

**L**os problemas relacionados con las aguas subterráneas, tanto los relativos a la cantidad, como los que suponen una degradación de la calidad, se perciben con bastante retraso respecto del momento en que se inician, como consecuencia de la lenta dinámica de las aguas que circulan por el subsuelo; por el mismo motivo son también muy lentos los efectos de las medidas que se pueden adoptar para resolverlos. Por ello la gestión de los recursos subterráneos, para que sea eficaz, tiene que basarse en políticas de prevención que permitan actuar sobre las causas que generan tales problemas, de acuerdo con lo previsto en el artículo 130 R del Acta Unica.

Las aguas subterráneas forman parte del dominio público hidráulico a partir de la entrada en vigor de la Ley de Aguas de 1985; con anterioridad tenían la consideración de aguas privadas. Por ello antes de esa fecha las políticas preventivas de carácter general no tenían aplicación. No obstante, en ciertas situaciones especialmente conflictivas se establecieron medidas de ordenación mediante normas de diverso rango; es el caso de las vegas del río Segura (1959), Canarias (1962), Baleares (1969 y 1973) y determinadas zonas de Andalucía (1971).

En la actualidad, con la Ley de Aguas se dispone de la normativa necesaria para afrontar con generalidad la corrección de todos estos problemas. Sin embargo, algunos de ellos —de los que luego se tratará con mayor detalle— se iniciaron hace bastantes años, lo que puede conducir a plazos dilatados para su corrección.

#### 4.1 SOBREEXPLOTACION DE ACUIFEROS

---

En la utilización de las aguas subterráneas, el concepto de sobreexplotación caracteriza una situación en la que se manifiestan efectos indeseables. Estas situaciones no tienen una definición sencilla; el problema radica en que la determinación del óptimo de una explotación no es fácil, ya que son múltiples y diversos (económicos, de calidad, ecológicos) los criterios aplicables.

El Reglamento del Dominio Público Hidráulico establece en su artículo 171.2 que «se considerará un acuífero sobreexplotado o en riesgo de estarlo cuando se está poniendo en peligro inmediato la subsistencia de los aprovechamientos existentes en el mismo, como consecuencia de venirse realizando extracciones anuales superiores o muy próximas al volumen medio de los recursos anuales renovables, o que se produzca un deterioro grave de la calidad del agua. La existencia de riesgo de sobreexplotación se apreciará también cuando la cuantía de las extracciones referida a los recursos renovables del acuífero genere una evolución de éste que ponga en peligro la subsistencia a largo plazo de sus aprovechamientos».

De acuerdo con estos criterios, en el cuadro número 9 se muestra la distribución por cuencas de las unidades hidrogeológicas en las que dicha relación bombeo/recarga es superior a la unidad.

CUADRO Nº 9

**PROBLEMAS DE SOBREEXPLOTACION**  
(Núm. de unidades con relación bombeo/recarga  $K > 1$ )

CUENCA	NUMERO DE UNIDADES	DEFICIT (hm <sup>3</sup> /año)
GUADIANA	1	240,0
GUADALQUIVIR	1	10,0
SUR	5	68,8
SEGURA	12	215,9
SEGURA/JUCAR	4	66,0
JUCAR	8	54,0
CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA	3	10,0
BALEARES	7	14,0
CANARIAS	10	32,0
<b>TOTAL</b>	<b>51</b>	<b>710,7</b>

Fuente: DGOH-ITGE.

Para el conjunto de estas unidades, el déficit, obtenido como diferencia entre bombeos y recargas, es de 710 hm<sup>3</sup>/año. Sin embargo el volumen total afectado puede considerarse mayor por cuanto extracciones próximas a la recarga media, o incluso inferiores, son susceptibles de provocar efectos indeseados sobre los aprovechamientos, pudiendo hacer inviable una explotación sostenida de la correspondiente unidad.

Más de un tercio de este déficit lo soporta la

nes inmediatas con el fin de no alcanzar situaciones negativas (figura 7).

Hay además otras 25 unidades (cuadro nº 12) en las que, aun teniendo el cociente bombeos/recargas valores inferiores a 0,8, se han detectado descensos piezométricos importantes en determinadas zonas o degradación en la calidad del agua, que obligan a estudiar las medidas de corrección pertinentes.

Hasta el momento se han declarado provisionalmente sobreexplotadas las unidades hidrogeológicas listadas en el cuadro nº 13. Este tipo de declaración administrativa está contemplado en la Ley de Aguas y reglamentado a través de un procedimiento según el cual el correspondiente Organismo de cuenca debe exigir la formación de una Comunidad de usuarios y establecer un Plan de ordenación de las extracciones. La unidad de Campo de Montiel fue declarada con carácter definitivo en 1989, habiéndose formulado desde entonces planes anuales de explotación de sus recursos en el marco de lo previsto en el artículo 171.8 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico.

## 4.2 AFECCIONES A CURSOS FLUVIALES

Al recogerse en la Ley de Aguas el principio de unidad del ciclo hidrológico no se hace otra cosa que reconocer la mutua interacción entre los caudales circulantes por los ríos y los acuí-



Fig 7. Problemas de sobreexplotación.

CUADRO Nº 10  
UNIDADES HIDROGEOLOGICAS CON RELACION BOMBEO/RECARGA K > 1

CUENCA	DENOMINACION UNIDAD	K = BOMBEO/ RECARGA	DEFICIT (hm <sup>3</sup> /año)	RESERVAS (hm <sup>3</sup> )	DEFICIT/ RESERVAS (%)
GUADIANA	MANCHA OCCIDENTAL	1,70	-240,00	12.000	2,0
GUADALQUIVIR	NIEBLA-POSADAS	1,55	-10,00	200	5,0
SUR	BALLABONA-Sª LISBONA	3,10	-4,20	90	4,6
	BEDAR-ALCORNIA	3,60	-2,60	22	11,0
	CAMPO DE NIJAR	1,06	-3,00	248	1,2
	ANDARAX-ALMERIA	1,40	-8,00	—	—
	CAMPO DE DALIAS	1,20	-51,00	700	7,1
SEGURA	HELLIN-TOBARRA	6,00	-4,20	709	0,6
	EL MOLAR	2,33	-3,70	2.080	0,2
	ASCOY-SOPALMO	11,00	-50,00	1.076	4,6
	SIERRA ESPUÑA	2,00	-1,50	644	0,2
	YECHAR	11,66	-3,20	151	2,1
	VALLE DEL GUADALENTIN	3,55	-70,00	352	20,0
	SIERRA CARRASCOY	7,09	-4,50	67	6,7
	CRESTA DEL GALLO	4,14	-2,20	50	4,4
	CAMPO DE CARTAGENA	2,30	-42,50	2.000	2,1
	MAZARRON	9,88	-16,00	98	16,0
	AGUILAS	6,92	-8,55	—	—
	CUCHILLOS-CABRAS	1,50	-9,50	—	—
	SEGURA/JUCAR	JUMILLA-VILLENA	5,42	-31,00	1.920
SERRAL-SALINAS		3,89	-11,89	1.025	0,1
QUIBAS		5,20	-10,50	200	5,3
SIERRA DE CREVILLENTE		7,50	-13,00	176	7,4
JUCAR	PLANA SAGUNTO	1,40	-20,00	125	16,0
	YECLA-VILLENA-BENJAMA	1,28	-7,00	1.950	0,4
	PEÑARRUBIA	2,75	-7,00	200	3,5
	ARGÜEÑA-MAIGMO	2,37	-3,00	562	0,5
	ORCHETA	1,83	-5,00	240	2,1
	SIERRA DEL CID	4,66	-5,50	200	2,8
	OROPESA-TORREBLANCA	1,20	-5,00	—	—
	BARRANCONES-CARRASQUETA	1,11	-1,00	—	—
CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA	CUBETAS BESOS	1,0	-1,50	15	10,0
	BAIX LLOBREGAT	1,04	-6,00	205	3,0
	PENEDES	1,44	-2,20	118	1,9
	S'ESTREMERÀ	1,12	-1,40	—	—
	NA BURGESA	1,42	-2,10	—	—
	SIEBBAS CENTIBALES	1,20	-1,00	—	—
BALEARES	SAN ANTONIO	—	—	—	—
	SAN CARLOS	—	—	—	—
	IBIZA-LLANO	—	—	—	—
	IBIZA-S. GROSSA	—	—	—	—

