



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

**ELABORACION DE DIRECTRICES DE RIESGOS  
GEOLOGICOS PARA PROTECCION CIVIL**

Ingeniería GeoAmbiental



**CONTAMINACION DE ACUIFEROS KARSTICOS POR  
VERTIDOS ACCIDENTALES.**

Portada: Accidente de una cisterna de ácido  
sulfúrico en el puerto de Somosierra.  
( foto: EFE )

El Instituto Tecnológico GEOMINERO de España, ITGE, que incluye, entre otras, las atribuciones esenciales de un "Geological Survey of Spain", es un Organismo autónomo de la Administración del Estado, adscrito al Ministerio de Industria y Energía, a través de la Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales (R. D. 1270/1988, de 28 de octubre). Al mismo tiempo, la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica le reconoce como Organismo Público de Investigación. El ITGE fue creado en 1849.

**CONTAMINACION DE ACUIFEROS KARSTICOS  
POR  
VERTIDOS ACCIDENTALES**

**AÑO 1.989**

Este trabajo ha sido realizado por la Dirección de Aguas Subterráneas y Geología Ambiental del Instituto Tecnológico y GeoMinero de España en régimen de contratación con la Empresa EQUIPO DE ASISTENCIA TECNICA, S.A., con la participación del siguiente personal técnico:

POR EL ITGE: D. Francisco Javier Ayala Carcedo  
Ingeniero de Minas - Director del Estudio

POR E.A.T., S.A.: D. José M<sup>a</sup> Rodríguez Ortiz  
Dr. Ingeniero de Caminos  
  
D. Pablo de la Fuente Martín  
Dr. Ingeniero de Caminos  
  
D. Carlos Prieto Alcolea  
Licenciado en Ciencias Geológicas  
  
D. José Luis Lamas Romero  
Ingeniero de Caminos

ELABORACION DE DIRECTRICES  
DE RIESGOS GEOLOGICOS PARA  
PROTECCION CIVIL

AÑO 1989

ELABORACION DE DIRECTRICES DE RIESGOS GEOLOGICOS  
PARA PROTECCION CIVIL

MEMORIA

CONTAMINACION DE ACUIFEROS KARSTICOS POR VERTIDOS  
ACCIDENTALES

ANEXO

CONTAMINACION DE ACUIFEROS KARSTICOS POR VERTIDOS  
ACCIDENTALES

MEMORIA

CONTAMINACION DE ACUIFEROS KARSTICOS POR VERTIDOS  
ACCIDENTALES

CONTAMINACION DE ACUIFEROS KARSTICOS POR  
VERTIDOS ACCIDENTALES

<u>INTRODUCCION</u>	<u>Pag.</u>
1. INTRODUCCION	1.
2. AMPLITUD DEL PROBLEMA	4.
2.1. Generalidades	4.
2.2. Clasificación de las mercancías peligrosas	5.
2.3. Características del transporte de mercancías peligrosas	8.
2.4. Análisis de los accidentes.	14.
3. LOS ACCIDENTES DE MERCANCIAS PELIGROSAS EN ESPAÑA	17.
4. CARACTERISTICAS DE LOS ACUIFEROS KARSTICOS	25.
5. INDICES DE VULNERABILIDAD	28.
5.1. La propagación de los contaminantes.	31.
6. MEDIDAS PREVENTIVAS	39.
6.1. Condiciones del transporte	39.
6.2. Protección del acuífero	43.
7. MEDIDAS POSTERIORES AL ACCIDENTE	45.
7.1. Introducción	45.
7.2. Medidas de alerta	45.
7.3. Actuaciones sobre el terreno y el acuífero Kárstico	46.
8. BIBLIOGRAFIA	52.



## CONTAMINACION DE ACUIFEROS KARSTICOS POR VERTIDOS ACCIDENTALES.

### 1. INTRODUCCION.

Determinado número de poblaciones españolas se abastecen de agua potable a partir de manantiales de origen kárstico o pozos profundos perforados en formaciones de esta naturaleza.

Las especiales características hidrogeológicas de las formaciones kárstificadas hace que la transmisión de contaminantes sea relativamente rápida y la existencia de numerosas fracturas, canales de disolución, depresiones superficiales, etc. multiplica las potenciales vías de penetración haciendo estos acuíferos muy vulnerables a eventuales contaminaciones.

Si bien las fuentes de contaminación pueden ser muy variadas, como se indica en la Tabla 1-1, en este trabajo nos limitaremos a considerar únicamente la contaminación derivada de una fuente puntual.

Los accidentes de vehículos de transporte por carretera de mercancías peligrosas.

Este problema se caracteriza por la liberación en muy breve espacio de tiempo, de un fluido o producto químico de elevada concentración que pasa al terreno inmediato a la carretera y se infiltra en el mismo. En el caso de comunicación directa con cavidades kársticas relacionadas con acuíferos explotados, los fenómenos de difusión o incluso de flujo estratificado de productos no miscible con el agua, puede alcanzar las zonas de toma o los depósitos de abastecimiento en un breve plazo de tiempo poniendo en peligro las condiciones sanitarias del mismo y frecuentemente hipotecando el sistema para años posteriores o incluso deteriorándolo de forma irreversible.

TABLA 1.1.

ACTIVIDADES CAUSANTES DE POLUCION DEL AGUA FREATICA.

- Vertidos accidentales.
  
- Aplicación de fertilizantes / pesticidas.
  - . Agricultura
  - . Horticultura
  - . Jardinería.
  
- Escorrentía de carreteras.
  - . Sales
  - . Gasolina, aceites y derivados del petroleo.
  
- Lixiviados de escombreras y vertederos.
  
- Contaminación directa.
  - . Pozos negros, fosas septicas.
  - . Infiltración.
  - . Defectuosa construcción o explotación de pozos

FUENTE = Kaplan et al. (1987).

En este trabajo se analiza en primer lugar la amplitud del fenómeno a escala nacional e internacional, pudiendo concluirse que si bien, afortunadamente, los accidentes en zonas kársticas son escasos, su repercusión sanitaria y social puede ser enorme.

Se intenta a continuación una caracterización de los acuíferos kársticos como elementos transmisores de la contaminación. La gran diversidad morfológica de estos conductos hace muy difícil una tipificación, si bien es posible acotar órdenes de magnitud de las velocidades de circulación del agua, volumen almacenado, capacidad de recarga, etc.

Combinando las características del transporte por carretera de mercancías peligrosas y su siniestralidad, con la vulnerabilidad de los acuíferos kársticos atravesados es posible establecer grados de peligrosidad que pueden ser utilizados tanto en la protección de los acuíferos como en la limitación de itinerarios para este tipo de transporte.

Como orientación a las comunidades potencialmente afectadas se hace un resumen de las medidas preventivas más apropiadas a este tipo de acuíferos, si bien algunas de ellas aún no han pasado del plano teórico dada la escasa experiencia existente en estas actuaciones.

Más importancia que la prevención a largo plazo puede otorgarse a las actuaciones inmediatas al accidente, ya que es más sencilla y económica su disponibilidad. Su éxito exige muchas veces una información previa y el entrenamiento de los servicios más directamente implicados.

El trabajo se termina con un resumen de las conclusiones más importantes y la lista de las referencias bibliográficas utilizadas.

## 2. AMPLITUD DEL PROBLEMA

### 2.1. Generalidades

El transporte de mercancías, incluidas las peligrosas constituyen una actividad esencial de la que dependen numerosos sectores de la industria y de la economía. Sin embargo, las materias peligrosas sólo representan del 5 al 15% aproximadamente del tonelaje total del transporte terrestre y en general este tráfico presenta menos siniestralidad que el transporte por carretera de mercancías en general. Sin embargo, las consecuencias de estos accidentes son a menudo más graves y pueden alcanzar proporciones catastróficas.

