

## Métodos de extracción de las aguas subterráneas

Como en toda la región mediterránea, la disponibilidad de agua ha sido un elemento clave para el desarrollo de asentamientos humanos. En las Islas Baleares se hace especialmente evidente a partir de la dominación romana, periodo en el que se llevaron a cabo los primeros aprovechamientos de aguas subterráneas mediante la canalización de los manantiales más relevantes y permanentes de las islas. Tal es el caso de la Font de la Vila, que abastecía a la ciudad de Palma, o las fuentes de Ternelles, cuyas aguas eran conducidas hasta la ciudad romana de *Pollentia*. No obstante, son los musulmanes, como en el resto de los territorios peninsulares de Al-Andalus, los verdaderos ingenieros del agua en nuestras islas. Ellos comenzaron a cultivar las primeras huertas, a abancarlar los terrenos abruptos y a construir toda una serie de elementos de captación, transporte y almacenamiento del agua subterránea. Su legado de acequias, norias, molinos, aljibes etc., constituye un patrimonio cultural indiscutible.

Los primeros pozos de explotación de las aguas subterráneas se perforaban a mano, con pico y pala, en aquellos terrenos donde el nivel freático del acuífero se situaba muy cerca de la superficie del terreno. El agua se extraía mediante poleas y posteriormente mediante impulsión animal (noria o *sínies*). Aún se conservan numerosos pozos de este tipo, forrados de sillería de *marès*, y pueden encontrarse en numerosas fincas del Pla de Sa Pobla (Mallorca), en Ciutadella (Menorca) o en los llanos de Ibiza y Formentera, entre otros.

Molino en el Pla de Sant Jordi (Mallorca).

En 1847, el holandés Paul Bouvij diseñó la desecación de este antiguo humedal, mediante la construcción de numerosos molinos de viento y acequias de drenaje.



*Foto: E. Hernández*

En determinadas zonas muy llanas y cerca del mar, la extracción de agua subterránea de pozos muy poco profundos se realizaba mediante la fuerza del viento. La desecación del Pla de Sant Jordi, el Salobrar de Campos y la Albufera de Mallorca en el siglo XIX, trajo consigo la implantación de numerosos molinos de viento para elevar y extraer el agua. Baleares cuenta con el mayor conjunto de molinos de viento del mundo. A finales del siglo XIX había más de 1600 molinos. En la actualidad configuran un paisaje muy singular, también presente en los Llanos de Ibiza.

No obstante, es a partir del siglo xx, cuando el desarrollo tecnológico permite extraer agua subterránea de profundidades considerables. El desarrollo de las máquinas perforadoras conjuntamente con el de las bombas de extracción, trajo consigo la perforación de numerosos pozos y su explotación a partir de la década de los cincuenta del pasado siglo. Los pozos del Pont d'Inca, Virgen de Monserrat y S'Estremera en Mallorca iniciaron una nueva etapa en el abastecimiento a la ciudad de Palma, como ocurrió en el resto de las principales ciudades del archipiélago.

Inicialmente las máquinas perforadoras eran de percusión (se golpea y disgrega la roca mediante un trépano) o de rotación (con una cabeza giratoria que va cortando la roca y extrayéndola en forma de cilindros). No obstante, cabe resaltar el invento de las «máquinas lentas mallorquinas», que perforaban el terreno extrayendo cilindros de roca de gran diámetro (más de 40 cm) y que fueron de gran utilidad para los geólogos, ya que proporcionaron buenos testigos para el estudio de las rocas y sedimentos que constituyen nuestro subsuelo. En la actualidad, las máquinas mallorquinas casi han desaparecido, siendo sustituidas por máquinas rápidas a rotopercusión, lo que ha determinado, por su rapidez y menor coste, una enorme proliferación de los pozos de captación de aguas subterráneas en nuestro territorio.



Cilindros de roca testigos que extraían las «máquinas lentas mallorquinas» para la perforación de pozos.  
Hoy en día estas máquinas han desaparecido

*Foto: R. M. Mateos*

### ¿Qué es un ensayo de bombeo?

Una vez que se ha realizado una obra para la captación de aguas subterráneas y ésta ha alcanzado el acuífero, es necesario comprobar si el caudal que podemos obtener del mismo es suficiente para satisfacer nuestras necesidades de manera sostenida a lo largo del tiempo, y sin influenciar negativamente en el acuífero o en otras captaciones ya existentes en la zona.



