

Figura 143. Regulación en régimen natural y en la situación teórica considerada (en porcentajes de la aportación total en régimen natural)

hallan las cuencas del Norte, Sur y Guadiana II con volúmenes regulados en embalses muy inferiores, particularmente el Norte III, donde no llega a regularse ni el 10% de la aportación natural.

Debe repetirse que, en rigor, estas cifras y evaluaciones tienen tan solo un valor indicativo, pues se han obtenido bajo determinados supuestos teóricos y simplificaciones. Pese a ello, ofrecen la ventaja de su total homogeneidad, que permite comparaciones objetivas entre cuencas, mostrando su situación relativa.

En posteriores epígrafes se irá prescindiendo de algunas de estas simplificaciones e introduciendo progresivos niveles de complejidad (como la consideración de otras fuentes de recursos además de la regulación superficial), aunque siempre bajo la perspectiva global y a la escala de todo el país. Los análisis de mayor detalle, finura descriptiva, y consideración de circunstancias locales, corresponden, lógicamente, a la planificación hidrológica de cada cuenca.

3.1.5.5. Las aguas subterráneas y su explotación

Las aguas subterráneas satisfacen una porción importante de las demandas consuntivas en España, explotándose del orden de 5.500 hm³/año tal y como se muestra en la tabla 34, elaborada con datos de bombeos tomados de los Planes Hidrológicos de cuenca y de MOPTMA-MINER (1995), y con datos de recargas propios y ofrecidos en anteriores secciones de este Libro. También hay que tener en cuenta, como se

expuso anteriormente, que en los ámbitos de Norte I y Galicia Costa no se dispone de estimaciones oficiales respecto a los bombeos de aguas subterráneas.

Es necesario precisar que cuando nos referimos a explotación de aguas subterráneas nos estamos refiriendo a aguas extraídas mediante bombeo de los acuíferos, y no a la fracción de origen subterráneo de la escorrentía total. Puede haber gran explotación por bombeos en cuencas con muy escasa fracción de escorrentía subterránea, y, a la inversa, no haber ninguna explotación por bombeos en cuencas con gran componente de escorrentía subterránea. La confusión entre ambos conceptos ha dado lugar, en ocasiones, a erróneas interpretaciones técnicas.

Por otra parte, hay que notar que, en algunos casos, las cifras de bombeos de la tabla ofrecida pueden incluir también salidas por manantiales, al no venir reflejadas ambas salidas, de forma separada, en todos los Planes de cuenca.

La figura 144 muestra asimismo, de forma visual, los porcentajes de bombeo/recarga, y de fracción de bombeo con respecto al total de España, en cada uno de los ámbitos territoriales de la planificación hidrológica.

Como puede verse, en los ámbitos del Guadiana I y Guadiana II las extracciones son, en valor medio global para el ámbito, superiores a la recarga natural, lo que revela una insostenibilidad global a largo plazo. En el caso del Guadiana II esta afirmación debe matizarse que esa insostenibilidad global es muy sensible a los

Ámbito de Planificación	Recarga en régimen natural (hm ³ /año)	Bombeo (hm ³ /año)	Porcentaje de bombeo respecto a la recarga natural	Porcentaje de bombeo respecto al total de España
Norte I	2.745	-	-	-
Norte II	5.077	19	0,4	0,3
Norte III	894	33	3,7	0,6
Duero	3.000	371	12,4	6,7
Tajo	2.393	164	6,9	3,0
Guadiana I	687	738	107,4	13,3
Guadiana II	63	76	120,6	1,4
Guadalquivir	2.343	507	21,6	9,2
Sur	680	420	61,8	7,6
Segura	588	478	81,2	8,6
Júcar	2.492	1.425	57,2	25,8
Ebro	4.614	198	4,3	3,6
C.I. Cataluña	909	424	46,6	7,7
Galicia Costa	2234	-	-	-
Península	28.719	4.853	16,9	87,7
Baleares	508	284	55,9	5,1
Canarias	681	395	58,0	7,1
España	29.908	5.532	18,5	100

Tabla 34. Explotación de las aguas subterráneas por ámbitos de planificación

datos de la unidad hidrogeológica de Ayamonte-Huelva, para la cual la estimación de la recarga aquí realizada es inferior a la que viene reflejada en el Plan de cuenca de Guadiana II. Asimismo, Guadiana I está muy influido por la estimación de extracciones en la cuenca alta de finales de los 80, superiores a las actuales. En el ámbito del Segura, la relación bombeo/recarga supera el 80%, y en otros ámbitos, como los del Sur, Júcar, C.I. Cataluña y las Islas, esta relación alcanza valores elevados, entre el 45 y el 80%.

Es interesante observar también cómo existen otros ámbitos, como los del Duero, Ebro o Guadalquivir,

donde, a pesar de tener acuíferos importantes, el aprovechamiento global mediante bombeos de las aguas subterráneas es relativamente reducido (menor del 25% de la recarga). Como es obvio, ello no implica necesariamente que deba incrementarse apreciablemente tal uso para mejorar las disponibilidades globales, ya que ello dependerá tanto de la existencia o no de almacenamientos superficiales que recojan las descargas subterráneas -como parte de la escorrentía total entrante- y sean capaces de regularlas adecuadamente, como de los costes relativos, de los efectos ambientales, y de la situación geográfica de los usos a atender.

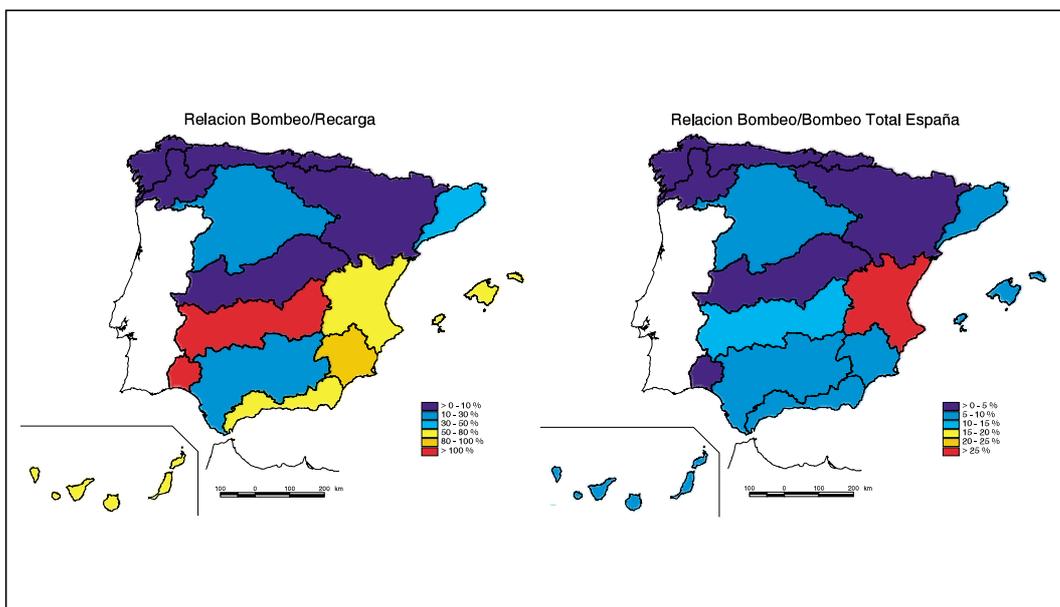


Figura 144. Mapas de la relación bombeo/recarga y la fracción de bombeo con respecto al total, por ámbitos de planificación hidrológica