Los datos sobre transporte de mercancías peligrosas en los países de la O.C.D.E. son escasos, pero conviene utilizar como referencia tanto los datos europeos como de otros continentes con objeto de encuadrar el problema. Más adelante se recogen algunas de las estadísticas disponibles.

Es interesante señalar que si bien ha existido una amplia preocupación por los daños derivados de estos accidentes expresados en vidas humanas y pérdidas económicas, en muy pocos países y sólo recientemente, se ha empezado a valorar el impacto ambiental y ecológico.

En un reciente informe de la O.C.D.E. (1988), entre los 21 accidentes más graves sucedidos en la Comunidad Europea desde 1970, sólo aparece uno relacionado con la contaminación de agua potable por gasolina: el de Weismain (Alemania) de agosto de 1983.

A los fines de este trabajo podría concluirse precipitadamente que el impacto ambiental y concretamente el de la población de aguas potables derivadas de estos accidentes, es insignificante comparado con otros tipos de impacto. Sin embargo, la gran abundancia en nuestro país de manantiales de origen kárstico

y la coincidencia con los mismos de importantes rutas de transporte, hace que este problema pueda adquirir en nuestro caso un relieve especial.

## 2.2. Clasificación de las mercancías peligrosas.

Aunque ha existido bastante controversia sobre cómo clasificar el ingente número de materias tóxicas, nocivas, explosivas, etc. transportadas por carretera, parece que la cuestión ha quedado relativamente reglamentada con el acuerdo europeo ADR sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera.

Este acuerdo, firmado en Ginebra en Diciembre de 1957 y al que se han añadido anejos de actualización que entraron en vigor el 1º de mayo de 1985, ha sido también suscrito por España, entrando en vigor en noviembre de 1986.

En el adjunto Cuadro 2.1. se indican las 8 clases de mercancías peligrosas consideradas en dicho acuerdo.

Las clases caracterizadas como limitativas y las mercancías no citadas explícitamente quedan excluidas del transporte por carretera. El resto es susceptible de transporte bajo determinadas condiciones especificadas en el Acuerdo.

La clasificación de los productos peligrosos no depende de un nivel diferente de peligrosidad de esas sustancias, sino más bien de su constitución y otras propiedades.

Es interesante señalar que está en Proyecto añadir a partir del 1 de enero de 1990 una

Clase 9	Sustancias susceptibles de constituir un peligro a largo plazo para la salud o el medio ambiente y que no entran en ninguna de las clases anteriores.
---------	---

Este tema ya ha sido recogido en la reglamentación canadiense, donde la Clase 9 se subdivide en los tres grupos siguientes:

9.1. - Sustancias suficientemente peligrosas para requerir reglamentaciones de transporte pero no clasificables en otro lugar.

CUADRO 2.1. - CLASIFICACION DE LAS MERCANCIAS PELIGROSAS SEGUN EL ACUERDO EUROPEO ADR - 1985 (1).

Clase 1a	Materias y objetos explosivos .....	Clase limitativa
Clase 1b	Objetos cargados con materias explosivas .....	Clase limitativa
Clase 1c	Inflamadores, piezas de arteificio y mercancías similares .....	Clase limitativa
Clase 2	Gases comprimidos, licuados o disueltos a presión .....	Clase limitativa
Clase 3	Materias liquidas inflamables .....	Clase no limitativa
Clase 4.1	Materias sólidas inflamables .....	Clase no limitativa
Clase 4.2	Materias susceptibles de inflamación espontánea .....	Clase limitativa
Clase 4.3	Materias que, al contacto con el agua, desprenden gases inflamables .....	Clase limitativa
Clase 5.1	Materias comburentes .....	Clase no limitativa
Clase 5.2	Peróxidos orgánicos .....	Clase limitativa
Clase 6.1	Materias tóxicas .....	Clase no limitativa
Clase 6.2	Materias repugnantes o que pueden producir infección .....	Clase limitativa
Clase 7	Materias radiactivas .....	Clase limitativa
Clase 8	Materias corrosivas .....	Clase no limitativa

1) El presente cuadro, indica las mercancías peligrosas que se excluyen del transporte internacional por carretera y las admitidas con ciertas condiciones. Clasifica las mercancías peligrosas en clases limitativas y clases no limitativas. Entre las mercancías peligrosas incluidas en la categoría de clases limitativas (clases 1a, 1b, 1c, 2, 4.2, 4.3, 5.2, 6.2 y 7), las enumeradas en las cláusulas concernientes a estas clases (marginales 2.101, 2.131, 2.171, 2.201, 2.431, 2.471, 2.551, 2.651 y 2.70(1)) no son admitidos para su transporte, sino bajo las condiciones previstas en dichas cláusulas, excluyéndose el transporte las demás. Algunas de las mercancías peligrosas que figuran en el grupo de las clases no limitativas (clases 3, 4.1, 5.1, 6.1, y 8) están excluidas del transporte por notas insertas en las cláusulas relativas a las diversas clases; entre las restantes mercancías a que se hacen referencia en el grupo de las no limitativas, en las que se mencionan en las cláusulas relativas a estas clases (marginales 2.301, 2.401, 2.501, 2.601 y 2.801) se las admitirá para su transporte sólo bajo las condiciones previstas en estas cláusulas; las no mencionadas o definidas bajo una de las rúbricas colectivas no se considerarán como mercancías peligrosas a los efectos de acuerdo y son admitidas para su transporte sin condiciones especiales.

9.2. - Sustancias peligrosas para el medio ambiente.

9.3. - Productos de desecho peligrosos.

En 1984 se transportaron en Alemania 30.000 toneladas de mercancías que podrían englobarse en esta Clase 9.

Creemos sin embargo que la inclusión de una subclase relativa a impactos sobre el medio ambiente, no es procedente, ya que las 8 clases anteriores pueden alterar éste de modo significativo.

En España, para el transporte interior de mercancías peligrosas, se aplica el denominado TPC "Reglamento Nacional de Transportes de Mercancías Peligrosas por Carretera", aprobado por Decreto 1754/1976 de 6 de Febrero. Posteriormente, por Real Decreto 1723/1984 de 20 de Junio, se dió una nueva redacción a dicho Reglamento.

En este Reglamento se dictan normas sobre los conductores de los vehículos, se imponen limitaciones a la circulación de las mercancías peligrosas y se dan normas de actuación en caso de accidente o avería. No parece deducirse de la filosofía general de dicho Reglamento que entre las condiciones limitativas figure la conservación del medio ambiente o la protección de los acuíferos.

### 2.3. Características del transporte de mercancías peligrosas.

Las estadísticas correspondientes a nuestro país son escasas y fragmentarias, y haremos referencia a ellas en otro lugar. Más elaboradas son las de otros países, que pueden servir como indicación.

En general los transportes de mercancías peligrosas representan en tonelaje un porcentaje relativamente modesto del transporte total interior.

Por ejemplo, en Alemania, en 1984, supuso el 16% del transporte total de mercancías y el 9,5% de las transportadas por carretera. En Noruega dicho porcentaje se estimó en 1984 en el 10%; en Francia, en 1983, el 8,1%; en Holanda, en 1984, el 9%.