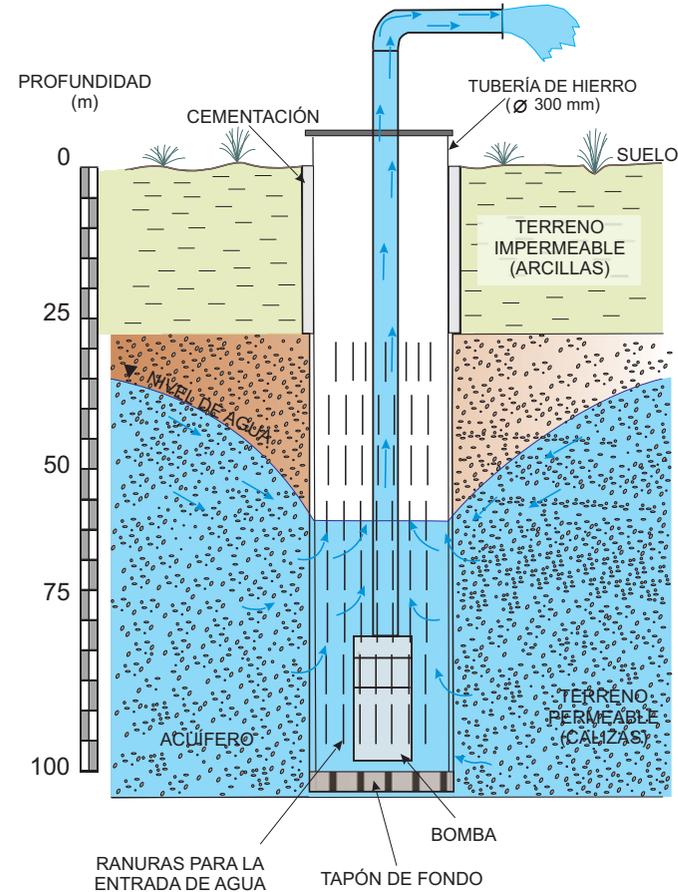
Ensayo de bombeo.

*Foto: J. M. López*

Mediante la sonda que se observa a la izquierda del pozo se controla cómo varía la posición del nivel del agua del acuífero durante el bombeo

La realización de un ensayo de bombeo sigue una metodología de trabajo sencilla, en cuanto a la adquisición de los datos, si bien su análisis e interpretación requieren de una elevada cualificación técnica así como de un buen conocimiento de las características geológicas e hidrogeológicas de la zona. Aunque existen diferentes metodologías para su ejecución, la más simple consiste en bombear agua de un pozo, a un caudal constante o variable, midiendo simultáneamente la variación del nivel de agua en el mismo y pozos del entorno. El bombeo efectuado genera un descenso en el nivel de agua en los pozos de observación, mayor en el entorno de la captación y menor a medida que nos alejamos de él, generando una depresión en forma de cono. La extensión y evolución de dicho **cono de bombeo** es función de varias características del acuífero, fundamentalmente de su capacidad para transmitir y almacenar el agua. Es decir, nos da una idea de lo «bueno» o «malo» que es el acuífero.

La calidad de la construcción del pozo y el equipamiento del mismo pueden dar lugar a importantes variaciones en el caudal que se obtenga. Si la obra es de mala calidad, se puede tener un pozo perforado sobre un buen acuífero pero que de un resultado negativo durante el ensayo.

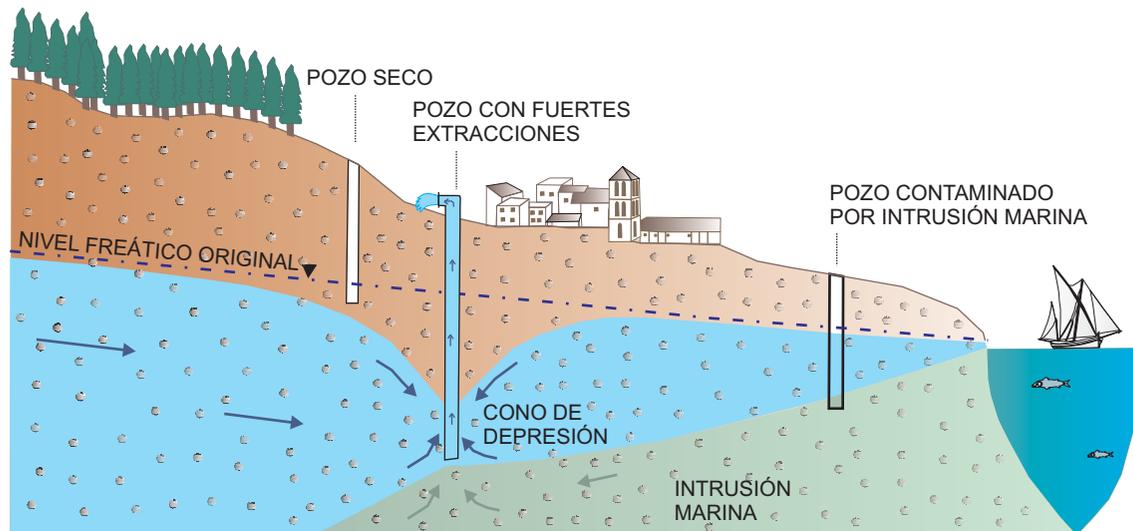


Esquema de un pozo entubado.

