimiento, su utilización y las actuaciones de gestión que se llevan a cabo en cada tipo de acuífero.



- a) Pequeño asentamiento costero
 Suministro de agua por pozos urbanos someros
 Leve descenso del nivel freático
 Disposición de efluentes al sub suelo
 Escurrimiento pluvial por superficie del terreno



- b) Ciudad costera
 Suministro de agua por pozos urbanos profundos
 Elevado descenso del nivel freático
 Salinización de pozos por intrusión marina
 Subsidencia del terreno en acuíferos no consolidados
 Desarrollo de redes de agua y saneamiento
 Escurrimiento pluvial por conductos



- c) Gran ciudad costera
 Abandono de pozos por intrusión marina
 Ascenso del nivel freático
 Incremento de la recarga urbana por pérdidas de redes sanitarias y pluviales
 Inundación y deterioro de las infraestructuras urbanas subterráneas
 Suministro de agua por pozos rurales
 Conflictos eventuales con grandes usuarios para riego
 Deterioro de la calidad del agua subterránea

Figura 1. Efectos de la evolución urbana costera sobre los recursos hídricos subterráneos. Bocanegra (2011).

Para obtener la información necesaria se diseñaron unas fichas que contemplan información geológica, hidrogeológica, grado de conocimiento, principales problemas existentes y medidas de gestión que se llevan a cabo. Las fichas fueron cumplimentadas por los investigadores del proyecto y también por otros profesionales a quienes se les enviaron a modo de encuesta. Los datos suministrados se basan en publicaciones o informes técnicos, en su mayoría realizados por los profesionales que respondieron las encuestas.

El estudio del estado del conocimiento y la gestión de acuíferos costeros urbanos y periurbanos en Iberoamérica sobre 15 acuíferos seleccionados con base en la información publicada disponible y su relevancia regional permitió reconocer la existencia de tres clases principales de cuerpos costeros de agua subterránea (Bocanegra et al., 2010):

- Grandes acuíferos de importancia regional que se desarrollan en grandes cuencas sedimentarias costeras, abarcando un amplio rango de ambientes deposicionales, de tipos de sedimentación y de litologías. De entre los acuíferos relevados en la parte americana, pertenecen a esta clase acuíferos de Argentina (Bahía Blanca y Mar del Plata), Brasil (Recife, Fortaleza, Maceió) y Uruguay (acuífero Raigón).

- Pequeños acuíferos clásticos de interés local que actúan como reservorios estratégicos de agua, con gran relevancia económica y social; ocurren en dunas someras, depósitos de playa, sedimentos de loess o depósitos aluviales. Esta clase está representada por acuíferos de Brasil (Rio de Janeiro), Uruguay (La Paloma), Argentina (La Plata), Colombia (Santa Marta, Urabá y Morrosquillo) y Perú (Máncora).

- Acuíferos en pequeñas islas: caracterizados por su dificultad para establecer sus límites ya que la explotación intensiva moviliza grandes volúmenes de agua que en estos acuíferos proceden de formaciones adyacentes. Esta clase está representada por acuíferos en rocas basálticas en Chile (Isla de Pascua) y kársticas en Colombia (Isla San Andrés).

El estudio puso de manifiesto la existencia de situaciones comunes a muchos de los acuíferos relevados, tanto desde el punto de vista de los problemas que afrontan como desde el punto de vista de las actuaciones de gestión que se realizan. Dicho resultado es la motivación del presente trabajo, que es una aportación nueva no publicada anteriormente.

Objetivos

El objetivo del trabajo ha sido realizar una tipificación de las acciones de gestión de los recursos hídricos subterráneos que se llevan a cabo en un número representativo de acuíferos costeros de Iberoamérica.

Metodología

Se ha evaluado y sintetizado la información recopilada en el marco del proyecto IGCP 519. Corresponde a encuestas sobre 33 acuíferos costeros de 12 países de Iberoamérica: Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, México, Nicaragua, Perú, Uruguay, España y Portugal (Fig. 2).

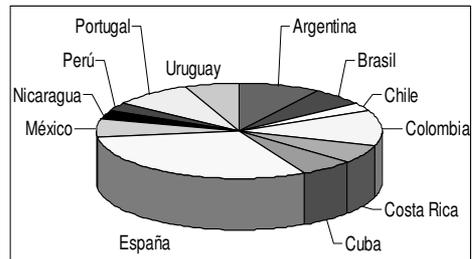


Figura 2. Distribución de casos de estudio por países.