Es interesante señalar que si en lugar de considerar el tonelaje total, se adopta la distribución por tonelada-kilómetro, se modifica la importancia del transporte por carretera. Esto se debe principalmente al transporte en camión de productos petrolíferos en distancias medias y cortas. Así por ejemplo, en Estados Unidos el porcentaje de mercancías peligrosas transportadas por carretera es del 60%, pero este se reduce al 12% si se expresa en toneladas-kilómetro.

Además del volumen total de transporte, tiene gran importancia la distribución en el mismo de las distintas clases de mercancías peligrosas, pero sobre esto los datos son aún más escasos.

En el cuadro 2.2. se resumen los datos correspondientes a los accidentes ocurridos en Canadá y en los cuadros 2.3. y 2.4. la estructura del transporte de mercancías peligrosas en Finlandia y Alemania Federal.

Fijándonos sobre todo en estos últimos, se aprecia que la Clase 3 "Líquidos inflamables" constituye la parte más importante del transporte (55%). En segundo lugar, pero muy por detrás, viene la Clase 2 "Gases: comprimidos, licuados o disueltos bajo presión", que supone el 13% del total. El volumen de productos pertenecientes a la Clase 8, en la mayor parte de los casos ácidos y sustancias corrosivas, es algo menos importante (12%). Un cuadro parecido se observa en los demás países, predominado siempre el transporte de líquidos inflamables.



CUADRO 2.2

ACCIDENTES DE MERCANCIAS PELIGROSAS EN CARRETERAS DEL CANADA (\*)

Clase		Frecuencia
1	Explosivos	5
2	Gases	84
3	Materias líquidas inflamables	288
4	Materiales sólidos inflamables	10
5	Materias comburentes	16
6	Materias tóxicas	27
7	Materias radioactivas	24
8	Materias Corrosivas	181
9	Varios	83
	Sin clasificar	26
Total		744

(\*) Periodo Enero 1985 - Julio 1987. Fuente OCDE (1988).

CUADRO 2.3.

TRANSPORTE DE MERCANCIAS PELIGROSAS EN FINLANDIA (1982)  
(× 1000 Toneladas).

Clase	Total	Carretera	Ferrocarril	Navegacion Interior
1a				
1b	16.6	8.6	8.0	0.0
1c				
2	504.4	120.4	384.4	0.0
3	9 621.0	7 069.2	2 448.0	103.8
4.1				
4.2	961.4	249.4	712.0	0.0
4.3				
5.1				
5.2	131.0	43.0	88.0	0.0
6.1	174.4	34.4	140.0	0.0
6.2	x)	x)	x)	0.0
7	x)	x)	x)	0.0
8	1 295.0	1 075.0	220.0	0.0
Total	12 703.8	8 600.0	4 000	103.8

\*) No incluidas. Fuente OCDE (1988).

CUADRO 2.4.

TRANSPORTE DE MERCANCIAS PELIGROSAS EN ALEMANIA , EN 1984.  
(×1000 Toneladas)

Clase	Total	Ferro- carril	Transporte larga dis- tancia	Navegacion Interior	Navegacion Marítima	Aire
Clase 1A	366.6	318.6	31.6	-	16.0	0.3
1B	40.3	26.2	7.1	-	6.8	0.1
1C	36.3	28.8	4.5	0.0	2.8	0.1
2	16 420.8	5 159.2	4 728.6	3 825.6	2 705.0	2.3
3	129 023.8	24 960.9	19 295.2	43 649.8	41 113.5	4.6
4.1	6 175.9	1 937.4	3 252.7	550.6	432.7	2.5
4.2	347.6	79.1	129.6	81.3	57.4	0.1
4.3	874.4	529.4	132.9	1.4	210.6	0.0
5.1	4 063.5	1 696.4	440.2	1 188.0	738.6	0.2
5.2	16.3	4.9	9.8	-	1.6	-
6.1	4 774.1	1 048.7	2 562.9	566.0	589.4	7.0
6.2	546.4	63.6	406.5	2.0	72.3	2.1
7	35.8	20.3	9.9	-	4.5	1.1
8	14 284.4	3 813.3	4 302.8	3 324.4	2 842.2	1.7
Total de mercancías peligrosas	177 006.2	39 686.9	35 314.3	53 189.2	48 793.5	22.4
Transporte total	1 108 144.0	330 083.6	370 880.8	236 477.4	170 082.8	620.9

1) Comprendido el tráfico de corto recorrido con paso de frontera.

Es importante señalar que en las estadísticas oficiales no se suele incluir el transporte de mercancías peligrosas en distancias cortas. Si se tienen en cuenta las estimaciones del Instituto Alemán de Investigaciones económicas este tipo de transporte podría estimarse en unos 180 millones de toneladas (1984), lo cual supone un volumen superior al de todas las mercancías peligrosas transportadas por cualquier medio. Este aspecto es muy importante en lo referente a la estimación del riesgo de polución de acuíferos alejados de las grandes rutas de transporte pero habitualmente recorridos por cisternas de servicio a industrias o gasolineras.

Por lo que respecta a España el último estudio sistemático (Cuadro 2.5.), fue realizado por INECO en 1978. Aunque evidentemente el volumen global de mercancías casi se ha duplicado, puede esperarse que la estructura del transporte haya conservado bastante semejanza con los datos del citado estudio.

En el cuadro adjunto se recoge el tonelaje de mercancías peligrosas por cada una de las 8 clases normalizadas. Como puede apreciarse el mayor volumen corresponde a la clase 3 (hidrocarburos), con un 80% del total. El hecho de que la clase 2 figure con el mayor porcentaje de importaciones (64%) puede deberse a que en aquellas épocas se desconocían las cifras correspondientes a productos derivados del petróleo por lo que posiblemente también en este apartado la clase 3 sería mayoritaria.

CUADRO 2.5.

MERCANCIAS PELIGROSAS SELECCIONADAS.

Clase	Nº de Productos	DATOS CAPTADOS DE 1977 (TM.)		
		Producción	Importaciones	Exportaciones y excedentes
1	2	61.070	51,0	1.905
2	16	4.843.397	2.449.660,1	22.045
3	30	47.190.604	290.016,0	9.687.979 *
4	5	387.530	56.689,0	26.154
5	2	45.100	701,0	18.708
6	8	712.838	47.965,0	13.100
8	12	5.162.010	466.492,0	351.787
TOTALES	75	58.402.549	3.311.574,1	10.121.678

\* 573.755 exportación y 9.114.224 excedentes.

Fuente: INECO (1978).

#### 2.4. Análisis de los accidentes.

Existen diversos tipos de accidentes que pueden tener consecuencias contaminantes:

- Fugas, o escapes no intencionados de cargas peligrosas, derivados o no de accidentes de circulación.
- Accidentes que implican como mínimo a un vehículo de transporte de materias peligrosas en su circulación por la carretera.
- Accidentes fuera de las vías de circulación.