La explotación del acuífero genera un cono de bombeo en el entorno de la captación. Es importante decidir la profundidad más aconsejable a la que se coloca la bomba, especialmente en aquellos acuíferos conectados con el mar, para evitar posibles efectos de intrusión marina en el acuífero

A partir de la información obtenida tras un ensayo de bombeo se puede calcular el caudal de extracción más aconsejable y el lugar más adecuado para la colocación de la bomba. Este último factor es especialmente relevante en los acuíferos que presentan una comunicación con el mar, ya que existe una estrecha relación entre la profundidad a la que se coloca la bomba y la temida salinización de los acuíferos por intrusión de agua marina.

Esquema que representa los posibles efectos negativos en el entorno que puede causar un pozo con una intensa explotación. Genera una fuerte depresión del nivel freático, que deja en seco uno de los pozos y provoca la intrusión marina en el acuífero, salinizando el pozo más cercano a la costa.



## Principales afecciones a las aguas subterráneas

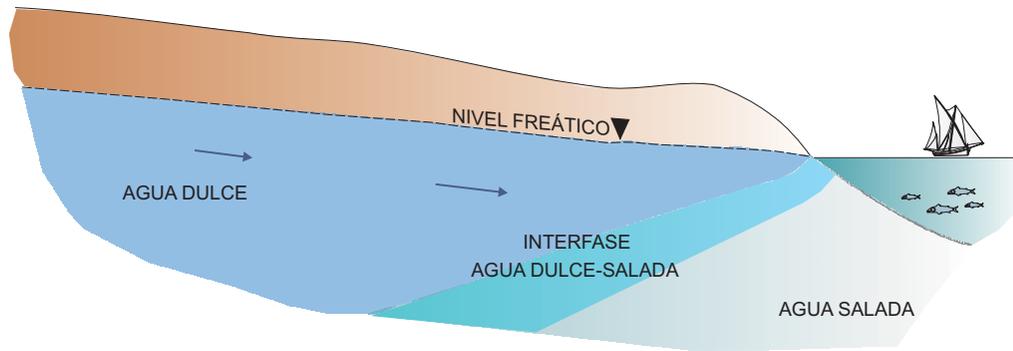
Existen factores externos, especialmente de origen antrópico, que pueden alterar la composición natural de las aguas subterráneas. Debido a la capacidad depuradora del subsuelo, los acuíferos presentan un notable poder de protección frente a muchos agentes contaminantes. Sin embargo, una vez que el acuífero está contaminado, su regeneración suele ser difícil, lenta y costosa. De ahí la enorme importancia de proteger las aguas subterráneas frente a la contaminación, sea cual sea su origen.

En Las Islas Baleares, la contaminación de los acuíferos se debe principalmente a dos causas: la salinización de acuíferos costeros por intrusión de agua marina y el uso de abonos agrícolas. Existen también otros casos de contaminación debido a actividades domésticas, ganaderas, vertidos, etc., pero se trata de eventos muy puntuales que habría que analizar caso por caso.

### Intrusión marina

En las zonas costeras y en una situación natural, el agua del mar penetra hacia tierra formando una cuña de agua salada en equilibrio con el agua dulce del acuífero y por debajo de ella debido a su mayor densidad. El contacto entre estas dos zonas se denomina **interfase agua dulce-agua salada**. Cuando se producen extracciones de agua subterránea cerca de la costa se rompe este equilibrio natural y la interfase penetra hacia el interior. Cuando la explotación del acuífero es excesiva, la interfase puede alcanzar el fondo de los pozos, de manera que estos llegan a extraer agua salobre.