Además se han analizado los planes hidrológicos de diferentes países iberoamericanos, poniendo énfasis en la definición de objetivos de gestión y en las actuaciones que se proponen para alcanzar los objetivos. Con base en este análisis, para el presente trabajo se especificaron tres amplios tipos de objetivos de gestión:

a) Medioambientales: tendentes a proteger, mejorar y regenerar las masas de aguas subterráneas y superficiales y a racionalizar y equilibrar las extracciones de agua subterránea y evitar su contaminación y deterioro.

b) De desarrollo de infraestructuras para atención de la demanda: tendentes a garantizar el suministro de agua para los usos de la zona en un marco de sostenibilidad y eficiencia.

c) De gestión económica, gobernanza, conocimiento y participación pública: incluyen la coordinación y dirección de la gestión y la gobernanza de todos los procesos del agua; el aumento del conocimiento del estado del agua; el impulso de la divulgación sobre la importancia del agua y la formación y la participación pública.

La información relativa a los 33 acuíferos costeros relevados se ha analizado atendiendo a estos tres tipos de objetivos propuestos, relacionando las actuaciones de gestión que se llevan a cabo en los mismos con cada uno de los tres grupos.

Resultados

Los principales problemas reportados se muestran en la Fig. 3.

La información relevada en relación con los objetivos analizados y las actuaciones implementadas para cada acuífero se muestra en la Tabla 1.

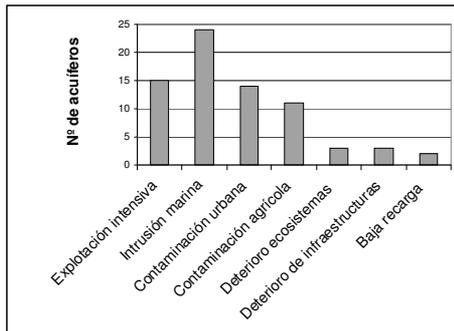


Figura 3. Principales problemas reportados.

A continuación se describen las acciones de gestión que se han identificado en relación con los tres tipos de objetivos estudiados.

a) Acciones relacionadas con objetivos medioambientales

- Monitoreo: la mayor parte de los países cuentan con redes de monitoreo piezométrico e hidroquímico; sólo en algunos casos se reporta la existencia de datos ocasionales.
- Disminución de la explotación: los acuíferos de Mar del Plata (Argentina), Llobregat y Doñana (España), Hermosillo (México) y La Paloma (Uruguay) han implementado la reducción de las extracciones.
- Barrera física: en el acuífero de La Habana (Cuba) se ha construido una barrera impermeable de 1,5 m sobre nivel del mar, 1 m de profundidad y 35 km de longitud para impedir el ingreso de agua de mar al continente.
- Barrera hidráulica: en el acuífero del Baix Llobregat (Barcelona, España): se ha construido una barrera positiva con pozos de inyección y en el acuífero de Mar del Plata (Argentina) una barrera negativa con pozos de extracción, ambos sistemas con el objeto de controlar la

posición de la interfaz agua dulce-agua salada y mejorar la calidad del agua de la parte del acuífero que se explota.

b) Acciones relacionadas con objetivos de desarrollo de infraestructuras para la atención de la demanda

- Planta desalinizadora: esta alternativa de suministro se ha reportado en casos de estudio en Cuba y en las Islas Canarias, Mallorca, Barcelona y Almería (España).
 - Planta de tratamiento: se utiliza para ajustar a la norma de potabilidad el agua de suministro con elevado contenido de hierro en el acuífero de La Paloma (Uruguay).
 - Construcción de drenes: en Cuba se utilizan trincheras y drenes soterrados para obtener una mejor calidad de agua.
 - Reubicación de pozos: se reportan 6 acuíferos que han implementado esta estrategia de gestión para satisfacer la demanda.
 - Importación de agua: incluye transferencia de agua subterránea o superficial desde otras cuencas; se reporta en un acuífero de Brasil y 5 de España.
 - Recarga artificial: incluye diversos tipos de estructuras tales como balsas de infiltración o campo de pozos de inyección de agua tratada. Se reportan en Recife (Brasil, aunque como un experimento piloto), Santa Marta (Colombia) y en los acuíferos de Plana de Castelló, Pla de Palma y el Llobregat (España).
 - Regeneración de agua residual tratada: esta estrategia ha sido implementada en acuíferos españoles.
- ### c) Acciones relacionadas con objetivos de gestión económica, gobernanza, conocimiento y participación pública
- Políticas de gestión ambiental: incluyen planes de manejo, ordenamiento de usos del territorio, uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas y creación de organismos de gestión.
 - Normas para limitar la extracción: incluyen la prohibición de nuevas perforaciones.
 - Permisos de explotación.
 - Otras acciones de control: incluyen control de bombeos, cierre temporal o permanente de pozos y medidas para mejorar la calidad en relación al contenido en nitrato.
 - Participación de usuarios: existen diversas modalidades de involucramiento de los usuarios en la gestión, tales como la información, el monitoreo, la consulta y la participación activa.
 - Educación ambiental: se realiza a nivel formal y no formal.