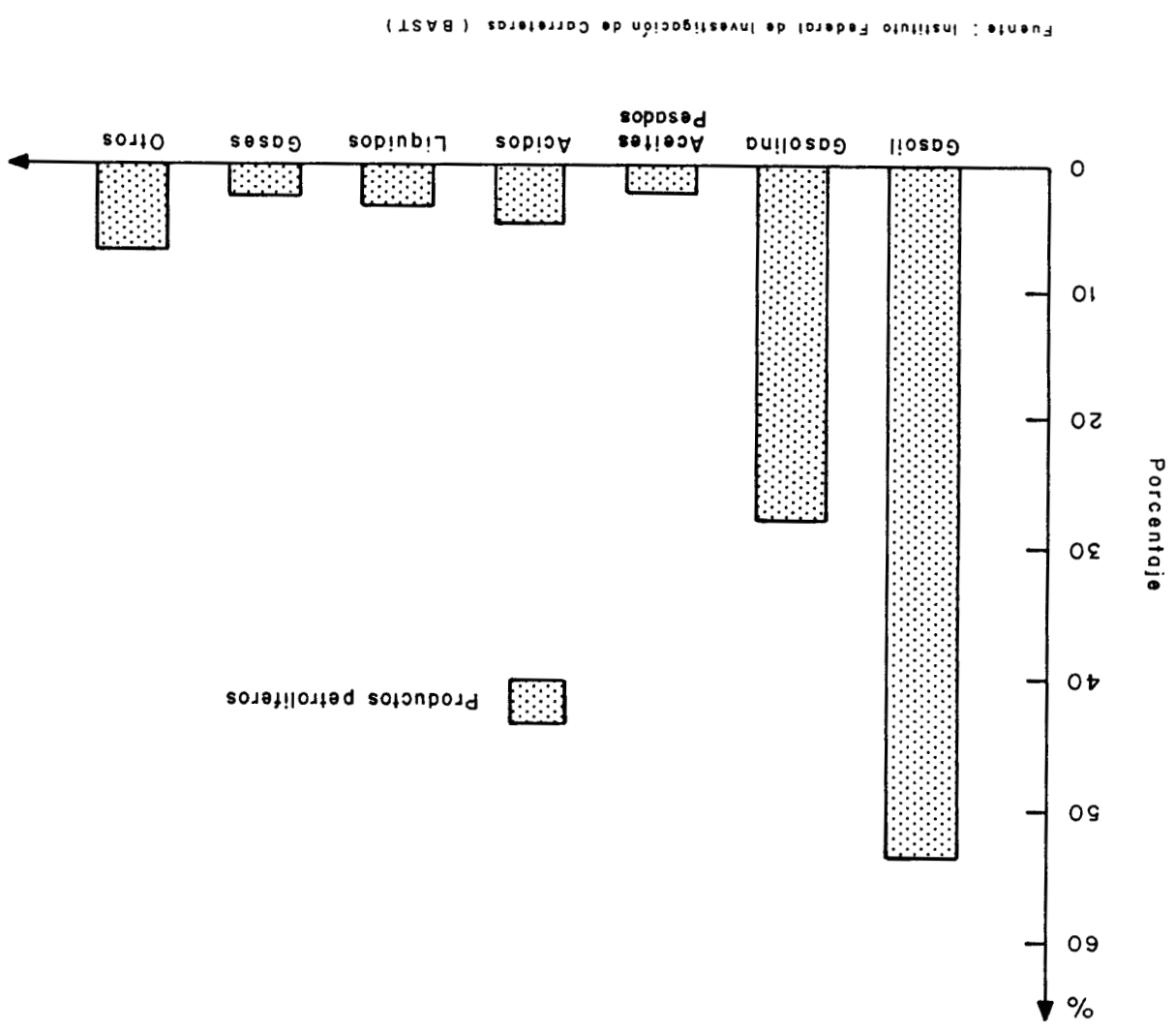
Por lo que respecta a las circunstancias de los accidentes no parece que éstos estén asociados a las especiales características de la carga. Así por ejemplo en un estudio alemán solamente en 8 casos de escape de la carga peligrosa no había estado precedido de un accidente. En otros estudios parece que sólo en un 22% de los casos la naturaleza de la mercancía transportada ha tenido influencia en el accidente.

La mayoría de los accidentes de mercancías peligrosas parece resultar de una combinación de causas tradicionales como el fallo humano, defectos de vehículo, fallos de embalaje o intervenciones de un tercio. Sin embargo, una vez que se ha producido el accidente, sus consecuencias son mucho más graves, sobre todo por las fugas de los productos peligrosos.

Por lo que respecta a la naturaleza de la carga, parece que en general los líquidos inflamables (Clase 3) y especialmente los productos petrolíferos constituyen la carga más frecuentemente implicada en los accidentes de carretera. En Francia este tipo de productos intervinieron en el 60% de los accidentes ocurridos en el periodo 1980-85.

En Alemania el fuel y el gasoleo líquidos intervinieron en el 54% de los accidentes, la gasolina en el 27,6% y el 1,8% los aceites pesados y el betún.

FIG. 2.1 - Frecuencia de implicación de las diversas mercancías peligrosas en los accidentes del periodo 1.982 - 84 en Alemania



Un resultado análogo se observa en las estadísticas americanas con un 45% de accidentes con líquidos inflamables. Un análisis reciente de los accidentes americanos indica que en ellos intervienen líquidos inflamables en un 13%. Las fugas en la carretera debidas a otras causas, implicaron a los líquidos inflamables en el 41% de los casos y a los productos corrosivos en otro 41%.

Algunos datos correspondientes al período 1980-81 indican que aunque todos los medios de transporte plantean problemas de seguridad, los mayores riesgos se derivan del transporte por carretera. Existe una acusada diferencia entre el nº de heridos (excepto por el ácido sulfúrico) debido a la carretera que el transporte de gasolina ha sido responsable de un mayor número de muertos por año que cualquier otra materia peligrosa.



### 3. LOS ACCIDENTES DE MERCANCIAS PELIGROSAS EN ESPAÑA.

La única fuente de información sobre los accidentes de mercancías peligrosas en nuestro país procede de las fichas redactadas por los agentes de Policía de Tráfico en el lugar de los hechos, las cuales se recopilan de forma sucinta en la Jefatura Central de Tráfico.

Se ha podido consultar la información correspondiente a los años 1979-1986, si bien los datos recogidos a partir de 1983 son muy poco precisos respecto a la naturaleza de los productos, la existencia o no de derrames y algunas otras características de los accidentes.

Por lo que respecta al número total de accidentes en los años reseñados, se ha representado en la fig. 3.1. dicho número conjuntamente con la evolución del tráfico por carretera en Vehs/Km. Como puede apreciarse, existe una marcada relación hasta 1982, fecha a partir de la cual la evolución de números de accidentes muestra una tendencia bastante diferente de la del transporte general.

Aunque esto podría atribuirse a una mejora de la red de carreteras o de las condiciones de seguridad de los vehículos, resulta bastante probable que se trate de deficiencias en el registro de los accidentes y en las correspondientes estadísticas.

De todos modos, el número total de accidentes es relativamente reducido y aún lo es mucho menor el de aquéllos en que se han producido vertidos que son los que interesan a efectos de este estudio (fig. 3.1)

Resulta de interés la localización de los accidentes por su eventual relación con zonas karstificadas o de alta permeabilidad por las que el producto peligroso pueda entrar en contacto con aguas de abastecimiento.