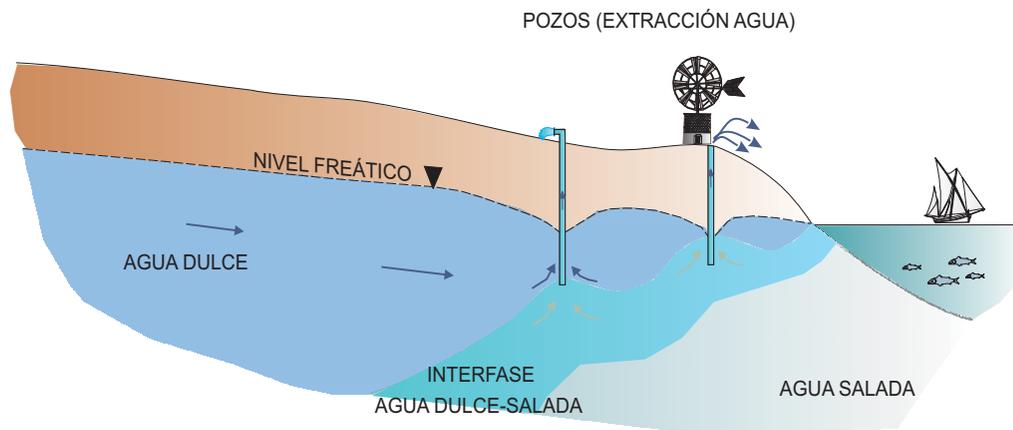
ESTADO NATURAL DEL ACUÍFERO



Contaminación por intrusión marina de un acuífero costero.

En la figura superior se representa el estado natural del acuífero, con la interfase agua dulce- agua salada.

ACUÍFERO CONTAMINADO POR INTRUSIÓN MARINA



En la figura inferior se muestra el avance de la interfase tierra adentro, contaminando las aguas de los pozos, los cuales bombean ya agua salobre.

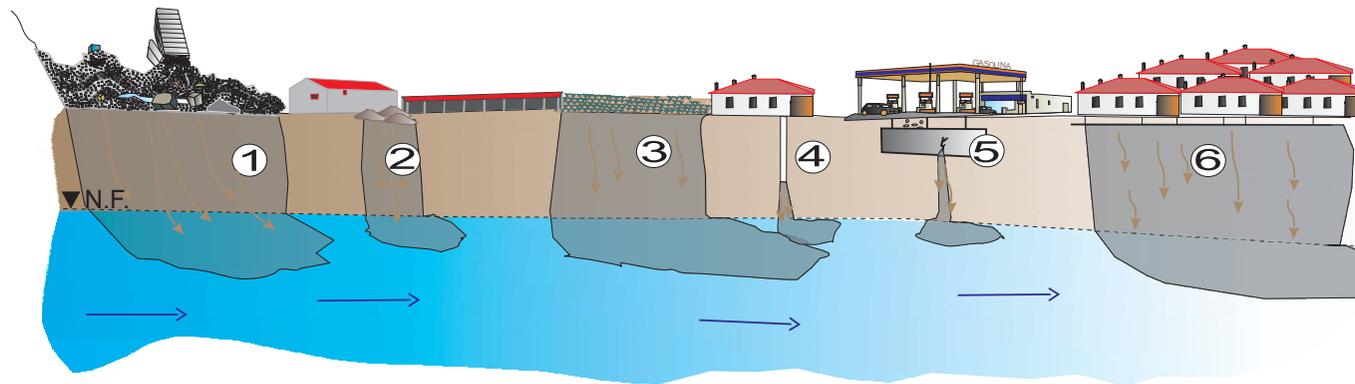
En Baleares, con una notable longitud de costa y numerosos acuíferos costeros en explotación, este fenómeno es bastante frecuente, llegando a salinizar importantes masas de agua de los acuíferos costeros, que se detecta por una elevada presencia de ión cloruro en las aguas (superior a 500 mg/L). Los acuíferos del Llano de Palma, Campos y Na Burguesa son los más afectados en la isla de Mallorca. También se detecta salinización por intrusión marina en algunos sectores de Ciutadella y Maó en Menorca, así como en el Llano y Serra Grossa de Ibiza y en buena parte de la isla de Formentera.

### **Abonado agrícola**

El abonado que se utiliza comúnmente en la agricultura puede ser de tipo mineral u orgánico. En ambos casos puede producir una contaminación del acuífero debido a un aporte elevado de nitratos. La aplicación excesiva e incorrecta de abonos, así como las prácticas de riego poco eficientes, favorecen el lavado de nitratos y su incorporación al acuífero. En Baleares este tipo de contaminación se acentúa, ya que casi todos los campos de cultivo se riegan con aguas subterráneas y se produce un continuo reciclado de éstas. El acuífero del Llano de Sa Pobla (Mallorca) es el más afectado por este tipo de contaminación, debido al abonado de la patata, que constituye el principal cultivo de la zona.