CUADRO Nº 10 (Cont.)  
UNIDADES HIDROGEOLOGICAS CON RELACION BOMBEO/RECARGA  $K > 1$

CUENCA	DENOMINACION UNIDAD	K = BOMBEO/RECARGA	DEFICIT (mm/año)	RESERVAS (mm <sup>2</sup> )	DEFICIT/RESERVAS (%)
CANARIAS	AGAETE	1,40	-4,30	—	—
	JINAMAR	1,81	-2,10	—	—
	TELDE	2,03	-7,80	—	—
	GUAYADEQUE	1,95	-3,70	—	—
	TIRAJANA	1,92	-6,90	—	—
	AMURGA	2,25	-3,50	—	—
	ARGUINEGUIN	1,30	-0,60	—	—
	MOGAN	1,52	-0,80	—	—
	TEJEDA	1,03	-0,40	—	—
	OROTAVA-FASNIA	1,04	-2,09	—	—

Fuente: DGOH-ITGE.

CUADRO Nº 11  
UNIDADES HIDROGEOLOGICAS CON RELACION BOMBEO/RECARGA  $0,8 \leq K \leq 1$

CUENCA	DENOMINACION UNIDAD	K = BOMBEO/RECARGA
GUADALQUIVIR	GUADIX-MARQUESADO	0,88
	BEDMAR-JODAR	1,00
	JAEN	0,96
	LEBRIJA	0,86
	ARCOS-BORNOS-ESPERA	1,00
	ROTA-SANLUCAR-CHIPTONA	0,94
	VEJER-BARBATE	0,85
	BAJO ALMANZORA	1,00
	RIO VERDE	0,81
	RIO VELEZ	0,82
SUR	MARBELLA-ESTEPOÑA	0,88
	PLANA DE CASTELLON	0,89
	MANCHA ORIENTAL	0,88
JUCAR	RIDAURA	1,00
	TORDERA BAIX	1,00
	TORDERA MIG Y ALT	0,92
CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA	LLANO DE PALMA	0,82
	LLUCHMAYOR-CAMPOS	0,85
	SAN JOSE	0,95
BALEARES	TASARTE	0,92
	DORSAL-SANTACRUZ	0,80
	AZUAJE	0,88
	SANTIAGO-TEIDE	0,87

Fuente: DGOH-ITGE.

UNIDADES HIDROGEOLOGICAS CON PROBLEMAS LOCALES. RELACION BOMBEO/RECARGA  $K < 0,8$ 

CUENCA	DENOMINACION UNIDAD	K – BOMBEO/RECARGA
DUERO	PARAMO DE CUELLAR	0,63
GUADIANA	AYAMONTE-HUELVA	0,46
GUADIANA/GUADALQUIVIR	CAMPO DE MONTIEL	0,41
GUADALQUIVIR	ALJARAFE	0,50
	MANCHA REAL-PEGALAJAR	0,25
SUR	EL SALTADOR	0,77
	CARCHUNA-CASTELL DE FERRO	0,75
JUCAR	VINAROSZ-PEÑISCOLA	0,67
	GANDIA-DENIA	0,50
CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA	AUBI	0,76
	MARESME	0,66
	CAMP DE TARRAGONA	0,67
CANARIAS	LANZAROTE	0,06
	FUERTEVENTURA	0,34
	GUINIGUADA	0,77
	FATAGA	0,57
	TAURO	0,45
	TENO	0,20
	CAÑADAS	0,46
	GUIA DE ISORA	0,74
	ARONA-SAN MIGUEL	0,52
	GRANADILLA	0,23
	TAGAICA	0,43
DORSAL-CANDELAR	0,75	
ANAGA	0,66	

Fuente: DGOH-ITGE.

CUADRO Nº 13

## UNIDADES HIDROGEOLOGICAS CON DECLARACION PROVISIONAL DE SOBREEXPLOTACION

CUENCA	UNIDAD HIDROGEOLOGICA	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )	RECARGA	BOMBEO	DEFICIT
GUADIANA	04.04. LLANURA MANCHEGA	5.000	340,0	580,0	240,0
	04.12. AYAMONTE-HUELVA	600	98,0	33,0	—
GUADIANA/ GUADALQUIVIR*	04.06. CAMPO DE MONTIEL	2.700	126,0	35,0	—
GUADALQUIVIR	05.19. MANCHA REAL-PEGALAJAR	25	4,0	1,0	—
	05.47. SEVILLA-CARMONA	1.380	174,0	40,0	—
	05.50. ALJARAFE	350	28,0	14,0	—
	05.57. ROTA-SANLUCAR-CHIPIONA	90	16,0	14,5	—
SUR**	06.01. EL SALTADOR	60	6,0	3,5	—
	06.11. CAMPO DE NIJAR	315	15,5	18,5	3,0
	06.12. ANDARAX-ALMERIA	318	20,0	28,0	8,0
	06.14. CAMPO DE DALIAS	330	59,7	110,7	51,0
SEGURA	07.09. ASCOY-SOPALMO	276	5,0	55,0	50,0
	07.28. GUADALENTIN	800	29,0	99,0	70,0
	07.30. CRESTA DEL GALLO	36	0,7	2,9	2,2
SEGURA/JUCAR	07.05. JUMILLA-VILLENA	80	7,0	38,0	31,0
	07.12. SIERRA DE CREVILLENTE	40	2,0	15,0	13,0
CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA***	10.23. BLOQUE DE GAIA	227	41,6	6,3	—
	10.25. CAMP DE TARRAGONA	396	89,2	61,0	—
<b>TOTAL</b>		<b>13.023</b>	<b>1.061,7</b>	<b>1.155,4</b>	<b>468,2</b>

(\*) Declaración definitiva de sobreexplotación el 12 de junio de 1989.

(\*\*) Declaradas según Real Decreto 2618/1986.

(\*\*\*) Declaradas en 1988 por el gobierno autonómico, que además establece limitaciones de derechos de explotación en otros 21 acuíferos.

otro extremo de la submeseta meridional, los caudales de base que el Júcar recibe a su paso por la provincia de Albacete han sufrido una progresiva disminución desde 1981 a causa de la intensa explotación del acuífero de La Mancha Oriental (DGOH, 1993 b) (figura 8).

Estas situaciones conflictivas, originadas en gran parte, por la dispersión de competencias administrativas en relación con las aguas subterráneas con anterioridad a la Ley de Aguas de 1985, deben resolverse en el marco de la planificación hidrológica, ponderando en cada caso los beneficios que pueden derivarse de esta explotación actual y contemplando, a su vez, los parámetros legales, socioeconómicos y medioambientales a los que afecta la misma.

Resulta esencial realizar también este tipo de análisis de aquellas zonas con acuíferos relativamente importantes, existentes en zonas de la vertiente mediterránea, en el Duero y en otras

áreas en las que su explotación, posible y deseable, puede contribuir a un incremento sustancial de las disponibilidades de agua, con el fin de prevenir problemas futuros.