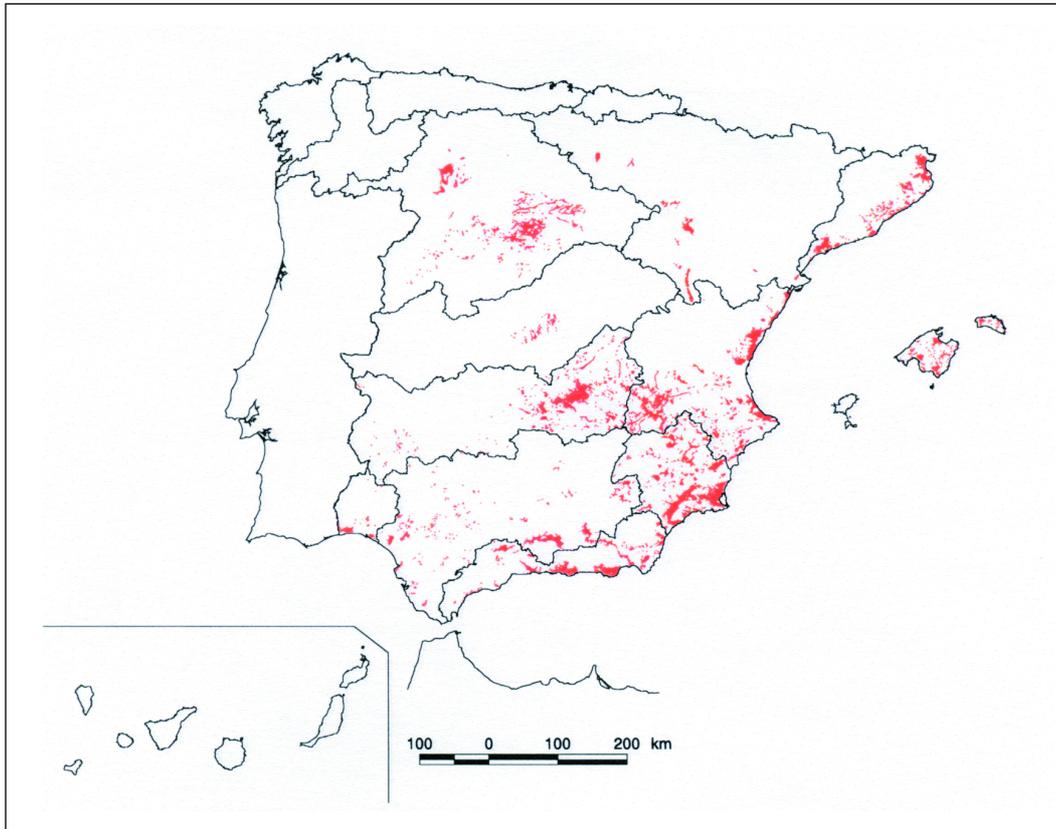


Figura 145. Mapa de zonas regadas con aguas de origen subterráneo y mixto

En cuanto a la cantidad relativa de bombeos en cada ámbito, destaca muy singularmente la cuenca del Júcar, donde se concentra el 26% del total de España, con un alto grado de empleo y asignación (Aragonés Beltrán, 1996). Le siguen en importancia Guadiana I, Segura y Guadalquivir, con cifras del orden del 10%.

Es obvio que, sin perjuicio de las dificultades existentes para su determinación (ITGE, 1999), estos datos agregados pueden englobar situaciones locales muy heterogéneas, pues es posible que haya graves sobreexplotaciones puntuales con ratios bombeo/recarga globales muy pequeños, y, a la inversa, no haber ninguna sobreexplotación con un ratio global unidad. Más adelante se verán estos ratios desagregados por unidades hidrogeológicas, pero, en todo caso, es indudable que, a la escala de los ámbitos de planificación, son un excelente primer indicador de la situación general de las cuencas en cuanto a la explotación de las aguas subterráneas, y a sus posibilidades de desarrollo. Habrá ocasión de volver a ello en futuros epígrafes, al referirnos al posible incremento de la oferta hídrica mediante una mayor utilización de las aguas subterráneas.

Como veremos, con las extracciones de aguas subterráneas ofrecidas en la tabla se atiende, por ejemplo, el 22% del abastecimiento de los núcleos urbanos de más de 20.000 habitantes, un porcentaje muy elevado en núcleos de menor población y del orden del 25 al 30% de la superficie total de riego (ver figura 145, elabora-

da a partir de MOPTMA [1987]). Los caudales de los ríos en épocas secas, así como muchas de las zonas húmedas, entre ellas los Parques Nacionales de las Tablas de Daimiel y de Doñana, dependen asimismo de los acuíferos. Su importancia ambiental, económica y productiva es, en consecuencia, grande, tal y como ha sido puesto de manifiesto en reiteradas ocasiones (Llamas, 1995).

La explotación de los acuíferos produce descensos en sus niveles piezométricos y en los caudales de los ríos y manantiales que los drenan. En el caso de acuíferos pequeños, el retraso en la disminución del caudal de los ríos puede ser de algunos meses o pocos años, dependiendo de las características del acuífero y de la distancia de los pozos al río. En el caso de bombeos discontinuos, como sucede con los riegos, una parte importante de la afección se puede trasladar a los meses en los que se demanda menos agua superficial, con lo que es posible aumentar las disponibilidades reales del recurso. En acuíferos mayores la inercia es mayor y es posible estar bombeando períodos largos de tiempo, incluso años, sin afectar significativamente a las salidas, o incluso, en zonas hidrogeológicamente complejas y con distintos ríos, sin que pueda detectarse nunca tal afección de forma inequívoca sobre un cauce concreto. En estos casos, aunque el bombeo sea estacional, el descenso se reparte de modo sensiblemente uniforme a lo largo del año, o se difumina en el tiempo y el espacio.