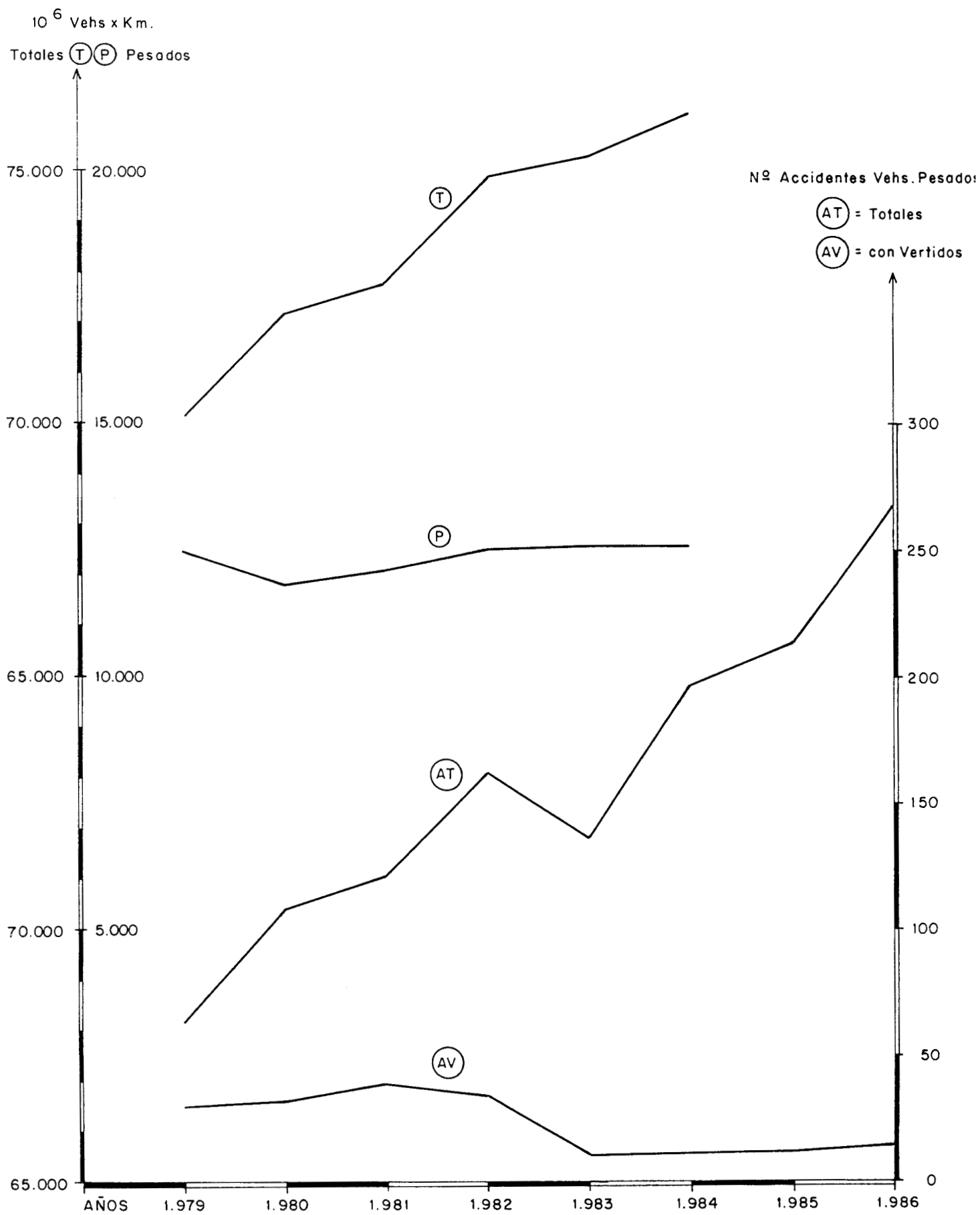


FIG. 3.1.

A ese fin se ha representado en las figuras 3.2/3.3/3.4/3.5/ la localización de los accidentes con vertidos en los años 1979 a 1982, mientras que en la fig. 3.6. se han agrupado los de los años 1983 a 1986.

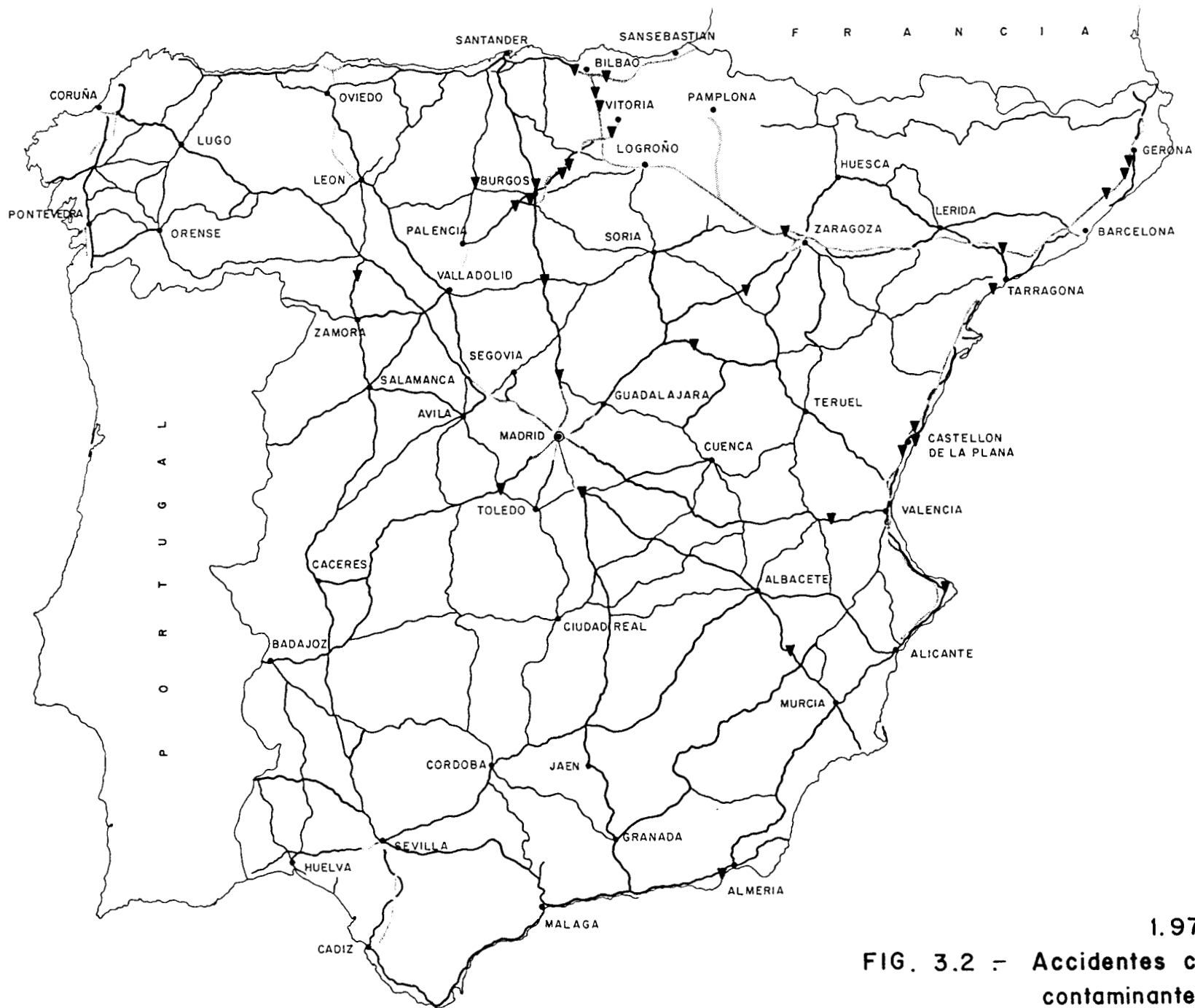
Como puede verse, con excepción de algunos accidentes dispersos, existe una concentración apreciable de accidentes en:

- El área de Bilbao
- El tramo Burgos-Vitoria-Bilbao
- El tramo Tarragona-Barcelona
- La zona de Valencia
- La zona de Santander