### 4.3 INTRUSION SALINA

La composición del agua extraída de un acuífero está condicionada principalmente por la naturaleza de los materiales por los que circula. En general, la estructura y la naturaleza litológica de los acuíferos no son homogéneas, pudiendo por ello presentarse aguas de muy diversa composición incluso en un mismo acuífero. Igualmente un acuífero puede estar en contacto con otras formaciones geológicas o con el mar, estableciéndose entonces flujos de agua cuya magnitud y dirección dependerán de las caracte-

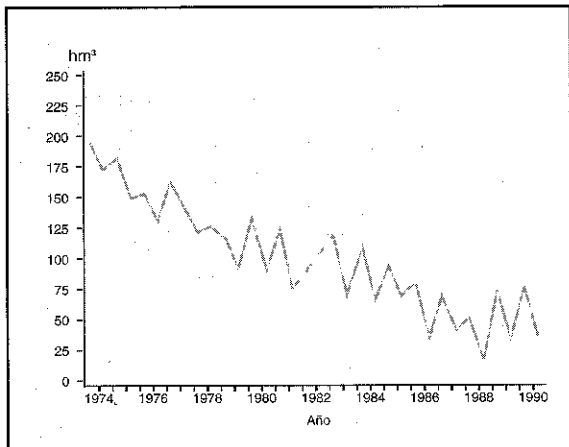


Fig. 8. Evolución semestral de los aportes subterráneos al río Júcar en La Mancha.

terísticas hidráulicas de las formaciones puestas en contacto.

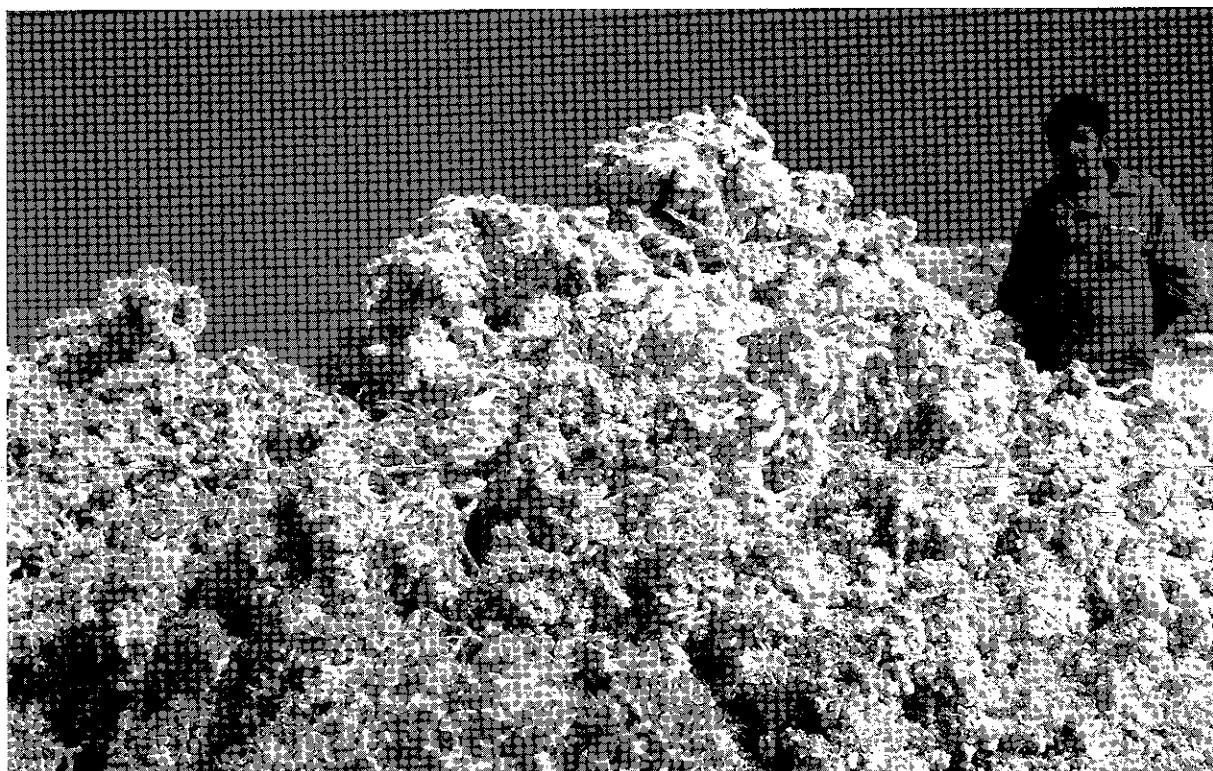
Cuando, por efecto del bombeo de aguas subterráneas, se produce una modificación en la dirección del flujo natural y, como consecuencia de ello, un arrastre de aguas salinas que contaminan otras de mayor calidad, se dice que se ha producido un proceso de *intrusión salina*; si el origen de estas aguas son formaciones de materiales muy solubles (yesos, halita, silvina,

etcétera), se habla de *intrusión salina continental*; cuando el origen es el mar, se trata de un proceso de *intrusión marina*.

Existen numerosas formaciones geológicas situadas en el interior de la península (figura 4) cuyas aguas presentan características de elevada salinidad. Así, por ejemplo, las aguas del valle del Guadaletín presentan, en su sector alto, un total de sólidos disueltos que oscilan entre 200 y 1.500 mg/l, llegándose a 5.000 mg/l al este de Puerto Lumbreras y al sur de Lorca, mientras que en el tramo inferior de este mismo río se alcanzan valores que varían entre 1.000 y más de 6.000 mg/l. En la zona sur de la Sierra de Quibas las cifras del total de sólidos disueltos se mueven entre 1.500 y 4.000 mg/l, alcanzándose los 10.700 mg/l en Pinoso. El terciario detrítico central del Duero, que se extiende en una amplia banda a ambos lados de este río, da lugar también a aguas de elevada salinidad, de carácter clorurado o sulfatado.

#### 4.3.1 Intrusión marina

La explotación de acuíferos costeros supone siempre un cierto descenso del nivel piezométrico -de carácter más o menos local, según se



Sal procedente de una salmuera subterránea evaporada por microaspersión.



dispongan los puntos de extracción-, que se amortigua en la franja litoral por efecto del nivel del mar; pero cuando los volúmenes extraídos son superiores a los de las recargas, incluso localmente, se produce una salinización del acuífero como resultado del avance tierra adentro de agua marina (figura 9) o del ascenso de un cono salino. Por tanto, en este tipo de acuíferos los recursos de agua dulce explotables están condicionados por la máxima penetración de agua salada que se estime admisible en cada caso concreto.

En la figura 10 se refleja el estado actual de la intrusión marina, de la que se han diferenciado

tres tipos según el alcance de la misma: local, zonal y generalizada.

De las 82 unidades hidrogeológicas costeras de la península e Islas Baleares, el 58% presenta algún grado de intrusión marina como consecuencia de una explotación excesiva de sus recursos. En algunos casos (7%) ésta es de carácter local y se limita a áreas muy concretas del entorno de los bombeos, en otros (33%) afecta a zonas de mayor extensión y en el resto (18%) es generalizada en todo el acuífero o en su mayor parte (cuadro número 14).

CUADRO Nº 14  
INTRUSION MARINA EN LAS UNIDADES HIDROGEOLOGICAS DEL LITORAL ESPAÑOL

UNIDADES COSTERAS	NO PRESENTAN INTRUSION	INTRUSION LOCAL	INTRUSION ZONAL	INTRUSION GENERALIZADA
NUMERO	34	6	27	15
PORCENTAJE	42	7	33	18

Fuente: ITGE.

#### 4.4 PROBLEMAS DE CONTAMINACION

La calidad del agua subterránea puede verse modificada tanto por causas naturales, intrínsecas al propio acuífero, como por factores externos. Cuando estos factores externos que degradan la calidad natural del agua, son ajenos al ciclo hidrológico, se habla de *contaminación*. La prevención, el control y la resolución de los problemas derivados de la contaminación de las aguas subterráneas constituye uno de los objetivos que deben plantearse en cualquier política avanzada de gestión de los recursos hídricos.