Esquema que representa los posibles diferentes orígenes de la contaminación de las aguas subterráneas en el Archipiélago balear, así como el tipo de contaminación que producen.

### CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS



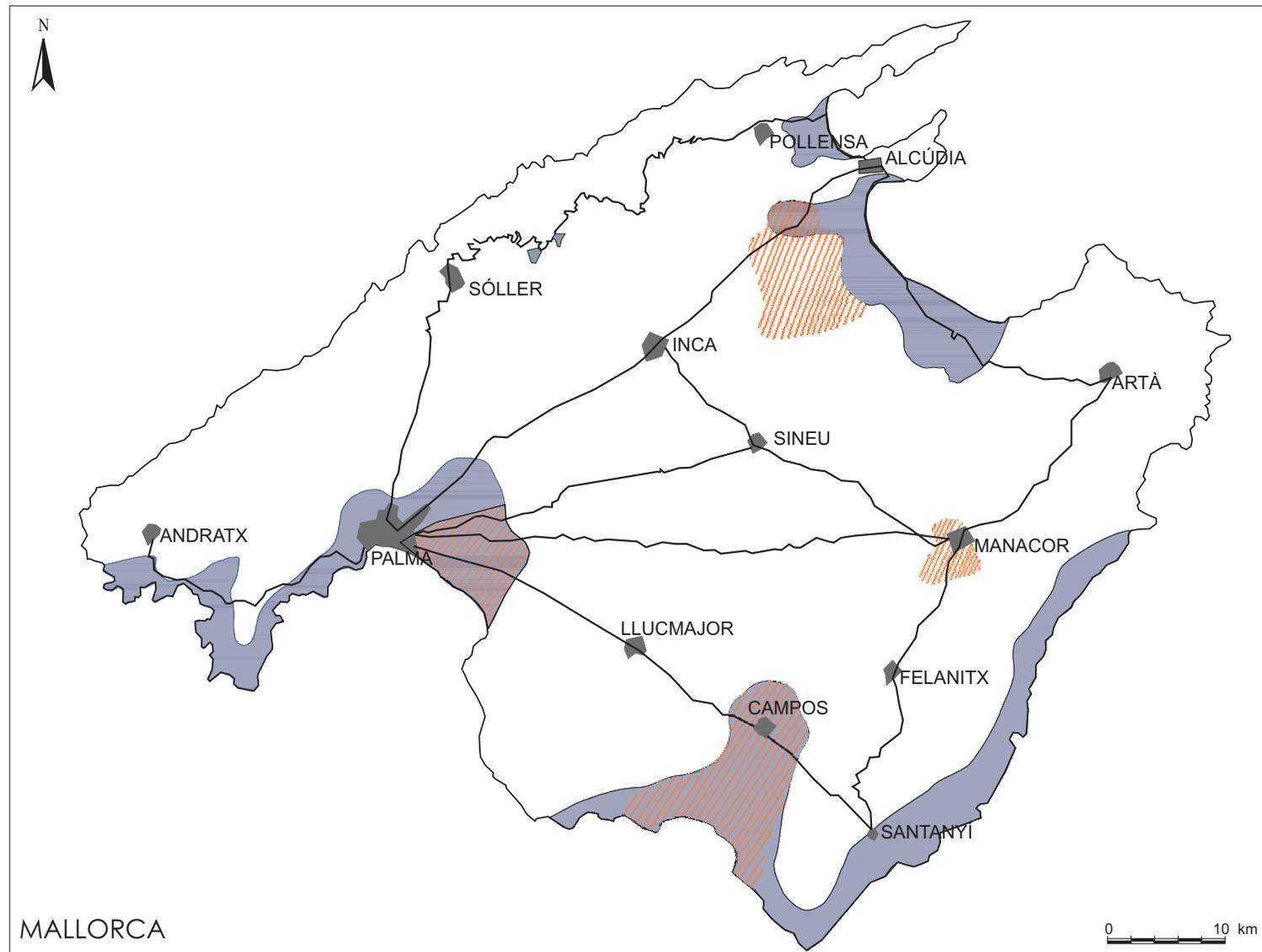
- 1 - VERTEDERO DE RESIDUOS SÓLIDOS: CONTAMINACIÓN QUÍMICA
- 2 - GRANJA: CONTAMINACIÓN ORGÁNICA Y QUÍMICA
- 3 - ABONADO AGRÍCOLA: CONTAMINACIÓN QUÍMICA
- 4 - CASA CON POZO NEGRO: CONTAMINACIÓN ORGÁNICA
- 5 - GASOLINERA: CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS
- 6 - POBLACIÓN: CONTAMINACIÓN ORGÁNICA