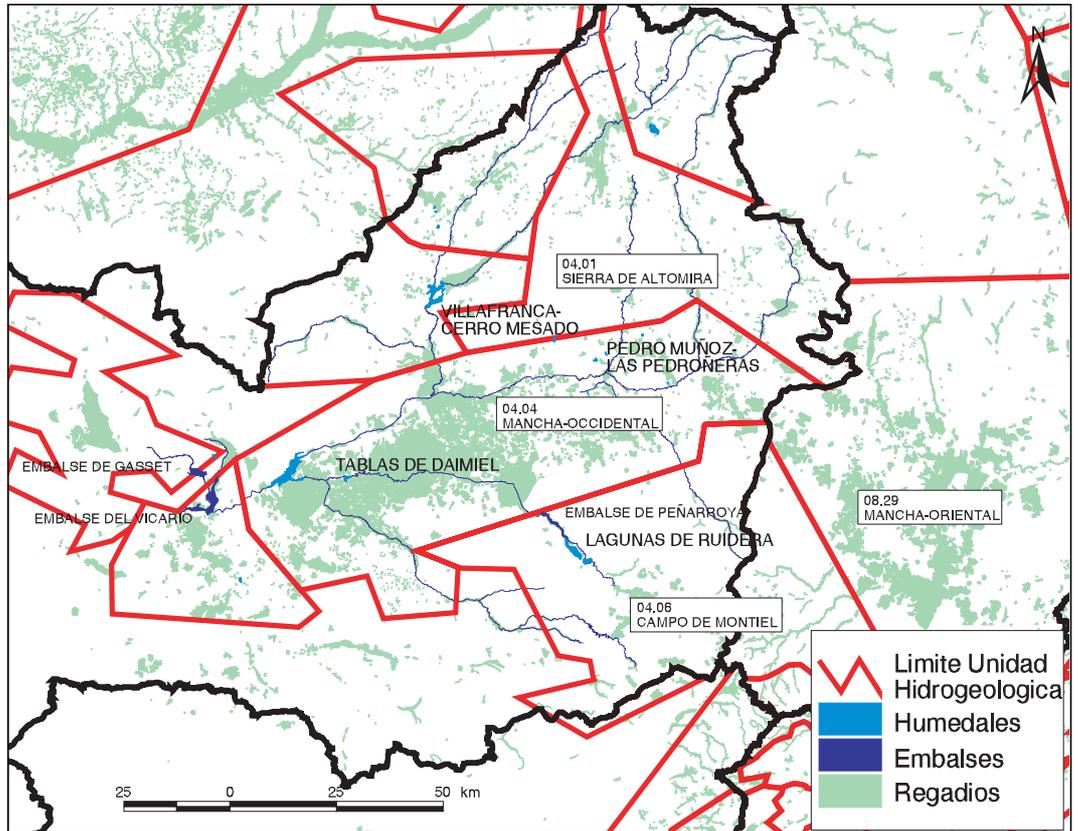


Figura 146. Mapa de la cuenca alta del Guadiana

Los bombeos en algunos acuíferos, como por ejemplo el delta del Llobregat o la Plana de Castellón, han modificado desde hace tiempo las relaciones acuífero-río, haciendo que estos últimos hayan pasado de recibir agua del acuífero a perderla y alimentarlo. En muchas ocasiones, la recarga inducida en acuíferos costeros debida a los bombeos produce un aumento de disponibilidad de agua al disminuir la transferencia al mar.

En otros casos se producen situaciones que, de no programarse rigurosamente, pueden tener consecuencias negativas. Así, la disminución de los caudales de los ríos provocada por una explotación intensiva de las aguas subterráneas puede causar interferencias en la gestión de los recursos hídricos, dando lugar a problemas socio-económicos, ambientales o legales. Las extracciones en el acuífero de la Mancha Oriental, por ejemplo, han producido unos descensos importantes del caudal del río Júcar durante los veinte últimos años a su

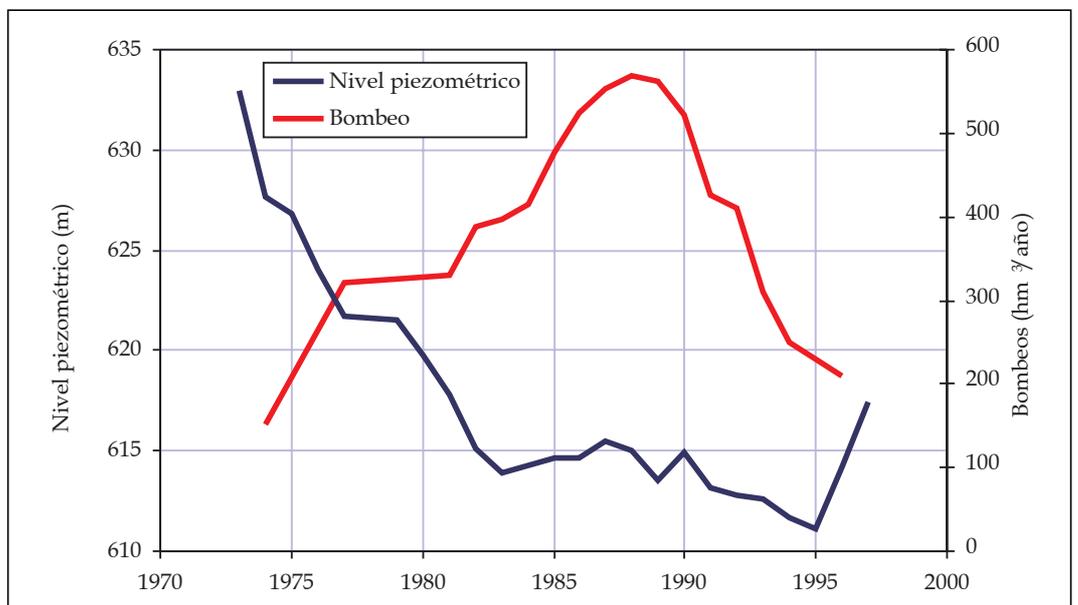


Figura 147. Evolución de niveles piezométricos y bombeos en el acuífero de la Mancha Occidental (piezómetro 203070003 en Manzanares)

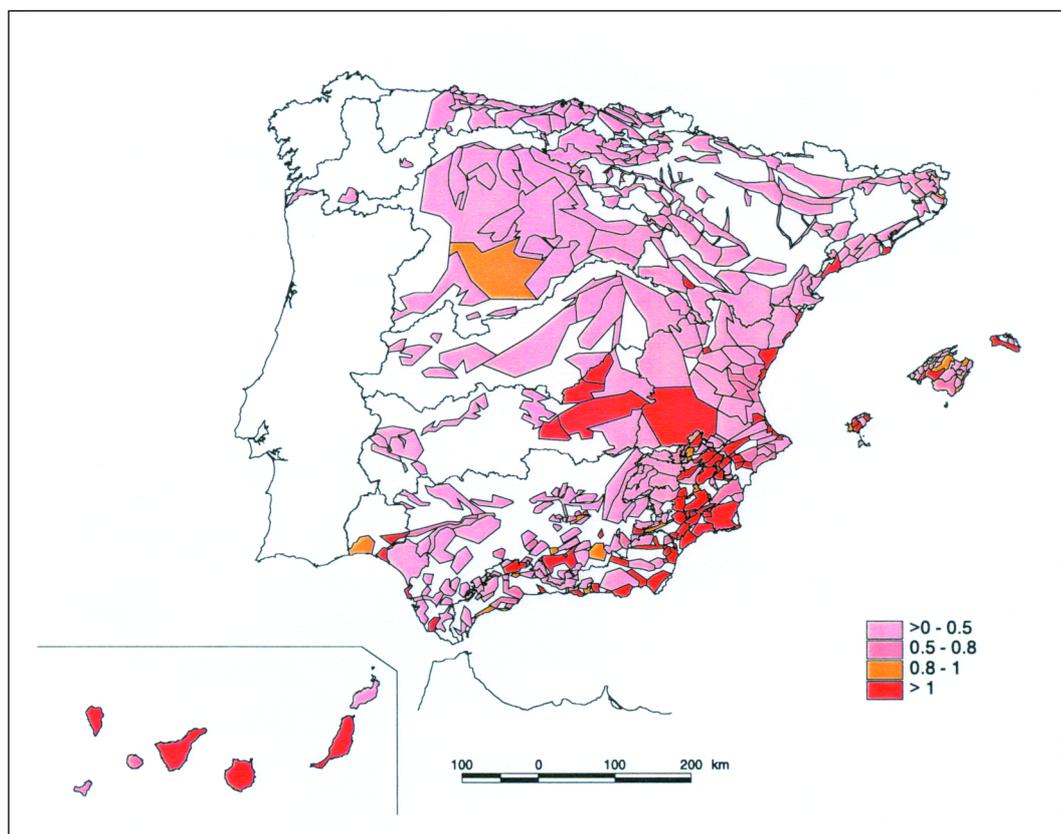


Figura 148. Mapa de la relación bombeo-recarga en las unidades hidrogeológicas

paso por la Llanura Manchega, tal y como ilustra el gráfico ofrecido en una sección anterior. Esto puede resultar admisible si se ordenan conjuntamente los aprovechamientos del río -como ha hecho el Plan Hidrológico de esta cuenca-, o resultar negativo tanto para los usuarios aguas abajo como para los propios del acuífero si esta situación no se ordena adecuadamente.