Básicamente, el origen de la contaminación es antrópico y, en función de la actividad que la produce, puede ser:

- Agropecuaria
- Urbana.
- Industrial

Según la distribución espacial de las fuentes contaminantes se distingue entre:

- Contaminación *puntual*, originada por un foco localizado, que afecta con mayor intensidad a una zona restringida alrededor del foco; es el caso de los vertederos de residuos, de las granjas, y de las fosas sépticas.
- Contaminación *difusa*, cuando la entrada

del contaminante se distribuye en una amplia zona del acuífero. Es el caso del lavado de nitratos en zonas de regadío.

La potencialidad de la degradación de la calidad del agua subterránea depende del riesgo de los acuíferos frente a las actividades contaminantes que se desarrollan en su entorno. Con el fin de estimar el posible impacto de estas actividades y de acuerdo con la cartografía del estudio sobre «Riesgos de contaminación de las aguas subterráneas por vertidos sobre el terreno», realizado por el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE, 1988), cabe dividir el territorio nacional en tres zonas con diferentes niveles de riesgo:

- **Riesgo alto:** comprende las zonas permeables por fisuración y karstificación y las constituidas por materiales con porosidad intergranular, cuando la zona no saturada es insuficiente para impedir la protección del acuífero.
- **Riesgo medio:** incluye las áreas constituidas por materiales permeables por porosidad intergranular o por fisuración que se encuentran parcialmente protegidas o con un nivel piezométrico no muy somero.
- **Riesgo bajo:** son aquellos sectores que hidrogeológicamente pueden ser consi-

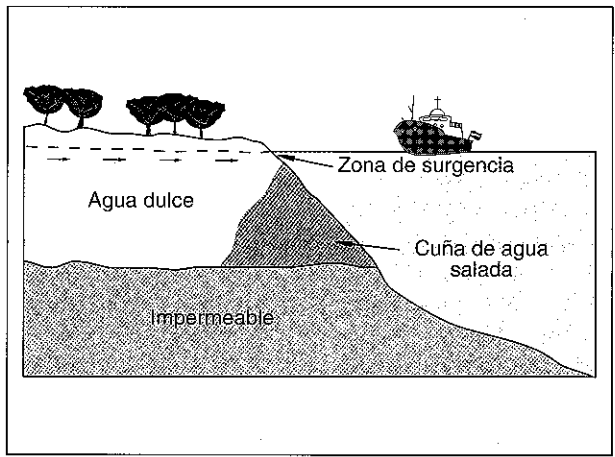


Fig. 9. Esquema de interfaz agua dulce-salada en acuífero costero.

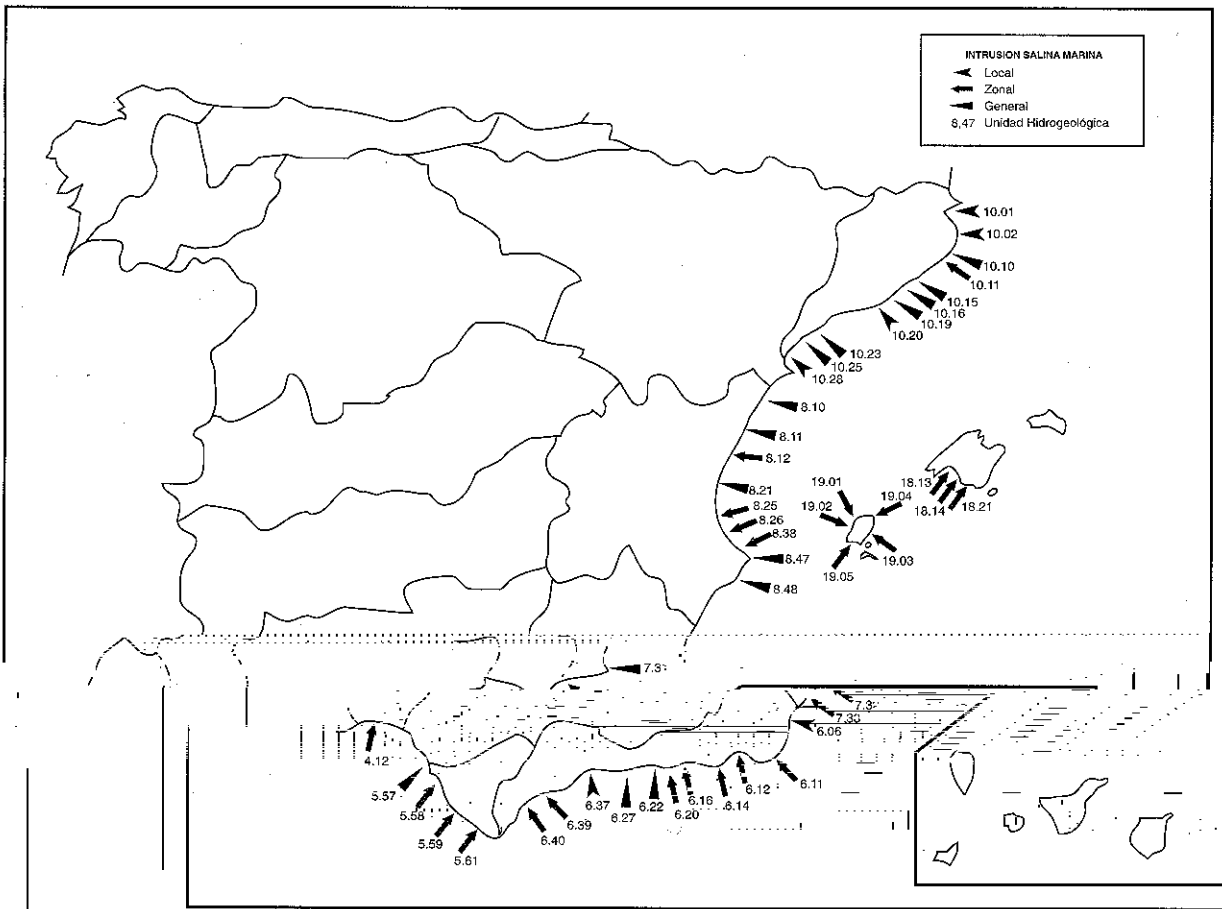


Fig. 10. Problemas de intrusión marina.



Fig. 11. Vías de contaminación por actividades agropecuarias.

derados como impermeables o de muy baja permeabilidad.

En todo el territorio, las zonas de riesgo alto constituyen el 28% del total de la superficie, las de riesgo medio el 34% y las de riesgo bajo el 38%. Por comunidades autónomas destacan Aragón, País Vasco, Canarias, Baleares, Valen-

cia y Madrid, con porcentajes más del 30% de su

superficie al mismo (fertilizantes, plaguicidas, etc.). La agricultura es una fuente potencial de contaminación difusa, derivada de su desarrollo sobre grandes áreas; por el contrario, las prácticas ganaderas, especialmente la estabulación intensiva, constituyen un foco puntual, como

#### 4.4.1 Contaminación por actividades agropecuarias

Las actividades agropecuarias constituyen un factor de alteración de la calidad natural del agua subterránea en cuanto modifican las características del medio y generan contaminación

de la y superficial, las que afectan a un 10% de la superficie es de riesgo alto. En las cuencas hidrográficas del Júcar, Segura, Ebro, Sur, Baleares y Canarias las zonas de esta categoría superan asimismo el 30% de su superficie respectiva (Cuadro nº15).