• Conocimiento científico: incluye formulación del modelo conceptual, estudios de vulnerabilidad, modelación numérica y otros estudios.

La distribución del tipo de actuaciones implementadas según los objetivos se muestra en la Fig. 4.

Tabla 1. Resultados tabulados del inventario, con los objetivos analizados y actuaciones implementadas

Nº	PAÍS / NOMBRE DEL ACUÍFERO COSTERO	GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL				INFRAESTRUCTURAS Y ACCIONES PARA ATENCIÓN DE LA DEMANDA						GESTIÓN ECONÓMICA, GOBERNANZA, CONOCIMIENTO Y PARTICIPACIÓN PÚBLICA						
		Monitoreo	Disminución de la explotación	Barrera física	Barrera hidráulica	Planta desalinizadora	Plantas de tratamiento	Construcción de drenes	Reubicación de pozos	Importación de agua	Recarga artificial	Reuso de agua tratada	Políticas de gestión ambiental	Normas para limitar la extracción	Permisos de explotación	Otras acciones de control	Participación de usuarios	Educación ambiental
1	Argentina. Bahía Blanca. Buenos Aires	•															•	•
2	Argentina. La Plata. Buenos Aires	•										•					•	•
3	Argentina. Mar del Plata. Buenos Aires	•	•		•			•				•						•
4	Brasil. Rio de Janeiro								•					•			•	
5	Brasil. Recife. Pernambuco	•						•		•		•		•		•		•
6	Chile. Isla de Pascua							•										•
7	Colombia. Isla de San Andrés	•										•			•			•
8	Colombia. Morrosquillo											•						•
9	Colombia. Santa Marta	•								•								•
10	Colombia. Eje Bananero de Urabá	•												•				•
11	Costa Rica. Cahuita. Limón																	
12	Costa Rica. Tamarindo. Guanacaste														•			
13	Cuba. Cayo Largo del Sur				•		•											•
14	Cuba. Costera Sur de La Habana	•	•															•
15	España. Inca Sa Pobra. Isla de Mallorca	•								•		•					•	•
16	España. Plana de Castelló								•	•						•		•
17	España. Pla de Palma. Isla de Mallorca	•			•			•	•									•
18	España. Telde. Gran Canaria. Islas Canarias	•			•													•

Tabla 1. Resultados tabulados del inventario, con los objetivos analizados y actuaciones implementadas (Continuación)

Nº	PAÍS / NOMBRE DEL ACUÍFERO COSTERO	GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL				INFRAESTRUCTURAS Y ACCIONES PARA ATENCIÓN DE LA DEMANDA						GESTIÓN ECONÓMICA, GOBERNANZA, CONOCIMIENTO Y PARTICIPACIÓN PÚBLICA							
		Monitoreo	Disminución de la explotación	Barrera física	Barrera hidráulica	Planta desalinizadora	Plantas de tratamiento	Construcción de drenes	Reubicación de pozos	Importación de agua	Recarga artificial	Reuso de agua tratada	Políticas de gestión ambiental	Normas para limitar la extracción	Permisos de explotación	Otras acciones de control	Participación de usuarios	Educación ambiental	Conocimiento científico
19	España. Baix Llobregat. Cataluña	•			•						•	•	•				•	•	•
20	España. Campo de Dalías. Almería				•						•							•	•
21	España. Baix Camp Tarragonés, Cataluña							•	•						•				
22	España. Macizo de Amurga. Gran Canaria. Islas Canarias	•			•				•	•									
23	España. Macizo de Betancuria. Fuerteventura. Islas Canarias				•			•											
24	España. Sistema de Doñana. Huelva-Sevilla	•	•										•		•		•	•	•
25	México. Costa de Hermosillo	•	•					•											•
26	México. Península de Yucatán	•										•			•				•
27	Nicaragua. San Juan del Sur	•										•							
28	Perú. Máncora																		
29	Portugal. Campina do Faro. Algarve	•											•						•
30	Portugal. Luz-Tavira. Algarve	•													•				•
31	Portugal. Cuenca de Aveiro Baixo Vouga	•											•						•
32	Uruguay. Raigón	•										•							•
33	Uruguay. Paloma. Rocha		•			•									•				

Conclusiones

En la gestión de acuíferos urbanos en zonas costeras en Iberoamérica se aprecia que hay una evolución desde un desarrollo sectorial de los recursos hídricos concebido para dar respuesta a un determinado sector, principalmente el abastecimiento urbano y que se da en la mayoría de los países, hasta una gestión integrada de los recursos hídricos, con objetivos medioambientales, de desarrollo de infraestructuras para atención de la demanda, teniendo en cuenta todos los usos y objetivos de

gobernanza y participación pública, desarrollando la capacidad de generar políticas y de llevarlas a la práctica.