En la cuenca alta del río Guadiana (ver figuras 146 y 147) se presenta otro caso importante de influencia sobre los caudales superficiales. Las extracciones realizadas en los últimos veinte años en el acuífero de la Mancha Occidental, coincidiendo, además, con un periodo seco, han provocado un descenso continuado de los niveles piezométricos, lo que ha producido un deterioro de muchos de los humedales existentes, entre los que destaca el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel.

En esta última figura (elaborada con datos de CHG, 1997) se aprecia cómo el efecto de la declaración de acuífero sobreexplotado, con la consiguiente ordenación de las extracciones, y la disminución de los bombeos debida a las ayudas y subvenciones agrarias, junto con la favorable situación hidrológica, está contribuyendo a una cierta recuperación de los niveles piezométricos en el acuífero (CE, 1997).

El descenso de caudal en ríos y zonas húmedas y de los niveles freáticos en acuíferos puede afectar también negativamente a la fauna acuática y a algún

tipo de vegetación, como ocurre en el Parque Nacional de Doñana.

En otras zonas, sin embargo, la explotación intensiva de las aguas subterráneas ha permitido la satisfacción de las demandas y el desarrollo de actividades económicas durante años, y ha disminuido la evapotranspiración en lugares con niveles freáticos próximos a la superficie, con un efecto global indudablemente beneficioso.

En términos generales, el proceso de descenso de niveles se estabiliza si los bombeos no superan la recarga del acuífero. En caso contrario, los descensos de nivel son progresivos y pueden hacer inviable la explotación sostenida por agotamiento de las reservas, por aumento excesivo de los costes, o por deterioro de la calidad del agua al movilizarse masas de agua de salinidad elevada.

En la figura 148 se desagrega la información ofrecida para los ámbitos territoriales de los Planes Hidrológicos, mostrando la relación bombeo/recarga en las distintas unidades hidrogeológicas delimitadas. Los datos de bombeo proceden de los Planes de cuenca y el Libro Blanco de las Aguas Subterráneas, los de recarga son de elaboración propia para la recarga por infiltración directa de lluvia, y de los Planes de cuenca y Libro Blanco de las Aguas Subterráneas para la recarga debida al riego.

Como se aprecia en esta figura, lo usual es que la extracción sea mucho menor que la recarga, pero exis-

Ambito de Planificación	Libro Blanco de Aguas Subterráneas (1994)	Memoria del Plan Hidrológico Nacional (1993)	
Num. de unidades con probls. de sobreexplotac.	51	89	
	Déficit en unidades con bombeo/recarga > 1 (hm ³ /año)	Déficit estricto en uds. con bomb/rec > 0,8 (hm ³ /año)	Déficit efectivo en uds. con bom/erc > 0,8 (hm ³ /año)
Guadiana	240,0	240	280
Guadalquivir	10,0	10	25
Sur	68,8	36	60
Segura	215,9	295	325
Segura/Júcar	66,0		
Júcar	54,0	55	125
C. I. Cataluña	10,0	10	50
Baleares	14,0	14	30
Canarias	32,0		160
TOTAL	710,7	660	1055

Tabla 35. Déficit del balance de las aguas subterráneas por ámbitos de planificación

te un número importante de unidades, más de un 20% respecto al total, en que la extracción supera la recarga (ratio > 1) o está próxima a ella (ratio entre 0,8 y 1). Este conjunto de unidades podría en principio definirse como problemático desde el punto de vista de la sobreexplotación, en el sentido de que presumiblemente será imposible mantener a largo plazo las actuales tasas de extracción de agua. Esto no quiere decir que no haya otras unidades con extracciones inferiores a la recarga donde también puedan plantearse problemas por otras razones que más adelante se verán.

El examen de la figura muestra también con claridad cuál es la distribución espacial del fenómeno: además de en las islas, se produce en todo el mediterráneo español y Andalucía, concentrándose fundamentalmente en el sureste (Murcia, Almería y Alicante) y en la llanura manchega (Ciudad Real y Albacete). Del resto, sólo aparece como problemática la situación de la región de los Arenales, en la cuenca del Duero. Cabe señalar que alguna de estas zonas puede asimismo haber modificado su situación en los últimos años. Es el caso del Alto Guadiana, donde, como se explicó, se han reducido sensiblemente las extracciones con respecto a las existentes a finales de los 80.

Como muestra de evaluaciones previamente existentes, la tabla 35 ofrece estimaciones de la situación de unidades problemáticas, procedentes de MOPT-MA-MINER (1995) y de la Memoria del Plan Hidrológico Nacional (MOPT [1993]).

En la evaluación realizada en este Libro, el total de las unidades consideradas en principio problemáticas soporta unas extracciones totales del orden de 3.900 hm³/año, lo que supone más de la mitad de las extracciones totales en todas las unidades hidrogeológicas de España.

Los volúmenes que exceden el recurso renovable, y que por tanto provienen de las reservas se extraen mediante decenas de miles de captaciones, y se aplican básicamente al regadío y, en mucha menor medida, al abastecimiento (archipiélagos, las ciudades de Almería y Albacete, etc.). Con frecuencia, al problema cuantitativo se superponen problemas de calidad por intrusión marina (campo de Dalías) o movilización de aguas profundas salobres lixiviadas (cuenca del Segura).

Debe tenerse en cuenta que la sobreexplotación es un proceso dinámico. Factores como la climatología, la disponibilidad de aguas trasvasadas, la entrada en servicio de desaladoras, las subvenciones agrarias, el agotamiento de acuíferos, etc. hacen que la cuantía de extracciones cambie cada año, y deba ser estimada en sus valores medios actuales.

Asimismo, debe señalarse que la sobreexplotación no es un fenómeno reciente. Dejando a salvo las islas, donde el problema es muy antiguo, y refiriéndonos únicamente a la península, existen precedentes en el Sureste (no sólo técnicos sino también jurídico-administrativos) desde los años cincuenta, y el problema está ampliamente extendido desde los años 70. Ello implica que éste ya existía a la entrada en vigor de la actual Ley de Aguas, lo que tiene consecuencias jurídicas importantes y viene a significar que, según una cierta línea interpretativa que ha recibido respaldo judicial, no cabe prohibir la extracción sin que medie indemnización por la prohibición del uso, aunque sea privación temporal, y ello aún cuando medie declaración de sobreexplotación. Ello, obviamente, en el supuesto -en general infrecuente- de correcta acreditación de derechos previos al uso del agua del acuífero.