CUADRO Nº 15: RIESGO ALTO ANTE LA CONTAMINACION

SUPERFICIE TOTAL (km <sup>2</sup> )	SUPERFICIE DE RIESGO ALTO	
	(km <sup>2</sup> )	%
53.804	6.500	12,1
78.972	22.750	28,8
54.769	11.008	20,1
59.873	9.550	16,0
63.085	17.703	28,1
18.391	6.245	34,0
18.254	6.622	36,3
42.904	21.412	49,9
86.098	29.805	34,6
16.493	3.040	18,4
4.834	4.077	84,3
7.273	2.356	32,4
<b>504.750</b>	<b>141.068</b>	<b>28,0</b>

SUPERFICIES DE RIESGO ALTO ANTE LA CONTAMINACION

CUENCA HIDROGRAFICA	
NORTE Y GALICIA COSTA	
DUERO	
TAJO	
GUADIANA	
GUADALQUIVIR	
SUR	
SEGURA	
JUCAR	
EBRO	
CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA	
BALEARES	
CANARIAS	
<b>TOTAL</b>	

Fuente: ITGE.

consecuencia, en la mayor parte de los casos, de deficiencias en las instalaciones o de la incorrecta eliminación de los residuos (figura 11).

### Fertilizantes

La presencia de compuestos de nitrógeno en las aguas subterráneas puede responder a diversos orígenes. Aunque los asociados a instalaciones o actividades puntuales (industriales, urbanas, ganaderas) ejercen un intenso y localizado impacto sobre áreas concretas, las prácticas incorrectas de fertilización y riego constituyen, desde el punto de vista de volumen y amplitud de distribución, el elemento causal más importante.

El problema está muy generalizado y afecta, entre otros, a los países de nuestro entorno más próximo, donde el sector agrícola ha experimentado un desarrollo notable —en particular en la Europa comunitaria— durante las últimas décadas, en función de la importancia concedida en la planificación económica a la producción de alimentos. Debido a ello se potenció una

agricultura intensiva, basada en dos pilares principales: disponibilidad de fertilizantes sintéticos de alto rendimiento, y cultivo de especies vegetales de rápido crecimiento y de creciente rentabilidad para el agricultor. Conviene señalar en cualquier caso que, aun disminuyendo de modo significativo la aplicación de fertilizantes en el futuro, el lavado por percolación en las zonas no saturadas de los acuíferos puede provocar nuevos aportes de los nitratos allí retenidos, procedentes de los productos utilizados con anterioridad.

En España, durante los últimos cincuenta años, se ha pasado de algo más de un millón a tres millones de hectáreas en regadío. Las zonas regables se localizan en ocasiones sobre acuíferos con un alto grado de vulnerabilidad a la contaminación, cuyas aguas a veces se utilizan en el abastecimiento a poblaciones próximas.

La aplicación incorrecta de fertilizantes, que con frecuencia sobrepasa las necesidades del cultivo, y las prácticas de riego poco eficientes, favorecen el lavado de nitratos y su incorporación al acuífero. Las consecuencias se acen-

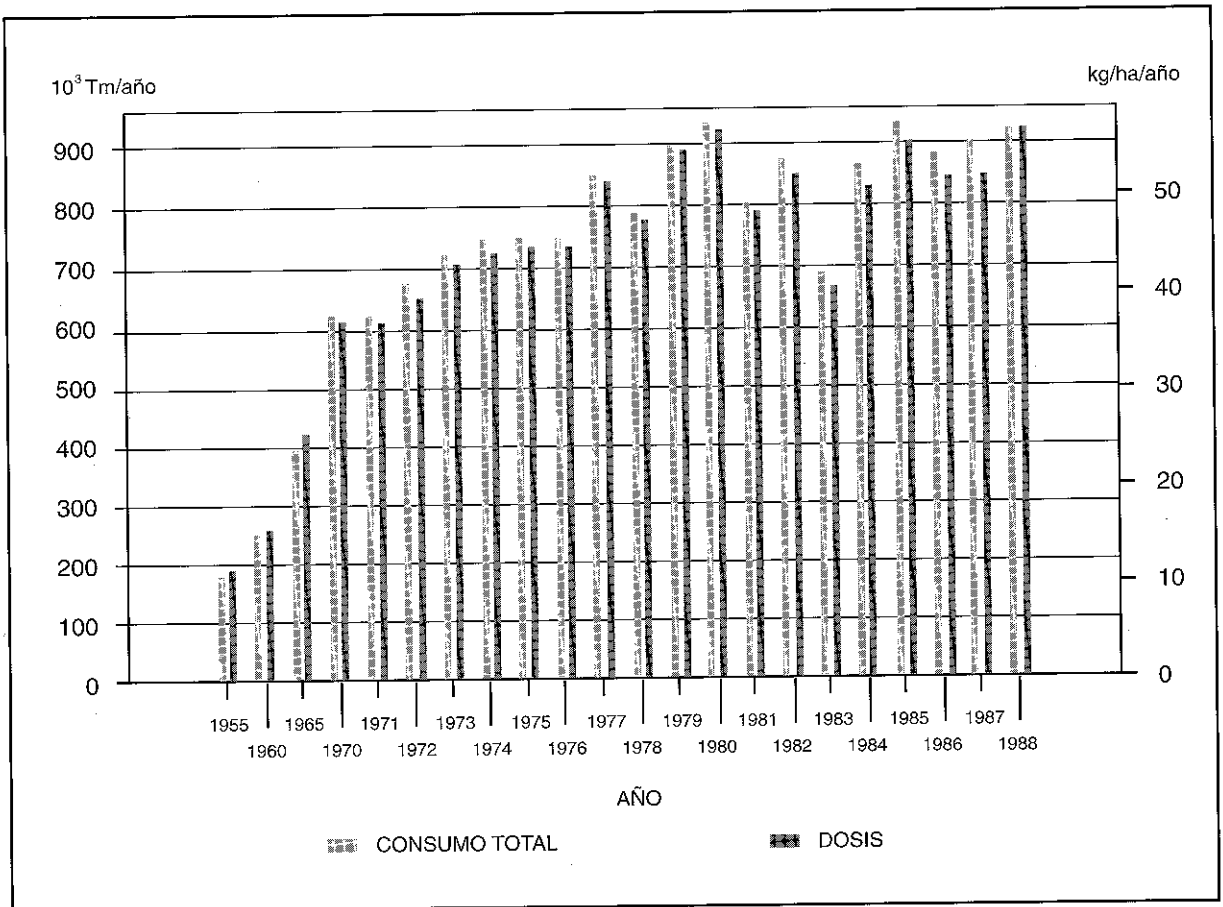


Fig. 12. Nitrógeno aplicado en fertilizantes químicos.

túan en las áreas regadas con aguas subterráneas, debido al reciclado de éstas.

Las cifras de consumo de fertilizantes nitrogenados muestran una evolución creciente en los últimos decenios, pasando de 243.000 toneladas de nitrógeno en 1960 a 976.000 toneladas en 1988, con un incremento en las dosis de 11 a 56 kg/ha en el mismo período (figura 12).

La afección a la calidad de las aguas subterráneas en cuanto al contenido de nitratos, a partir de datos de 1987, queda reflejada en la figura 13, en la que se diferencian tres niveles de deterioro según la intensidad del proceso contaminante (DGOH, 1991):

- Contaminación incipiente, donde las concentraciones de nitratos se sitúan entre 20 y 50 mg/l.
- Contaminación establecida, en las que las cifras de concentración oscilan entre 50 y 100 mg/l.
- Alto grado de contaminación, donde los valores de concentración resultan superiores a 100 mg/l.

En las restantes áreas, o bien no se detectaron concentraciones del ion nitrato superiores a 20 mg/l, o no se dispuso de información.