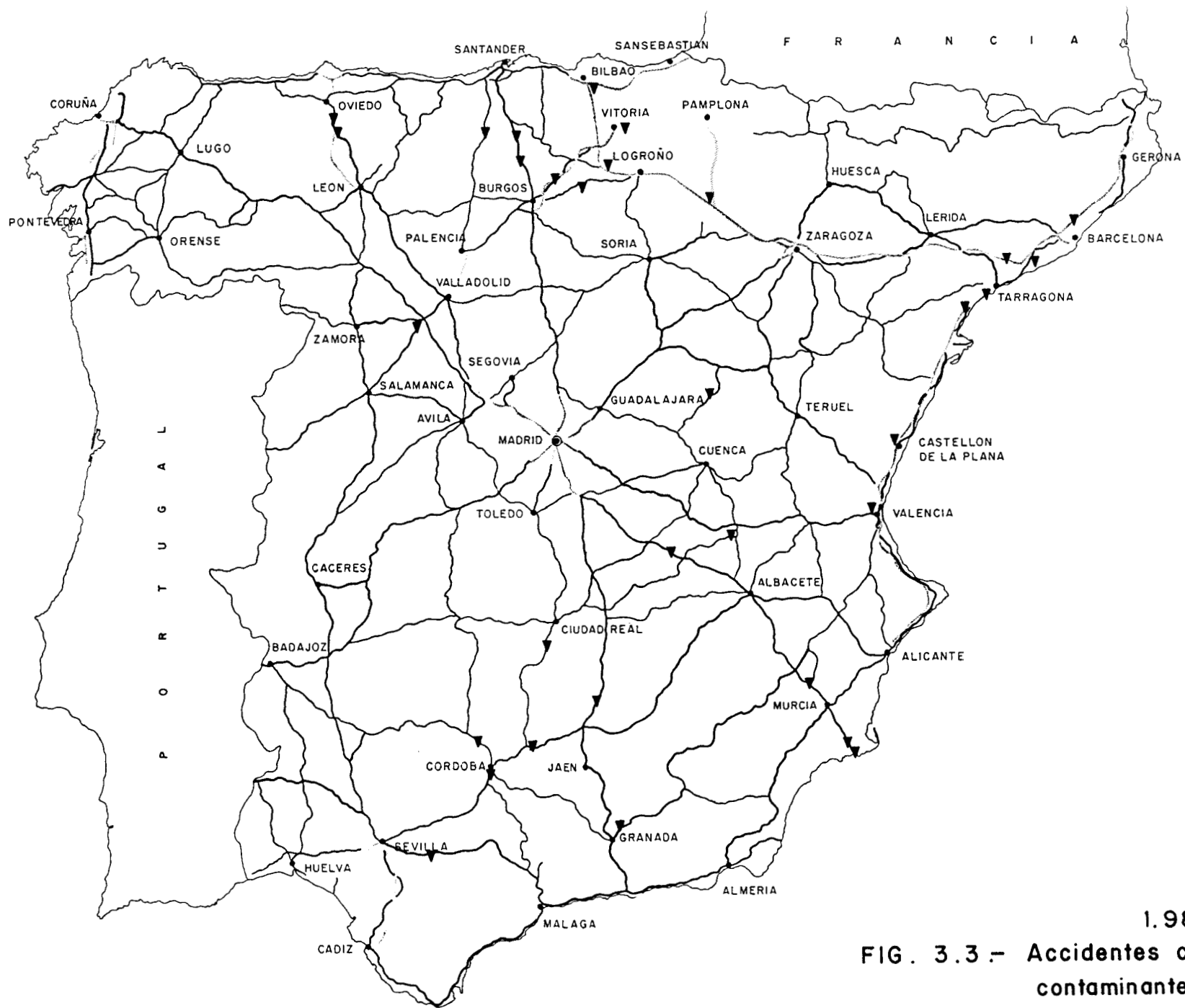
Esta distribución resulta lógica teniendo en cuenta la localización de las áreas industriales y de producción, así como las líneas preferentes del transporte de mercancías, con la curiosa circunstancia de que gran parte de los accidentes se dan en carreteras de buena calidad y autopistas, por lo que el factor trazado no parece influir de manera significativa.

Teniendo en cuenta la localización en España de los macizos kársticos, se aprecia que existe un peligro potencial de contaminación bastante claro, ya que tales formaciones están presentes en la región costera Valencia-Gerona y en las áreas industriales de Bilbao y Santander, donde se concentran la mayor parte de los accidentes.

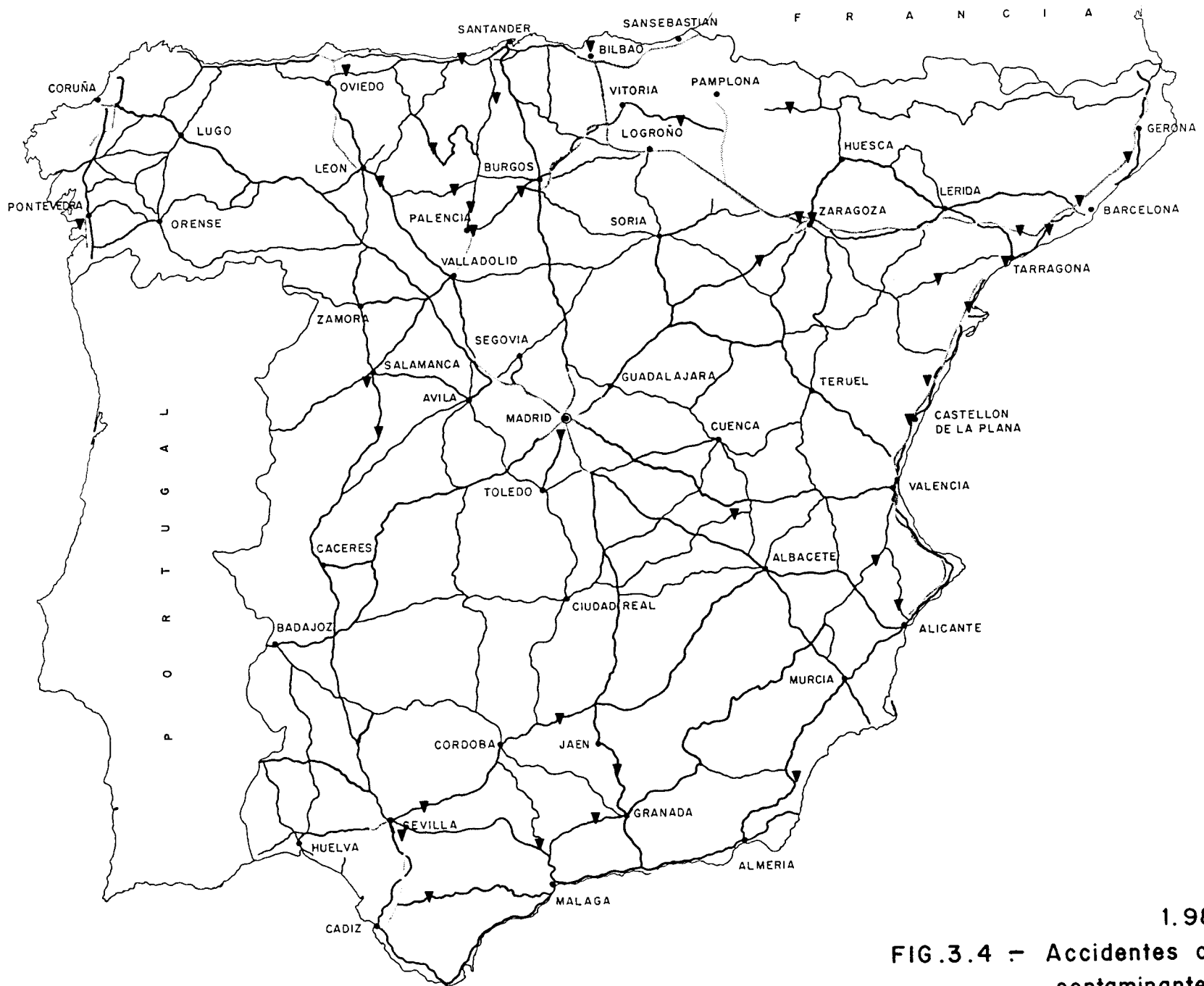
A pesar de esta circunstancia, parece que los efectos de contaminación de acuíferos no han sido importantes, probablemente por los pequeños volúmenes vertidos y por no haber coincidido éstos con zonas de fácil comunicación con los correspondientes acuíferos.