Aunque en esta situación actual de hecho se están produciendo situaciones de claro desequilibrio, resulta

generalmente admitido que, salvo excepciones planificadas y controladas, una correcta utilización de los acuíferos no debe apoyarse en la extracción continuada de las reservas, sino en los recursos renovables, pero esta consideración no debe llevar al extremo de condenar toda gestión hídrica que implique extracción de reservas. De hecho, cualquier explotación de aguas subterráneas requiere fases transitorias de desequilibrio, en las que parte del volumen aprovechado procede de reservas. Sólo si la disminución de las reservas se prolonga excesivamente, sin que se haya planificado su estabilización o recuperación, cabría presumir que existe una sobreexplotación.

El concepto de sobreexplotación aplicado a acuíferos no es fácil de definir con precisión. Algunas veces se asocia a una explotación que hace disminuir las reservas, y otras, más genéricamente, a una explotación excesiva con consecuencias indeseables para los usuarios del acuífero o para terceros (Margat, 1992), línea conceptual que es la seguida, como veremos, por nuestra reglamentación.

Los tipos de efectos desfavorables que podrían hacer presumir una sobreexplotación son variados (Custodio, 1992): a) hidrológicos, derivados de un descenso continuado de los niveles, que puede conllevar una reducción en el caudal de los pozos, b) en la calidad del agua, deteriorada por contacto con niveles de peor calidad o por intrusión salina en acuíferos costeros, c) económicos, por aumento del coste de energía de bombeo, al tener que elevar desde mayores profundidades y con menores caudales, y de costes de inversión por reperfuración de pozos y sustitución de equipos de bombeo, d) medioambientales, inducidos en manantiales, ríos, zonas húmedas, masas de freo-fitas, y ecosistemas asociados, por el descenso de niveles en acuíferos vinculados a dichos espacios y e) morfológicos y geotécnicos, por fenómenos de subsidencia o hundimientos, ocasionados por el descenso de niveles.

En la legislación española, el concepto de sobreexplotación (definido en el artículo 171.2 RDPH), contempla tres posibles situaciones:

- Extracciones muy próximas o superiores a los recursos renovables, que pongan en peligro inmediato la subsistencia de los aprovechamientos existentes.
- Deterioro grave de la calidad del agua como consecuencia de dichas extracciones.
- Evolución del acuífero, como consecuencia de la cuantía de las extracciones, que ponga en peligro la subsistencia a largo plazo de los aprovechamientos.

Aunque esta definición legal no contempla expresamente como causa de sobreexplotación la afección de las

extracciones a las surgencias naturales del acuífero o a sus niveles piezométricos, cabría considerar algunas afecciones de este tipo como problemas de sobreexplotación, especialmente cuando conllevan impactos medioambientales importantes. Una posible interpretación de la normativa, compatible con los requerimientos prácticos de la planificación y gestión, sería vincular los niveles admisibles de explotación a la disponibilidad del recurso, establecida ésta atendiendo a todos los condicionantes de los sistemas de recursos: objetivos de calidad, necesidades ecológicas, situaciones jurídicas, planteamientos económicos, reglas de explotación, derechos de los usuarios, etc. (Sánchez González, 1995).

Hasta la fecha, en las cuencas intercomunitarias se han declarado provisional o definitivamente como sobreexplotadas 15 unidades hidrogeológicas (MIMAM, 1998a), cuya situación se muestra en la figura 149 y tabla 36. No se ha representado en el mapa la unidad de Cresta del Gallo, en el ámbito del Segura, pues se trata de un muy pequeño acuífero, de problemática muy puntual, no incluido en la nueva delimitación de unidades realizada en ese Plan. Tampoco se han representado las unidades de Bloque de Gaia y Camp de Tarragona, de las Cuencas Internas de Cataluña, que fueron declaradas provisionalmente sobreexplotadas en 1988 por el la Generalidad de Cataluña, que además estableció limitaciones de derechos de explotación en otros 21 acuíferos (MOPTMA-MINER, 1995).

Como se ve en la tabla, de las 15 unidades declaradas provisionalmente sobreexplotadas, sólo 2 de ellas han alcanzado la declaración definitiva, las de Campos de Montiel y la Mancha Occidental.

No se incluyen en la tabla anterior los acuíferos o zonas de acuífero de Nijar, Huércal-Overa, Pulpí y Bajo Andarax, a los que sin haberse declarado formalmente unidades provisionalmente sobreexplotadas, les son también de aplicación los efectos contenidos en el artículo 171.4 del RDPH.

Con objeto de analizar las unidades hidrogeológicas en las que se han detectado problemas de sobreexplotación o salinización, y con la finalidad de que se pudiese definir y programar la ordenación de las extracciones en tales acuíferos, en MOPTMA-MINER (1995) se planteó un programa sobre "Acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización".

Los trabajos realizados para la elaboración de este Catálogo de Acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización han permitido identificar hasta 77 unidades hidrogeológicas en las cuencas intercomunitarias - DGOHCA (1997), MIMAM (1998a) -. Para el total de España habría que añadir a las anteriores otras unidades con problemas en las Cuencas Internas de Cataluña y en las Islas Canarias.

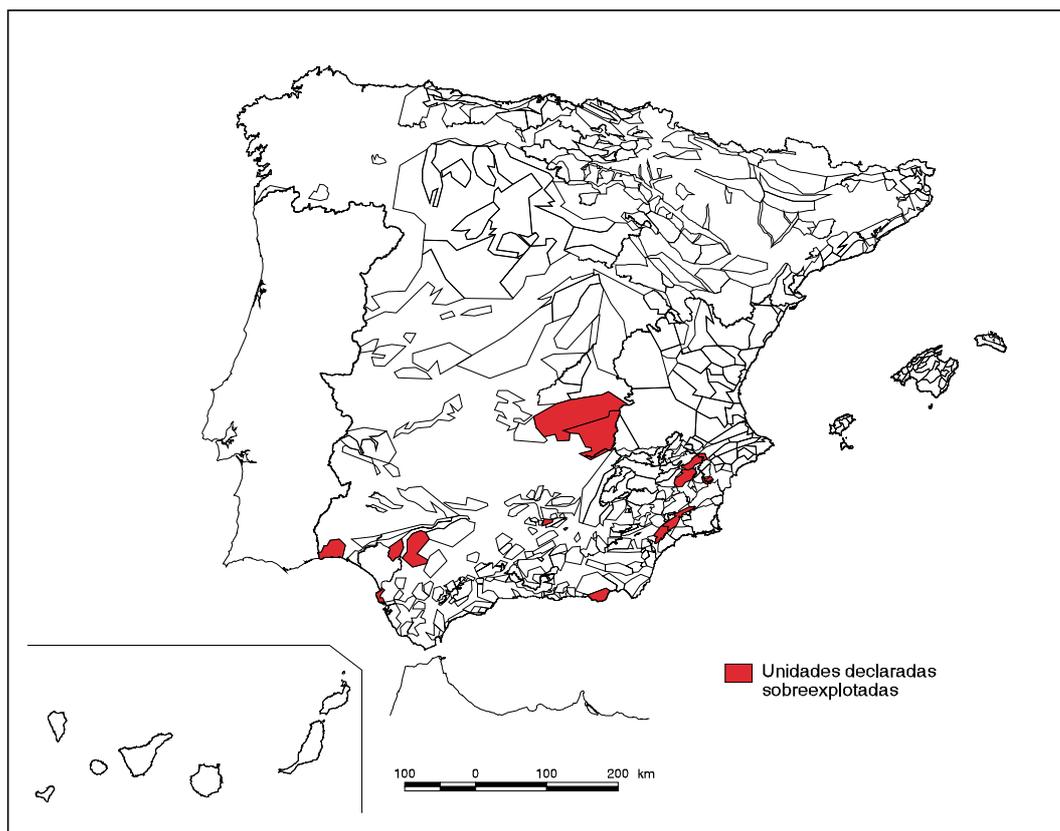


Figura 149. Mapa de unidades hidrogeológicas con declaración provisional o definitiva de sobreexplotación en las cuencas intercomunitarias

Es importante a este respecto diferenciar sobreexplotación física de sobreexplotación jurídica, pues, como puede comprobarse, es un hecho que tales conceptos no necesariamente recaen simultáneamente sobre las mismas unidades. Además, se observa que las declaraciones definitivas son muy escasas frente a las provisionales, lo que debe hacer reflexionar sobre esta importante cuestión, y la eficacia real que el proceso reglamentario está teniendo en la práctica.