En relación con la información empleada, las diferencias entre unas cuencas y otras, e incluso entre provincias de una misma cuenca, han sido significativas. Así por ejemplo, mientras que en la cuenca del Júcar la información es abundante, en la del Duero la escasez de datos disponibles es notoria.

En cualquier caso, el contenido en nitratos de las aguas subterráneas ha aumentado de forma paulatina en amplias zonas de agricultura intensiva, donde las concentraciones del ion nitrato exceden sistemáticamente los 100 mg/l, sobrepasando en algunos casos el triple de esta cantidad. La franja costera mediterránea, en especial la zona del Maresme-Llobregat y las planas costeras de la Comunidad Valenciana y Mallorca, la Llanura Manchega (donde se ha pasado de 31.000 ha en regadío en 1974 a 135.000 ha en 1988) y los aluviales del bajo Guadalquivir son las comarcas donde el proceso contaminante ha adquirido una mayor intensidad, afectando a fuentes de abastecimiento de núcleos urbanos, que presentan problemas de potabilidad. En las zonas norte de Tenerife y de Gran Canaria se han observado también contenidos que exceden el límite de potabilidad de 50 mg/l.

## *Plaguicidas*

Los productos fitosanitarios son, en general y debido a sus características intrínsecas, retenidos o adsorbidos en el suelo y en la zona no saturada por las arcillas y por la materia orgánica. Por ello, cuando existen suelos bien desarrollados y los acuíferos se encuentran protegidos por un suficiente espesor de zona no saturada, el riesgo de contaminación se reduce considerablemente. No obstante, la descomposición de dichos productos puede dar lugar a una serie de residuos, no siempre conocidos, en ocasiones más tóxicos que los plaguicidas originales.

El consumo de estos productos sigue una tendencia creciente, con unas cifras actuales de unas 62.000 t/año, lo que supone, en relación a la superficie cultivada, dosis del orden de 3 kg/ha (figuras 14 y 15). Destacan las Comunidades de Castilla-La Mancha, Valencia y Andalucía, donde su empleo supone la aplicación de más de 8.000 t/año de materias activas. La coincidencia de estos mayores consumos con áreas hidrogeológicas muy vulnerables pone de manifiesto el riesgo potencial de contaminación de los acuíferos ubicados en estas zonas.

La afección de las aguas subterráneas por la aplicación agrícola de productos fitosanitarios no constituye hasta ahora un hecho constatado con generalidad, si bien en estudios recientes del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente se ha detectado la presencia de cloroetilenos, triclorobencenos, aldrín y lindano en acuíferos detriticos de las cuencas del Tajo, Guadalquivir, Sur y Ebro, así como en La Mancha y en La Plana de Castellón. Las concentraciones de estos microcontaminantes superan frecuentemente los máximos admitidos en la R.T.S., aunque en la casi totalidad de los puntos muestreados las aguas no se dedican a abastecimiento urbano (MOPTMA, 1992-93).

La ausencia de información sistemática sobre la situación general de las aguas subterráneas respecto a estos productos, debido a la complejidad y coste de las técnicas analíticas aplicables y a la gran variedad de materias activas empleadas, no ha permitido hasta el momento una caracterización completa de este tipo de contaminación.

## *Ganadería*

La contaminación del agua subterránea procedente de la ganadería tiene fundamentalmente un carácter orgánico y bacteriológico y se

produce, en general, a consecuencia del vertido de los residuos animales y de su aplicación como abonos, que suele realizarse en las áreas próximas a los puntos de producción. En España, según estimaciones del Instituto Tecnológico Geominero de España, de los residuos ganaderos un 20% se destina a estiércol, otro 20% queda en el suelo durante el pastoreo, entre el 10 y el 15% se somete a algún tipo de tratamiento y el resto se vierte directamente al terreno o a los cauces.

El número y las dimensiones de los centros de ganadería estabulada han aumentado de forma considerable en las últimas décadas. Contabilizando los vertidos de estas instalaciones y los de la ganadería no estabulada, cabe estimar que en todo el territorio español la carga orgánica generada por la ganadería equivale a una población del orden de los 100 millones de habitantes (figura 16).

La mayor parte de esta contaminación, en cifras absolutas, corresponde a las Comunidades de Castilla-León, Andalucía, Castilla-La

Mancha, Cataluña y Galicia, si bien las mayores concentraciones de carga contaminante se producen en Cantabria, Cataluña y Asturias. Es de destacar la considerable vulnerabilidad de los acuíferos en estas áreas, constituidos por materiales fracturados y karstificados y, por tanto, escasamente protegidos frente a la infiltración.

#### 4.4.2 Contaminación por actividades urbanas

En numerosos casos –incluso en algunas grandes ciudades–, las aguas residuales de origen urbano se canalizan por redes de saneamiento en mal estado o inadecuadas; también a veces se vierten a los cauces o a lagunas de infiltración, directamente o a través de acequias de riego o de drenaje. Todas estas vías de evacuación pueden provocar la contaminación de los acuíferos, que será más o menos intensa en función del volumen vertido y su grado de

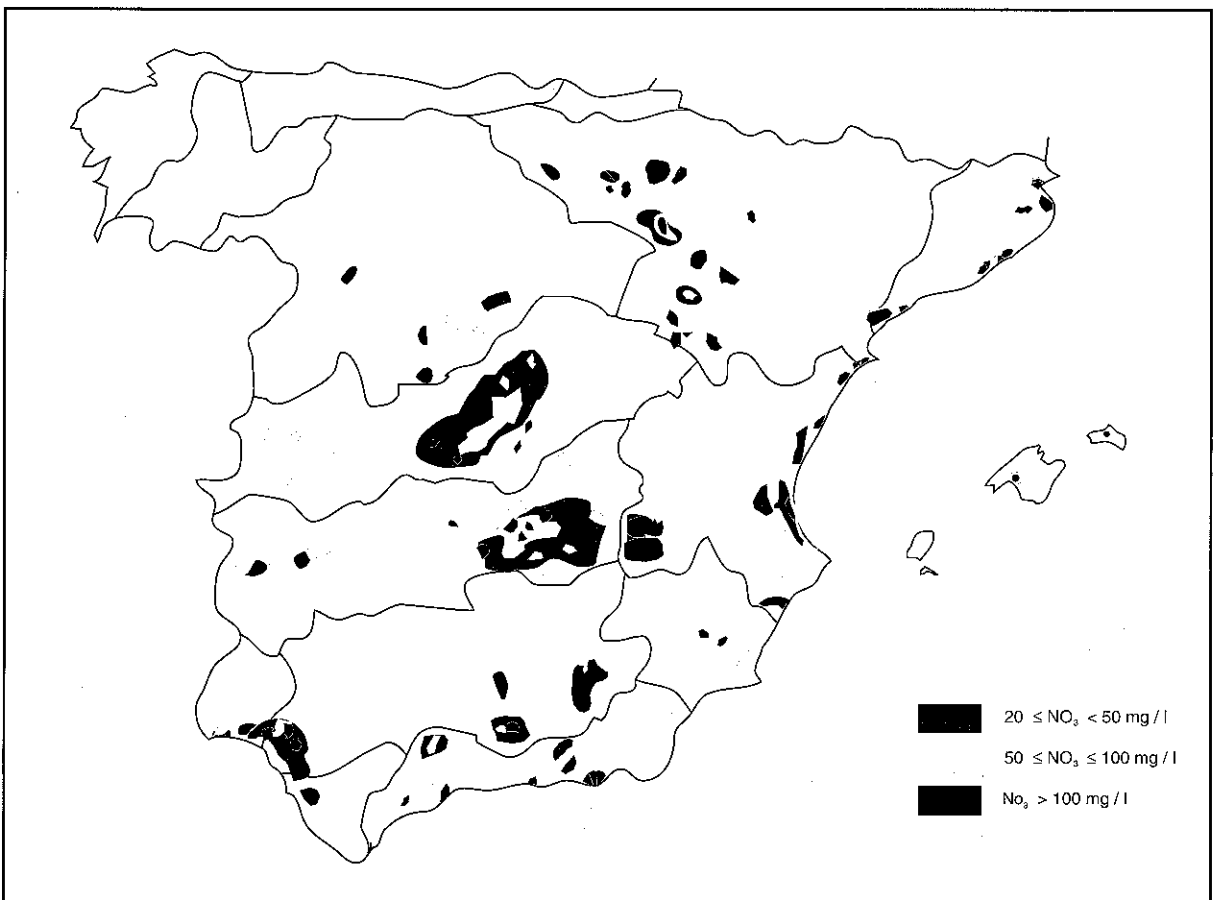


Fig. 13. Contaminación por nitratos.