**Los pozos mal contruidos o abandonados son especialmente peligrosos, ya que pueden ser una vía directa de contaminación del acuífero.**

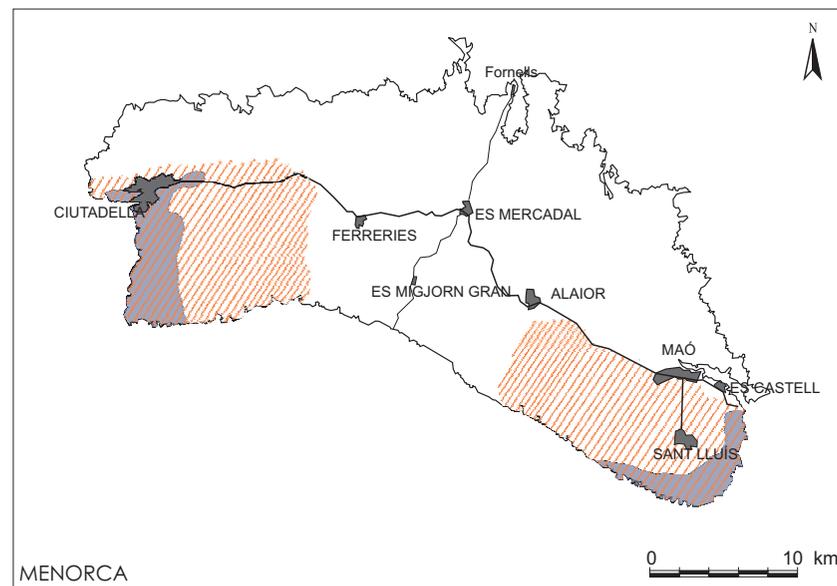
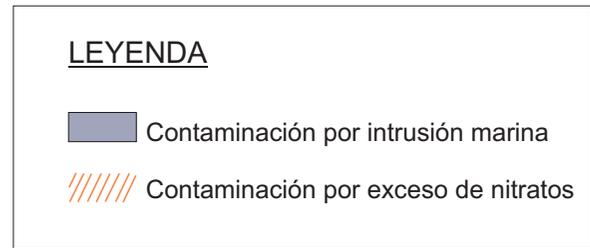
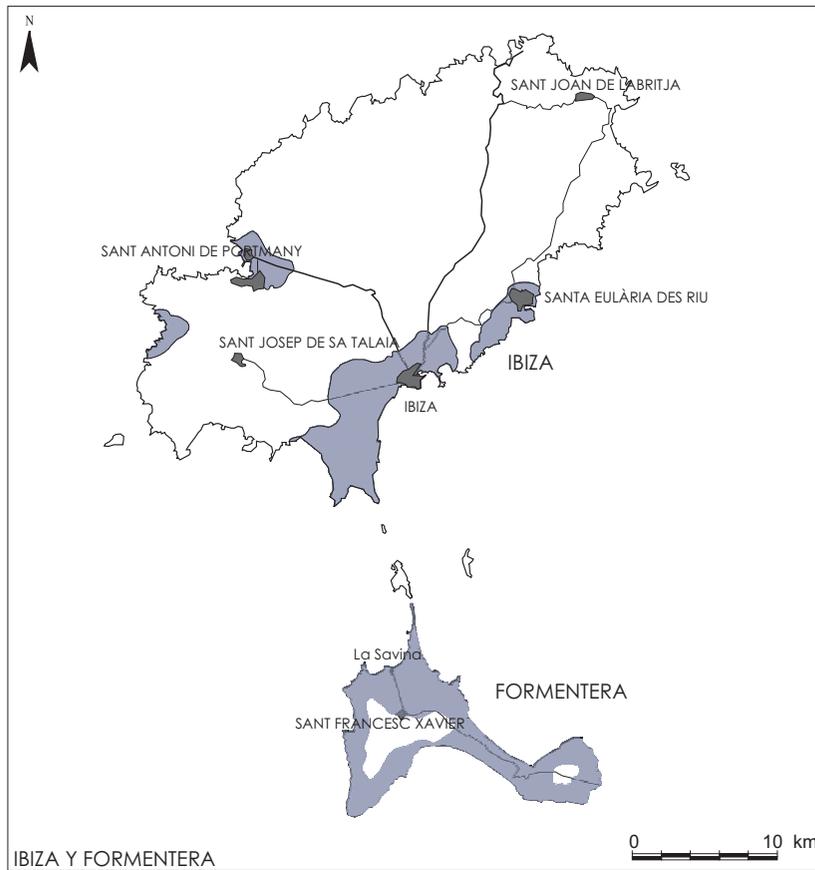
## Otros tipos de contaminación de las aguas subterráneas