1.979  
 FIG. 3.2 = Accidentes con vertidos  
 contaminantes en 1.979

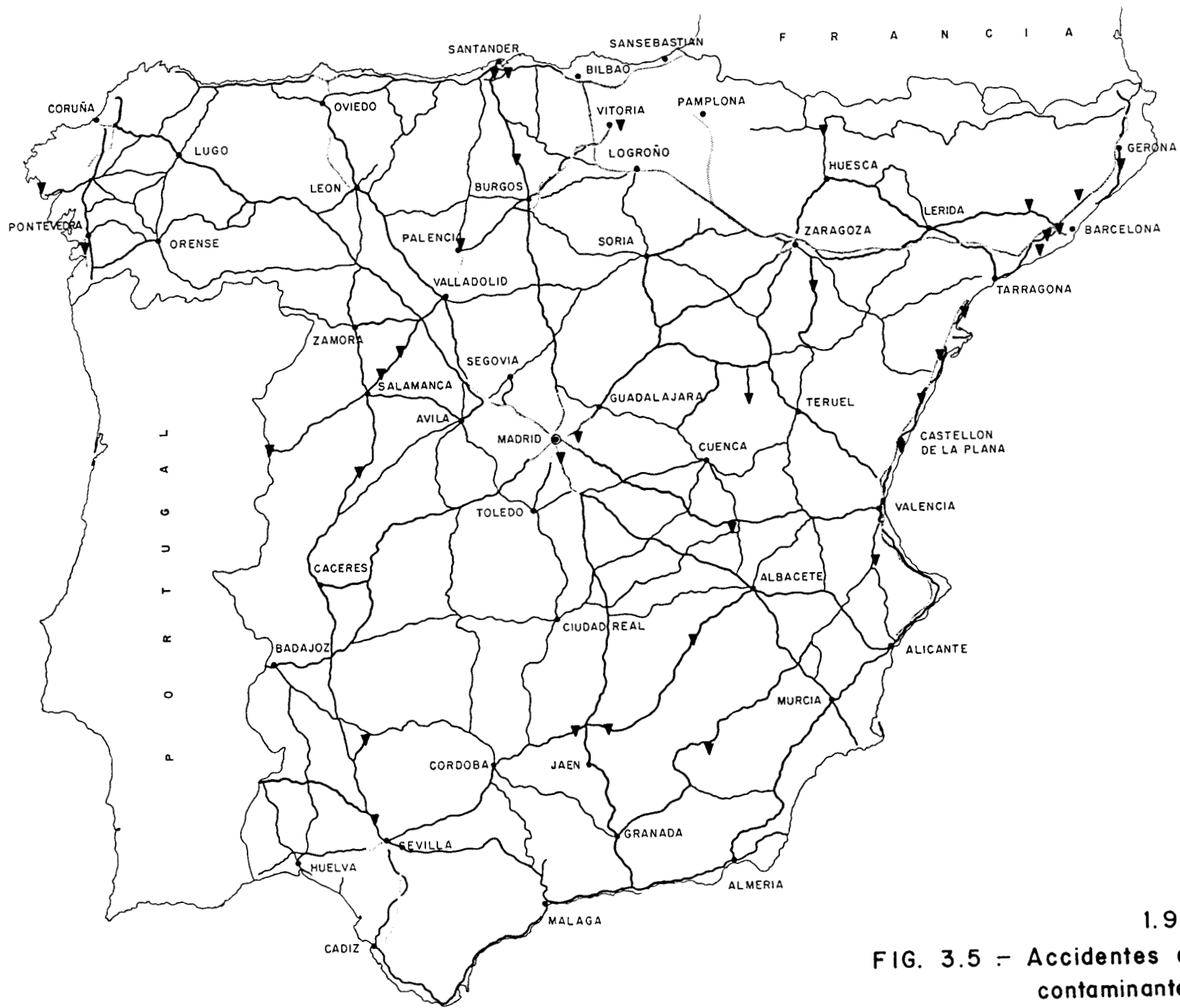


1.980  
 FIG. 3.3.- Accidentes con vertidos  
 contaminantes en 1.980



1.981

FIG.3.4 = Accidentes con vertidos contaminantes en 1.981



1.982  
 FIG. 3.5 - Accidentes con vertidos  
 contaminantes en 1.982

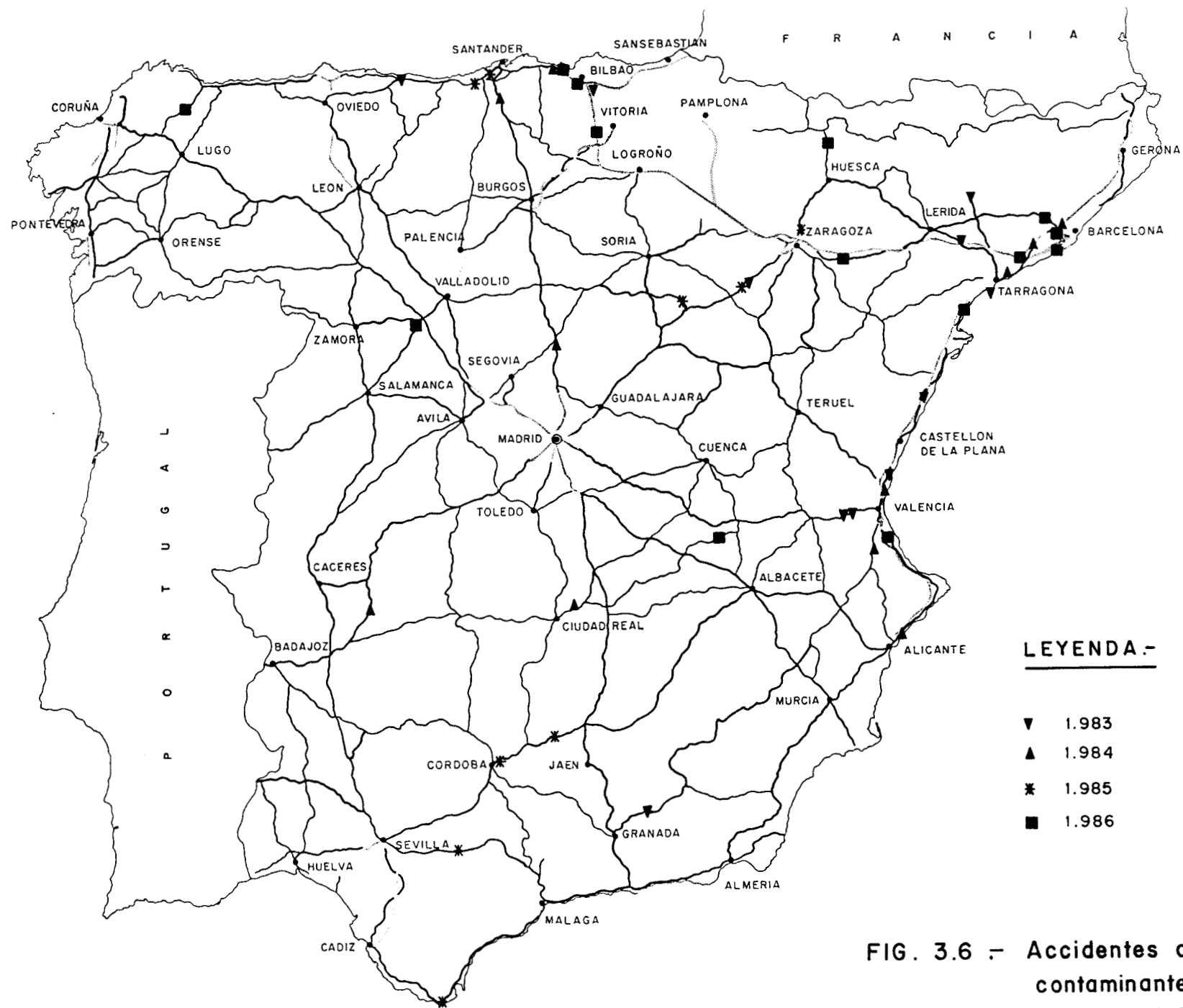


FIG. 3.6 - Accidentes con vertidos contaminantes de 1.983 a 1.986



#### 4. CARACTERISTICAS DE LOS ACUIFEROS KARSTICOS

De acuerdo con estudios recientes (Sáenz y Sanz 1988) da una estimación de 2.876 manantiales españoles con un caudal superior a 10 l/seg, 2.127 estarían en rocas carbonatadas. presumiblemente en macizos con distinto grado de karstificación. Las figuras 4.1. y 4.2. de los citados autores, muestran claramente la correspondencia de los manantiales con las zonas carbonatadas.

Sin embargo, estos manantiales distan mucho de estar estudiados, salvo algunos casos singulares, y se desconocen de ellos las principales características hidrogeológicas que podrían permitir un conocimiento a priori de los efectos de una determinada contaminación puntual. Por ello, queda un gran trabajo por hacer antes de juzgar la vulnerabilidad de tales acuíferos frente a fuentes potenciales de contaminación.