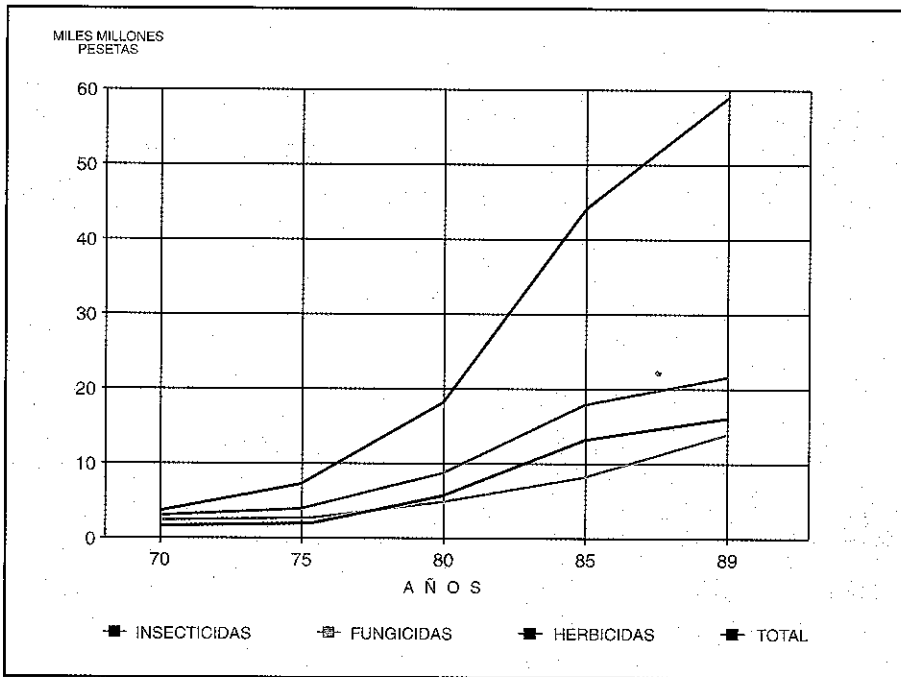


Fig. 14. Valor de la aplicación de productos fitosanitarios (pesetas corrientes).

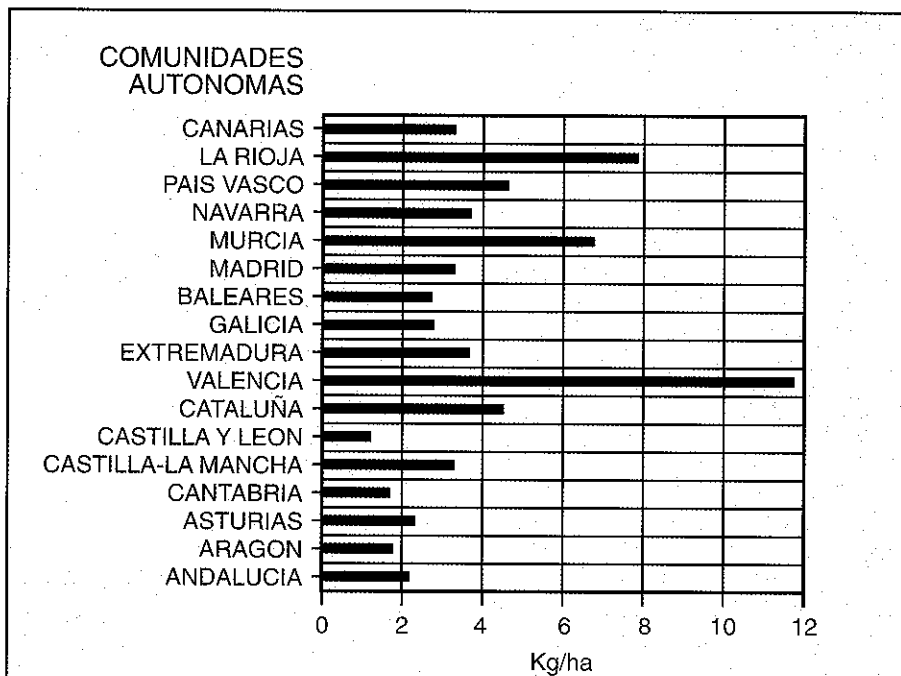


Fig. 15. Consumo unitario de productos fitosanitarios.

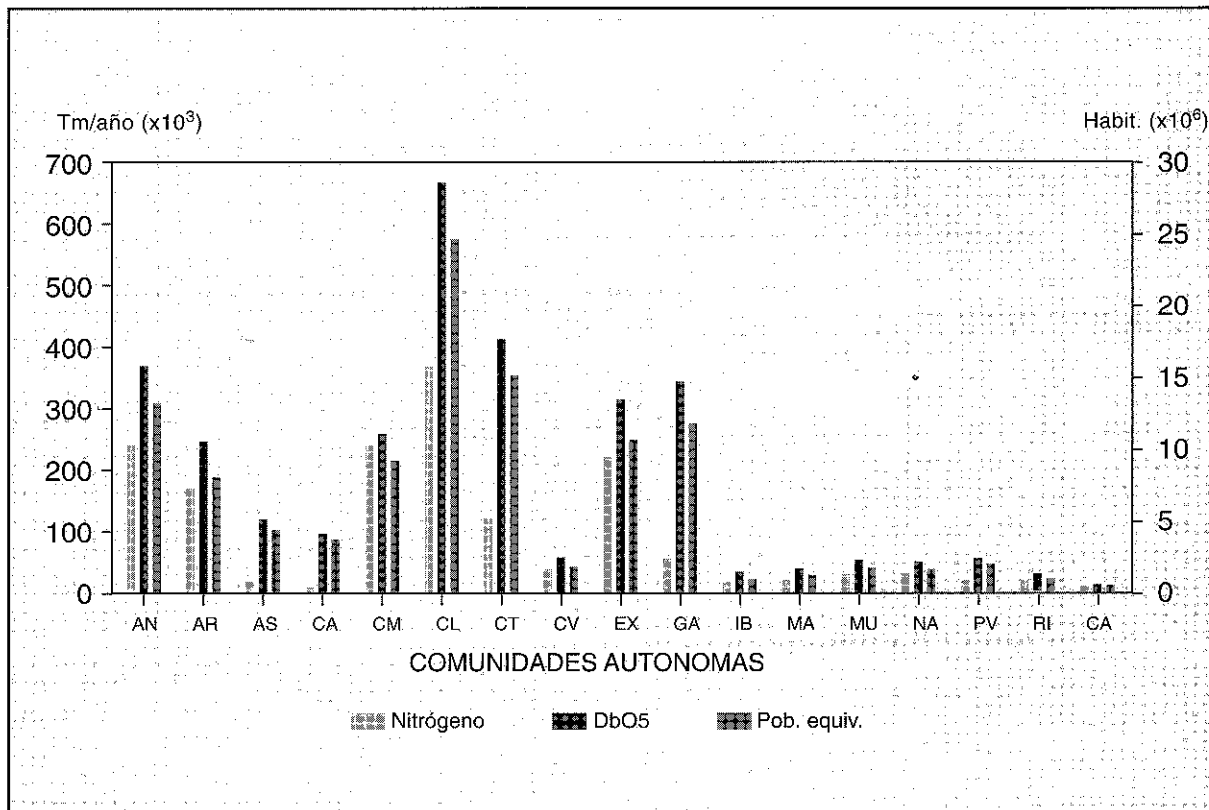


Fig. 16. Carga contaminante procedente de la ganadería.