Por otra parte, el que existan en algunos lugares problemas de sobreexplotación de acuíferos no implica

que no pueda en otros extenderse el uso de las aguas subterráneas con efectos positivos. Nos referiremos a ello en otros capítulos, al estudiar las posibilidades de futuro en cuanto a disponibilidades hídricas.

3.1.5.6. Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas

En secciones anteriores se han examinado las disponibilidades reguladas mediante los embalses de superficie y la situación de explotación de las aguas subte-

Ámbito de planificación	Código	Denominación de la unidad	Declaración de sobreexplotación
Compartida Guadiana-Guadalquivir	00.04	Campo de Montiel	Definitiva (12/06/1989)
Compartida Segura-Júcar	00.16	Jumilla-Villena	Provisional (31/07/1987)
Compartida Segura-Júcar	00.19	Sierra de Crevillente	Provisional (31/07/1987)
Guadiana	04.04	Mancha Occidental	Definitiva (15/12/1994)
Guadiana	04.12	Ayamonte-Huelva	Provisional (12/12/1988)
Guadalquivir	05.19	Mancha Real-Pegalajar	Provisional (24/10/1992)
Guadalquivir	05.41	Chotos-Cortijo Hidalgo	Provisional (24/10/1992)
Guadalquivir	05.47	Sevilla-Carmona	Provisional (26/10/1992)
Guadalquivir	05.50	Aljarafe	Provisional (18/05/1993)
Guadalquivir	05.57	Rota-Sanlúcar-Chipiona	Provisional (30/11/1992)
Sur	06.14	Campo de Dalias	Provisional (21/09/1995)
Segura	07.09	Ascoy-Sopalme	Provisional (07/01/1987)
Segura	07.28	Alto Guadalentín	Provisional (04/10/1988)
Segura	07.30	Bajo Guadalentín	Provisional (04/10/1988)
Segura		Cresta del Gallo	Provisional (04/10/1988)

Tabla 36. Unidades hidrogeológicas con declaración provisional o definitiva de sobreexplotación en las cuencas intercomunitarias

rráneas. Un procedimiento empleado para incrementar las disponibilidades de agua es el del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas.

Por utilización conjunta de recursos superficiales y subterráneos se entiende el uso planeado y coordinado de ambas fuentes, para la mejor satisfacción de la demanda. Las proporciones en que se combinan las cantidades de agua de una y otra procedencia para el suministro de la demanda son variables en función de la época del ciclo hidrológico anual, de las reservas existentes en el sistema de almacenamiento superficial y en los acuíferos, de la calidad disponible en cada uno, y, específicamente, del objetivo que se haya fijado en la explotación del sistema (SGOP-UPV, 1983).

La utilización conjunta aprovecha la complementariedad hidrológica de los embalses superficiales y los acuíferos. Al explotar las aguas subterráneas cuando los caudales o los almacenamientos superficiales son menores, se consigue un aumento de la garantía del suministro.

Si se consideran las relaciones entre aguas superficiales y subterráneas y la influencia recíproca de la explotación de cada una de ellas en la otra, el uso conjunto es una necesidad evidente en zonas con problemas de abastecimiento, que no tienen que coincidir, necesariamente, con zonas áridas o de escasez de recursos hídricos.

La capacidad de almacenamiento de un acuífero puede aprovecharse si se hace más uso de los embalses superficiales o de los caudales de los ríos en los periodos húmedos y se bombea más de los acuíferos en periodos secos. Este tipo de uso conjunto, denominado utilización alternativa (Sahuquillo, 1996) es el que presenta, a priori, más posibilidades en España.

El ejemplo más conocido de utilización alternativa es el del sistema río Mijares-Plana de Castellón. El sistema, tal como se muestra en la figura adjunta, consta de tres embalses, dos en el río Mijares, el de Arenós, con 130 hm³ de capacidad, situado en cabecera, y el de Sichar, con 50 hm³, y uno en la Rambla de la Viuda, el de María Cristina, con 20 hm³ de capacidad. Los embalses de Sichar y María Cristina, situados en calizas, tienen filtraciones importantes -del orden de 45 hm³/año- que alimentan, junto con el río Mijares, al acuífero de la Plana. La explotación de las aguas subterráneas aumenta en los años más secos, mientras que en los años más húmedos se riega con aguas superficiales la mayor extensión posible de tierras dominada por los canales y acequias existentes. La variación de agua almacenada en el acuífero de la Plana de Castellón, entre el final de un periodo húmedo y el de un periodo seco de varios años de duración, ha llega-

do a ser del orden de 700 hm³. Esta capacidad de almacenamiento del acuífero permite conseguir un porcentaje muy alto de garantía en los suministros. La figura 150 muestra este sistema, con los diferentes orígenes del agua para regadíos de la zona.

Es de destacar que este tipo de utilización se realiza por iniciativa de los usuarios. Los estudios posteriores de la Administración han buscado racionalizar y optimizar una gestión inicialmente bien planteada. Por otra parte, la gestión de este sistema se complica con la existencia de una zona con problemas de intrusión marina al Sur de la Plana, debida a la concentración de bombeos y a la ausencia de riegos con acequias. Los modelos de simulación de la explotación, en los que se contempla la posibilidad de extender la utilización alternativa a los años húmedos, demuestran que es posible paliar también los problemas de intrusión marina.

La utilización alternativa también se ha venido aplicando en otros sistemas de explotación de recursos en cuencas mediterráneas. Por ejemplo en la cuenca del Júcar, la zona de riego del canal Júcar-Turia, especialmente su margen derecha, utiliza las aguas superficiales del Júcar y las procedentes de pozos de forma coordinada. En concreto, la dotación superficial de su concesión es del 50% de la demanda. El uso conjunto tiene una importante componente económica por el mayor coste de los bombeos, pero ha llevado a una elevada garantía de la zona en la última sequía. También en otros sistemas, como el del canal del Campo del Turia, el del río Palancia-Plana de Sagunto, río Serpis-Plana de Gandía, o la Marina Baja, se está realizando este uso conjunto.

En la cuenca del Segura esta utilización alternativa se realiza tradicionalmente en el Valle del Guadalentín, y en la del Sur en las cuencas del Bajo Guadalhorce, Vélez, Motril y Delta del Adra.