En ocasiones, se puede producir una contaminación de tipo puntual debida a las siguientes causas:

- **Actividades domésticas:** se puede producir una contaminación de tipo orgánica debido a fugas en fosas sépticas, pozos negros, pérdidas en la red de alcantarillado etc.
- **Actividades ganaderas:** La mala gestión de los residuos ganaderos puede generar una contaminación orgánica en el acuífero muy concentrada e intensa. Este tipo de contaminación es frecuente en el acuífero de Migjorn en la isla de Menorca, donde hay numerosas explotaciones de ganado vacuno.
- **Actividades industriales:** El sector industrial produce una variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas, y en especial metales pesados, que pueden dar lugar a contaminaciones muy nocivas de las aguas subterráneas. Afortunadamente, este tipo de contaminación es poco frecuente en nuestro archipiélago.
- **Vertederos de residuos sólidos.** La actividad humana produce residuos sólidos de variada naturaleza que pueden contaminar los acuíferos. Son especialmente peligrosos los vertederos no controlados.
- **Las gasolineras** pueden constituir también posibles focos de contaminación de las aguas subterráneas, debido a posibles fugas de combustible de los depósitos enterrados. Recientemente, el acuífero de Santa Gertrudis (Ibiza) se ha visto afectado por este tipo de contaminación, lo cual ha obligado a la Administración a un largo y costoso proceso de regeneración del acuífero.



Representación de los acuíferos de Baleares afectados por las dos fuentes principales de contaminación: la intrusión marina y el exceso de nitratos de las actividades agropecuarias.



## Usos del agua subterránea en Baleares

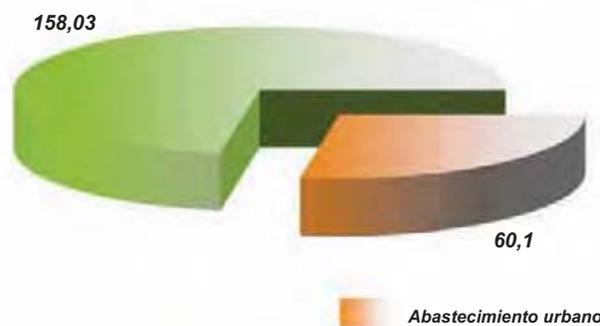
La ausencia de ríos en nuestro territorio ha determinado un uso intensivo de las aguas subterráneas, que se ha venido incrementando notablemente desde la llegada masiva del turismo en los años sesenta.

Independientemente de otros usos de menor relevancia (industrial, recreativo, etc.), los acuíferos se han venido explotando para cubrir principalmente las necesidades del sector agrícola y para el abastecimiento urbano. La demanda de agua para abastecimiento urbano se ha multiplicado considerablemente durante las últimas cuatro décadas, duplicándose en el caso de la isla de Mallorca y multiplicándose por cuatro en las islas de Ibiza y Menorca. También se observa un descenso notable en el consumo de agua en el sector agrario, como consecuencia de la disminución de las hectáreas de regadío, de la tecnificación y eficiencia actual de éstos y del cierre de algunas explotaciones ganaderas. El resultado es un incremento en la demanda del 25% en los últimos casi 40 años, equiparándose prácticamente en la actualidad la demanda urbana (57%) con la agrícola (43%).

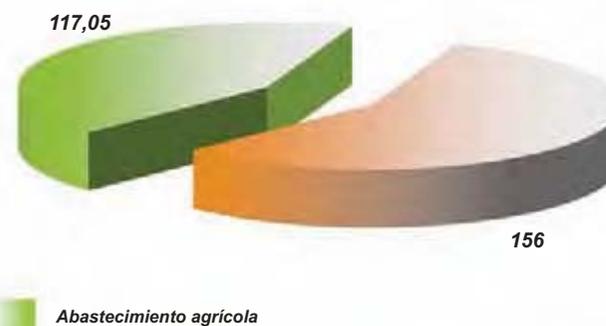
**EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA SEGÚN SECTORES,  
PARA CADA UNA DE LAS PRINCIPALES ISLAS  
(en millones de metros cúbicos por año)**