En virtud de los impactos producidos por la explotación intensiva en muchos de estos acuíferos se requiere un incremento de actuaciones que permitan en Iberoamérica dar respuesta a los objetivos propuestos, contribuyendo a alcanzar la sostenibilidad de los recursos hídricos subterráneos y de los ecosistemas naturales y antrópicos asociados.

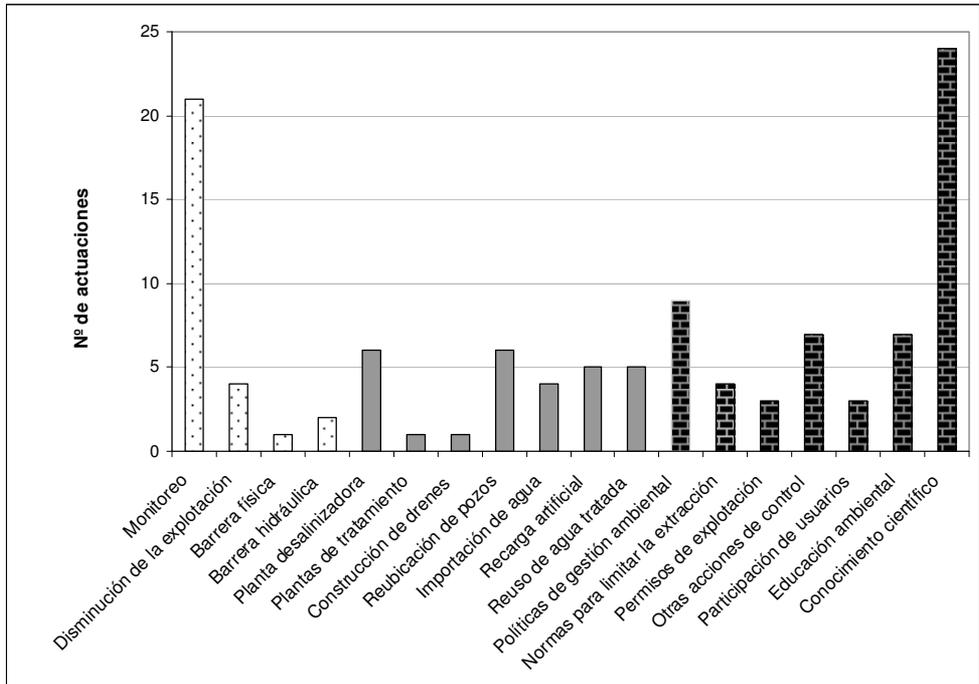


Figura 4. Distribución del tipo de actuaciones implementadas

Agradecimientos

El proyecto IGCP 519 fue financiado por UNESCO entre los años 2006 y 2008. Se agradece a todos los profesionales que dedicaron su tiempo a confeccionar las fichas de los acuíferos, aportando la información que ha permitido preparar el presente trabajo.

Referencias

Bocanegra, E. 2011. Estrategias de gestión del acuífero de Mar del Plata. Modelo conceptual y simulación numérica. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Inédita.

Bocanegra, E., Cardoso Da Silva Jr, G., Custodio, E., Manzano, M., Montenegro, S. 2010. State of knowledge of coastal aquifer management in South America. *Hydrogeology Journal* DOI: 10.1007/s10040-009-0520-5.

Burke, L., Kura, Y., Kassem, K., Revenga, C., Spalding, M., Mcallister, D. 2001. Pilot

analysis of global ecosystems: Coastal ecosystems. World Resources Institute Report. Washington, DC. 77 pp.

Comisión Europea. 1999. Programa de demostración de la UE sobre la Gestión Integrada de las Zonas Costeras 1997-1999. Luxemburgo, Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, 34 pp.

Custodio, E. 2004. Hidrogeología urbana: una nueva rama de la ciencia hidrogeológica. *Boletín Geológico y Minero*, 115: 283-288 pp.

Foster, S., Lawrence, A., Morris, B. 1998. Groundwater in urban development: Assessing management needs and formulating policy strategies. World Bank Technical Paper N° 390. Washington DC: The World Bank.