Un caso típico de utilización alternativa es el del sistema de abastecimiento del Canal de Isabel II a la zona metropolitana de Madrid, que dispone en la actualidad de una capacidad instalada de extracción de agua subterránea de unos 4 m³/s (3 a sistemas generales y 1 a sistemas locales, según su propia demanda), con objeto de disponer de recursos de emergencia en situaciones de sequía (hasta unos 100 hm³/año movilizables, lo que supone del orden del 20% de la demanda anual). El complementar los caudales aportados por los embalses en periodos secos eleva de forma importante las disponibilidades de agua del sistema, manteniendo una garantía elevada. Igual sucede con los pozos del acuífero del Llobregat para emergencias del sistema de abastecimiento de aguas a Barcelona y su entorno.

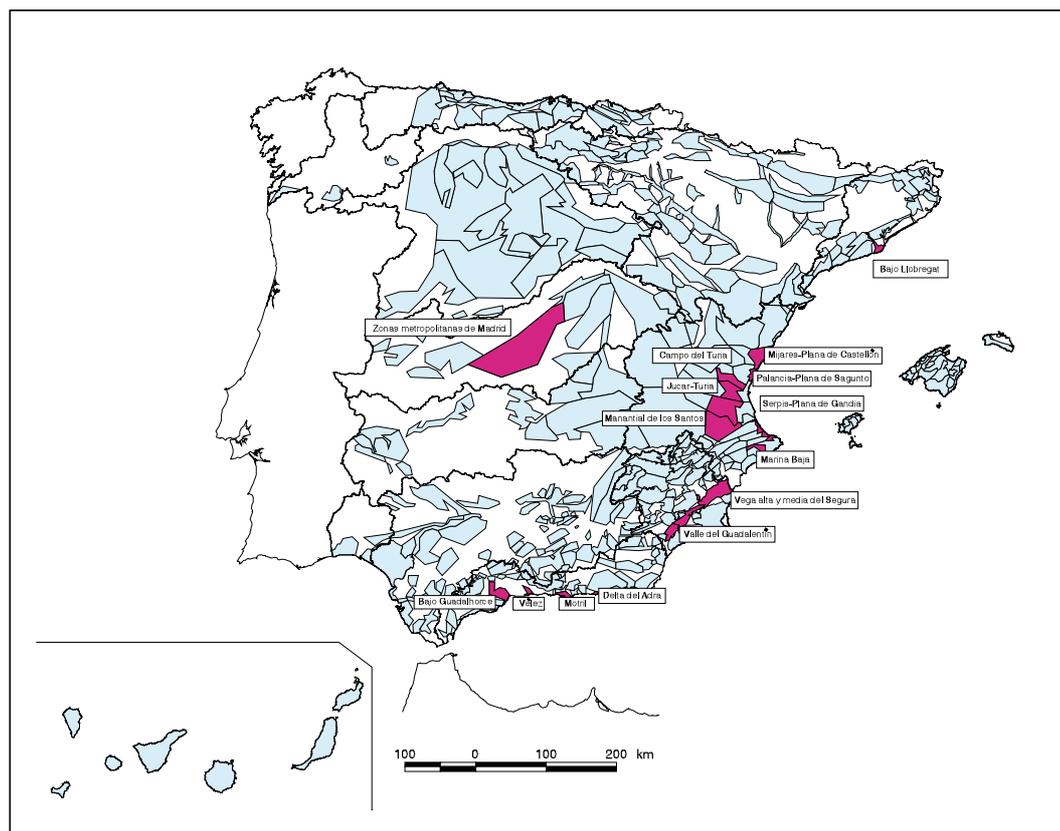


Figura 151. Mapa de situación de algunos esquemas de uso conjunto en España

tial del Algar y de los pozos. También se utilizan aguas residuales depuradas para el riego de cultivos arbóreos. Este sistema, además de ser un ejemplo de regulación de un manantial kárstico, lo es también de utilización alternativa y ha servido para hacer frente a sequías importantes. La regulación por bombeo del manantial de los Santos ha permitido atender la demanda agrícola, aunque han aparecido problemas ambientales ligados a los escasos caudales del manantial.

Otro caso de uso conjunto combinado con recarga artificial tiene lugar en el sistema formado por el río Llobregat y la unidad hidrogeológica costera del Bajo Llobregat, donde las extracciones medias anuales, de unos 140 hm³, son ligeramente superiores a la recarga media de la unidad. En el aluvial del río se recargan hasta unos 20 hm³/año en pozos situados en el delta con las aguas sobrantes de la planta de tratamiento de Sant Joan d'Espí. También mediante escarificación del lecho del río se ha conseguido aumentar la infiltración en el aluvial. La experiencia del Bajo Llobregat ha sido muy aleccionadora y, sin ser un ejemplo perfecto, es un intento razonable de gestión desde los usuarios, la Administración del agua y la Universidad (Custodio, 1996).

En la figura 151 se muestran algunos de los principales esquemas donde en la actualidad se está haciendo uso conjunto en España.

3.1.5.7. Recarga artificial de acuíferos

Se denomina recarga artificial a un conjunto de técnicas que permiten, mediante intervención programada e introducción directa, inducida o estimulada de agua en un acuífero, incrementar el grado de garantía y disponibilidad de los recursos hídricos, y actuar sobre su calidad.

La recarga artificial de acuíferos se ha venido utilizando desde hace tiempo para almacenar escorrentías de agua superficial o sobrantes. Recientemente se ha utilizado como un medio de mejorar la gestión de los acuíferos, para reducir el descenso de niveles piezométricos, o para disminuir o aliviar problemas de intrusión marina al desplazar las cuñas salinas hacia el mar. La posibilidad de almacenar agua en los acuíferos ha conducido a implantarlo en esquemas de utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas (Custodio, 1986).

La recarga artificial es una técnica que presenta una cierta complejidad de ejecución. La programación de intervenciones fundamentadas en esta tecnología debería limitarse, salvo excepciones, a áreas que presentan escasa regulación de recursos hídricos y fuerte demanda, a zonas con explotación agrícola bien desarrollada y alto rendimiento, a comarcas donde el coste del agua es muy elevado y a sectores costeros donde no es posible la construcción de obras clásicas de regulación por condicionantes topográficos.

El país con un mayor grado de desarrollo en la aplicación de la técnica de la recarga artificial ha sido tradicionalmente Estados Unidos. Solo en el Estado de California se aporta, mediante la utilización de la recarga artificial de acuíferos, un volumen de 1400 hm³/año (CDWR, 1998). En Israel se destina a recarga una parte significativa del recurso disponible. En el contexto de la Unión Europea, son Alemania y Holanda los países donde existen más realizaciones. En estos países el principal objetivo no es el incremento de las disponibilidades, sino la purificación del agua para abastecimiento urbano en su paso a través de la zona no saturada del suelo.

En España existen sistemas tradicionales de recarga artificial al menos desde época árabe. Ejemplos de estas prácticas tradicionales son los careos de La Alpujarra, o los sistemas de diques, presas subterráneas y boqueras en aluviales del sureste. Las primeras instalaciones modernas de recarga artificial se ubicaron en los alrededores de Barcelona, en los aluviales de los ríos Besós y Llobregat. En este último se recargan, en algunos años, hasta un máximo de 20 hm³ en pozos localizados en el delta con aguas sobrantes de la planta de tratamiento de Sant Joan d'Espí, y por el escarificado del río. Otras experiencias de interés, aunque no comparables a esta por su permanencia en el tiempo, son las de Mallorca, en el Llano de Palma (MOPU, 1986), la del Boquerón, en la cuenca del Segura (Senent Alonso, 1985), u otras en la costa del Llobregat, Sant Pau de Ribes, etc. La cuantía total de recursos destinados de forma regular a recarga artificial en España es de difícil estimación, pero no debe alcanzar siquiera los 50 hm³/año.