ISLA	MALLORCA		MENORCA		IBIZA		FORMENTERA		
	USO	ABASTECIMIENTO	AGRICULTURA	ABASTECIMIENTO	AGRICULTURA	ABASTECIMIENTO	AGRICULTURA	ABASTECIMIENTO	AGRICULTURA
<b>AÑO</b>									
<b>1970</b>		52	133	4	18	4	7	0,1	0,03
<b>1980</b>		76	210	6	22	9	17	0,3	0,03
<b>1992</b>		87	133	11	12	7	11	0,3	0,03
<b>2006</b>		126	100	14	7	15	10	1	0,05

**Baleares 1970**  
( millones de m<sup>3</sup> )



**Baleares 2006**  
( millones de m<sup>3</sup> )



Evolución de la demanda de agua en Baleares en las últimas cuatro décadas. En 1970 era de 218 millones de metros cúbicos anuales, el 72% de los cuales provenía del sector agrícola. En el año 2006, la demanda asciende a 273 millones de metros cúbicos al año, siendo el abastecimiento urbano el sector con mayor demanda (el 57% del total).

## Situación actual

El incremento en la demanda de agua para abastecimiento urbano ha determinado la necesidad de la búsqueda alternativa de otros recursos hídricos de gran calidad. La implantación de plantas desalinizadoras de agua de mar y la progresiva reutilización de las aguas depuradas para uso agrícola, abren una nueva panorámica a la gestión del agua en Baleares.

Las aguas subterráneas siguen siendo el principal recurso hídrico del archipiélago, y representan casi el 80% de los recursos totales que se utilizan para el abastecimiento urbano. En el sector agrícola esta cifra se incrementa, cubriendo el agua de nuestros acuíferos el 83% de la demanda de este sector.

El uso de otros recursos no convencionales comienza a ser notable en nuestro archipiélago. Así, la entrada en funcionamiento de las plantas desalinizadoras de agua de mar permite cubrir poco más de un 16% de la demanda de agua total para abastecimiento urbano, siendo un recurso vital para la Isla de Formentera. La reutilización de aguas tratadas para el regadío en la agricultura cubre ya un 16% de la demanda de agua para este sector, destacando la isla de Mallorca como pionera en este tipo de actuaciones. La legislación balear obliga a los campos de golf a reutilizar las aguas depuradas para su regadío.

<b>ORIGEN DEL AGUA PARA ABASTECIMIENTO URBANO, EN LAS PRINCIPALES ISLAS DEL ARCHIPIÉLAGO</b>				
	SUBTERRÁNEO	SUPERFICIALES	DESALADORAS	TOTAL
MALLORCA	99	7	20	126
MENORCA	14	-	-	14
IBIZA	10	-	5	15
FORMENTERA	0,5	-	0,5	1
<b>TOTAL</b>	<b>123,5</b>	<b>7</b>	<b>25,5</b>	<b>156</b>
<b>%</b>	<b>79,2</b>	<b>4,5</b>	<b>16,3</b>	<b>100</b>

*(en millones de metros cúbicos por año). Datos del año 2006*

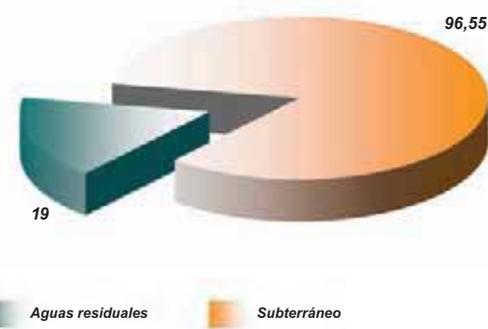
<b>ORIGEN DEL AGUA PARA EL SECTOR AGRARIO, EN LAS PRINCIPALES ISLAS DEL ARCHIPIÉLAGO</b>			
	SUBTERRÁNEO	AGUAS RESIDUALES	TOTAL
MALLORCA	81	18	99
MENORCA	5,50	1	6,50
IBIZA	10	-	10
FORMENTERA	0,05	-	0,05
<b>TOTAL</b>	<b>96,55</b>	<b>19</b>	<b>115,55</b>
<b>%</b>	<b>83,6</b>	<b>16,4</b>	<b>100</b>

*(en millones de metros cúbicos por año). Datos del año 2006*

Origen del agua para abastecimiento urbano  
(millones de m<sup>3</sup>)



Origen del agua para el sector agrícola  
(millones de m<sup>3</sup>)



Origen del agua para abastecimiento urbano y agrícola (datos 2006). Obsérvese la importancia de las aguas subterráneas, el principal recurso hídrico del Archipiélago balear.



*Foto: J. M. López y A. Galmés*

Riego por aspersión en el Llano de Sa Pobra.  
Las aguas subterráneas constituyen el principal recurso para la agricultura y cubren el 83% de la demanda en este sector.