depuración y dilución. El mismo esquema puede aplicarse a menor escala cuando los abastecimientos a pequeñas entidades de población se sitúan próximos a los sistemas de evacuación (fosas sépticas y pozos negros), sobre todo si las aguas subterráneas se encuentran próximas a la superficie del terreno. La cuantificación de estos residuos líquidos es, en cualquier caso, problemática por su distribución espacial y, más aún, en la parte que puede afectar realmente a los acuíferos. El Plan Nacional de Saneamiento y Depuración está dirigido, precisamente, a solucionar la mayor parte de estos problemas y, concretamente, a evitar todo tipo de vertido directo a cauces o acuíferos.

Por otro lado, el aumento de la población, su concentración en zonas urbanas y la mejora de la calidad de vida son factores que han determinado un aumento importante del volumen de residuos sólidos urbanos. Aunque en los últimos tiempos se han desarrollado nuevas tecnologías de eliminación y tratamiento de estos residuos, todavía son muchas las toneladas que, en España, quedan sin tratar. Por ello los vertederos incontrolados, cuando se ubican en zonas

vulnerables, son una de las causas principales de deterioro de la calidad de las aguas subterráneas.

Los más de ocho mil municipios españoles generan al año del orden de 12.500.000 toneladas de residuos que, según datos de 1990, se eliminan por aplicación de los siguientes sistemas (MOPT, 1991):

SISTEMA DE ELIMINACION	% SOBRE TOTAL R.S.U.
COMPOSTAJE	20,45
INCINERACION	4,82
VERTIDO CONTROLADO	48,35
VERTIDO INCONTROLADO	26,38

Según datos del Instituto Tecnológico Geomínero de España, en la España peninsular y Baleares más de un 60% de los vertidos incontrolados –lo que podría suponer unos dos millones de toneladas anuales (Cuadro nº 16)– se alma-



CUADRO Nº 16  
VERTIDOS INCONTROLADOS DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (1992)

CUENCA HIDROGRAFICA	SUPERFICIE RIESGO ALTO (km <sup>2</sup> )	N.º TERMINOS MUNICIPALES	POBLACION	TONELADAS INCONTROLADAS DE R.S.U. GENERADOS (ESTIMACION)
NORTE	6.500	39	306.728	86.430
DUERO	22.750	774	554.874	140.914
TAJO	11.008	90	271.823	69.198
GUADIANA	9.550	68	451.271	123.148
GUADALQUIVIR	17.803	179	1.384.535	331.016
SUR	6.295	129	1.321.135	315.750
SEGURA	6.622	22	186.740	90.15
JUCAR	21.412	273	1.330.629	505.625
EBRO	29.805	649	671.779	194.161
INTERNAS DE CATALUÑA	3.040	151	298.413	118.171
BALEARES	4.077	38	245.420	96.640
CANARIAS	2.356	—	—	—

Fuente: ITGE.

cenan sobre superficies conectadas con acuíferos. Las zonas más afectadas se sitúan en las cuencas del Júcar, el Sur y el Guadalquivir, donde se suma el volumen de los vertidos incontrolados a la gran extensión ocupada por las áreas de mayor vulnerabilidad. No obstante, la incidencia real de los residuos sólidos urbanos sobre la calidad de las aguas subterráneas está todavía mal cuantificada.

Los datos, reflejados por cuencas hidrográficas, corresponden al estado actual de la gestión de los residuos, sin considerar como vertidos controlados aquéllos en los que las obras para establecer sistemas de eliminación han finalizado, pero no han entrado en funcionamiento.

#### 4.4.3 Contaminación por actividades industriales

El sector industrial produce una variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas que, cuando se vierten de modo incontrolado o mal regulado, pueden dar lugar a contaminaciones importantes de las aguas subterráneas. Aunque no se dispone de datos concretos y extendidos a todo el territorio nacional que permitan cuantificar la importancia real del problema, se han detectado casos en los que la actividad indus-

trial ha dado lugar a la contaminación de las aguas subterráneas, siendo muy variado su origen. Se conocen zonas donde la contaminación de las aguas subterráneas se ha debido a un inadecuado almacenamiento o transporte de materias primas (carburantes y combustibles líquidos derivados del petróleo) en polígonos industriales y estaciones de servicio de gasolina; otra situación frecuente de deterioro de la calidad natural de las aguas subterráneas es la originada por la eliminación de residuos en cauces, zanjas, cuevas o fosas sépticas deficientemente construidas –desde donde se pueden alcanzar los acuíferos–, así como la que se produce por vertidos incontrolados en pozos, que ha sido un sistema empleado en algunas industrias del sector agroalimentario (alcoholeras, almazaras, mataderos,...).

Con la realización del Inventario Nacional de Suelos Contaminados (MOPTMA-EMGRISA, 1993), desarrollado por la Dirección General de Política Ambiental en cumplimiento del Plan Nacional de Residuos Industriales y más concretamente del programa relativo al «Control y recuperación de zonas afectadas por vertidos de residuos tóxicos y peligrosos», se han podido conocer zonas donde el vertido y la eliminación incontrolada de efluentes procedentes de la industria y la lixiviación del suelo industrial ha

CUADRO Nº 17  
**CUADRO DE ACTIVIDADES Y EMPLAZAMIENTOS**

COMUNIDAD AUTONOMA	ACT. INDUSTRIALES INVENTARIADAS	EMPLAZAMIENTOS INVENTARIADOS	EMPLAZAMIENTOS CARACTERIZADOS
ANDALUCIA	1.396	614	31
ARAGON	717	321	—
ASTURIAS	394	153	12
BALEARES	303	12	2
CANARIAS	396	222	9
CANTABRIA	238	77	5
CASTILLA Y LEON	811	399	21
CASTILLA LA MANCHA	468	397	10
CATALUÑA	4.903	577	40
COMUNIDAD VALENCIANA	2.330	37	32
EXTREMADURA	183	29	4
GALICIA	860	524	19
MADRID	1.809	222	16
MURCIA	469	73	10
NAVARRA	334	23	6
PAIS VASCO	2.059	539	30
LA RIOJA	153	34	3
CEUTA Y MELILLA	22	4	—
<b>TOTAL</b>	<b>17.845</b>	<b>4.257</b>	<b>250</b>

Fuente: EMGRISA-DIRECCION GRAL. DE POLITICA AMBIENTAL.

producido contaminación de las aguas subterráneas. Del total de los 4.257 emplazamientos inventariados se seleccionaron 250 para su posterior caracterización; esta selección se hizo en función de la superficie, tipo de residuos, permeabilidad del terreno, afecciones hídricas y usos del territorio (cuadro nº 17).

Del análisis de esta caracterización de los emplazamientos seleccionados, se puede resumir que en cincuenta de ellos, repartidos en

todas las CC.AA., se ha detectado contaminación de aguas subterráneas.

Las soluciones del problema ocasionado por los residuos industriales se encuadran dentro de dos grandes líneas de actuación: preventivas, en las que se incluirá la adecuada selección de emplazamientos y métodos de vertido, y el desarrollo de tecnologías limpias y correctoras, que deberán aplicarse al saneamiento de zonas donde se ha producido un deterioro de los recursos hídricos.