En colaboración con otros organismos, el ITGE ha efectuado desde 1984 una serie de experiencias piloto cuyas principales características se sintetizan en la tabla 37 (López Geta y Murillo, 1995).

Los resultados obtenidos en estas experiencias son esperanzadores, aunque se han producido algunos fracasos que han sido fruto tanto de una falta de planificación y tecnología, como de un insuficiente interés por sus posibles beneficiarios, y escasa aportación económica para desarrollarlas.

En MOPTMA-MINER (1995) se abordó, con carácter general, un programa dirigido a una efectiva y racional investigación de esta tecnología.

En todo caso hay que indicar que con la utilización de la recarga artificial no cabe esperar que se consiga un aumento significativo de recursos en el país, pero sí es posible resolver o paliar algunos problemas locales, mejorando su garantía de suministro.

3.1.5.8. Reutilización

Otra técnica de incremento de las disponibilidades considerada como no convencional es la de la reutilización de las aguas. Aunque, obviamente, el volumen de recurso es el mismo, su aplicación sucesiva permite satisfacer más usos y, por tanto, incrementar las disponibilidades internas del sistema de utilización.

La reutilización es un componente intrínseco del ciclo del agua, ya que mediante el vertido de efluentes a los cursos de agua y su dilución con el caudal circulante, las aguas residuales han venido siendo reutilizadas tradicionalmente por tomas aguas abajo del punto de incorporación al cauce. Es importante distinguir entre reutilización indirecta, que es la mencionada y la más común, y reutilización directa, que es aquella en que el segundo uso se produce a continuación del primero, sin que entre ambos el agua se incorpore a ningún cauce público.

En efecto, esta reutilización directa o planificada, a gran escala, tiene un origen más reciente y supone el aprovechamiento directo de efluentes depurados con un mayor o menor grado de tratamiento previo, mediante su transporte hasta el punto del segundo aprovechamiento a través de una conducción específica, sin mediar para ello la existencia de un vertido a cauce público.

Las posibilidades de reutilización están directamente relacionadas con las disponibilidades de volúmenes de efluentes tratados, que a su vez dependen del número y capacidad de las estaciones depuradoras existentes. Este número y capacidad previsiblemente experimentarán un importante aumento por la obligatoriedad de cumplir la Directiva Comunitaria 91/271/CEE, relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas, y la ejecución del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración (PNSD). La necesidad de obtener agua con unas calidades mínimas para cada uso y garantizar unas condiciones sanitarias satisfactorias obliga, en la mayoría de los casos, a someter los efluentes depurados a tratamientos terciarios específicos (filtración, microfiltración, tratamiento físico-químico, desinfección, tratamientos de eliminación de sales, etc.), que deben por supuesto preverse en una reutilización planificada (Mujeriego, 1994).

Además de las muy frecuentes reutilizaciones indirectas (de las que un excelente ejemplo es el proporcionado por las vegas del Segura, en las que el agua se aplica dos, tres y cuatro veces a los riegos tradicionales mediante el sistema de riego-avenamiento-nuevo riego, o el de los riegos del Jarama, con aguas depuradas de Madrid), en España existen en la actualidad identificadas más de 100 actuaciones de reutilización directa, siendo uno de los países más desarrollados en

Localización	Tipo de instalación	Origen del agua de recarga	Objetivo	Duración de la experiencia	Caudal infiltrado
ALUVIAL DEL RIO OJA (LA RIOJA)	3 balsas de infiltración y 10 km de canales	Excedentes superficiales del río Oja y Santurdejo	Incrementar Recursos hídricos para riego y mejorar la calidad del agua del acuífero donde existen captaciones para abastecimiento urbano	Desde Dic. 1986. 3 a 5 meses al año	de 40 a 400 l/s
VEGA DE GUADIX (GRANADA)	5 balsas de infiltración	Drenaje de la Mina de Alquije	Incrementar los recursos hídricos para riego	Desde Nov. 1984. 3 a 4 meses al año	de 200 l/s a 300 l/s
CALCARENITAS DE CARMONA (SEVILLA)	1 balsa de infiltración tipo "Fosa"	Excedentes invernales del Canal del Bajo Guadalquivir	Resolver problemas locales de sobreexplotación	15 días	6,7 l/s
ALUVIAL DEL BAJO GUADALQUIVIR (SEVILLA)	2 zanjas de infiltración (300 m) con pozos de 1 m de diámetro en su interior	Excedentes invernales del Canal del Bajo Guadalquivir	Incrementar los recursos hídricos para riego	1 mes	De 250 a 500 l/s
ACUIFERO DE JIJONA (ALICANTE)	1 sondeo profundo y represas de vaso permeable (5000 m ³ de capacidad)	Escorrentía esporádica y excedentes invernales del manatí de Nuches	Aumentar la garantía de suministro al abastecimiento de Jijona	2 años	Hasta 12 l/s
VALLE DEL ESGUEVA (VALLADOLID)	1 sondeo profundo	Excedentes invernales del río Esgueva	Incrementar los recursos hídricos para riego	5 años	De 2 a 20 l/s
SETLA-MIRARROSA-MIRAFLOR (ALICANTE)	1 pozo de gran diámetro con dos galerías paralelas a la costa de 100 m de longitud cada una. A partir de Nov. de 1996 se cuenta con 3 pozos de recarga.	Excedentes invernales del río Girona	Frenar el avance de la intrusión marina e incrementar los recursos hídricos para riego	Desde Dic. 1985 5 a 6 meses al año	40 l/s
MANCHA REAL (JAEN)	1 sondeo profundo	Excedentes invernales del río Torres	Aumentar la garantía de suministro del abastecimiento de Mancha Real	15 días	70 l/s
MAZAGON (HUELVA)	6 balsas de infiltración	Agua residual urbana bruta	Depuración e incremento de los recursos hídricos para regadío	1 año	De 100 a 200 m ³ /día

Tabla 37. Experiencias de recarga artificial realizadas por el ITGE en colaboración con otros Organismos

este campo. Estas actuaciones permiten atender una demanda de unos 230 hm³/año, siendo el riego el aprovechamiento más extendido (89% del volumen total, frente al 6% de usos recreativos y campos de golf, 2% de usos municipales, 2% para requerimientos ambientales y 1% de usos industriales). Las instalaciones están ubicadas, sobre todo, en las islas y zonas costeras mediterráneas con escasez de recursos hídricos - fundamentalmente Júcar y Segura - tal y como muestra la figura adjunta. Estas zonas son, además, las que parecen presentar mayores potencialidades para su desarrollo futuro.

Una experiencia interesante, que cabe reseñar, es la de la ciudad de Vitoria.

En Vitoria, y pese a tratarse de una zona con abundante pluviometría, se plantea el doble problema de asegurar el abastecimiento urbano y el riego de 10.000 has, manteniendo asimismo unos caudales de servidumbre en los cauces. Para ello, se desarrolló un plan de reutilización integral cuyo objeto era alcanzar la plena reutilización de las aguas residuales efluentes de la ciudad, cifradas en unos 45 hm³/año, que mezclan 27 residuales con 18 de arroyos próximos, captados por la red de colectores urbanos. Tras impedir esta captación des-