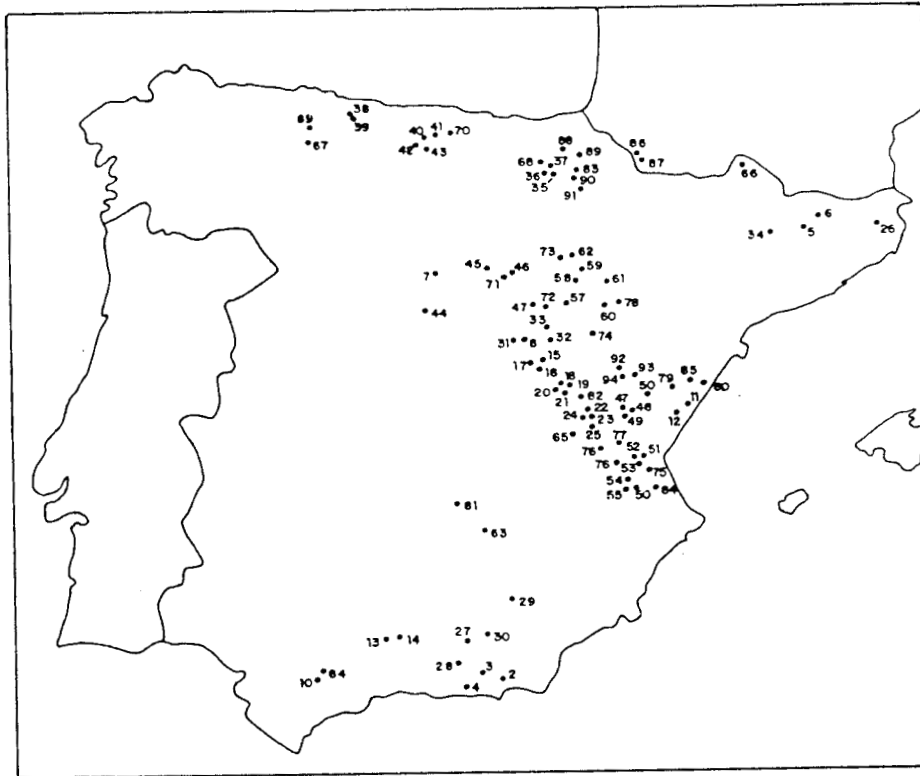
Las características de mayor interés al respecto, serían:

- Geometría de la cuenca subterránea
- Características estructurales de la cuenca de alimentación o de los afloramientos del macizo y de las distintas condiciones de protección del mismo.
- Volumen almacenado y balance hídrico relacionando con aquél las aportaciones y los caudales extraídos.
- Las características del flujo subterráneo en cuanto a velocidades, gradientes, etc.
- La existencia o no de sifones, estrechamientos o puntos singulares en los que sea posible establecer eventuales barreras.

Resulta evidente el elevado coste que supone la obtención de todos estos datos, sobre todo cuando se trata de cuencas muy extensas, en zonas poco accesibles, y cuando deba recurrirse a técnicas espeleológicas.

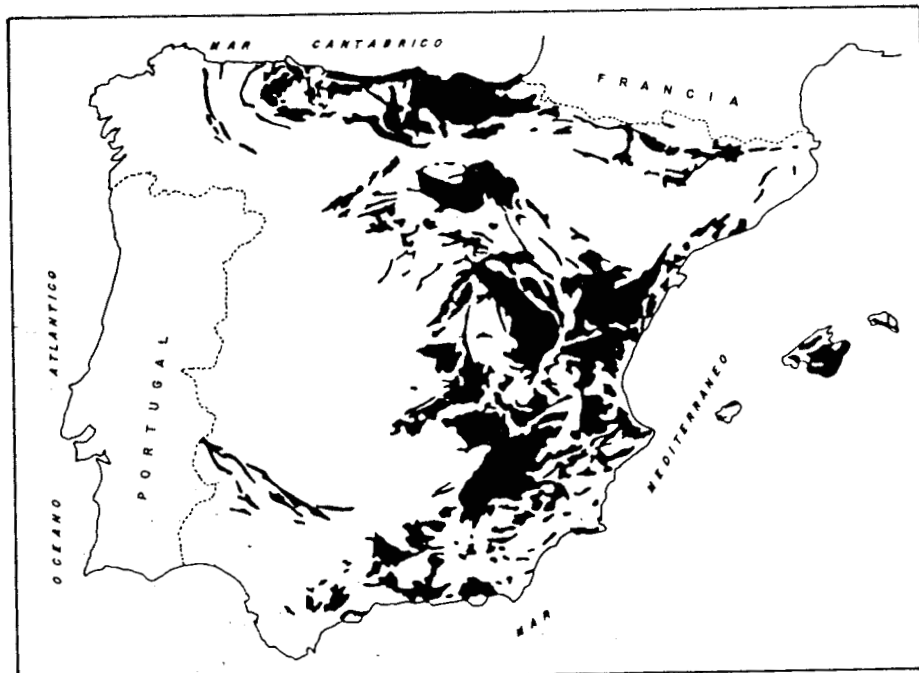
En la mayoría de los casos habría que contentarse con un estudio hidrogeológico somero, incluyendo:

- Inventario de pozos, manantiales o surgencias.
- Determinación puntual de niveles piezométricos.



LOS PRINCIPALES MANANTIALES DE ESPAÑA (Según inventario del IGME, 1986 y bibliografía existente). (Saenz Ridruejo, C.; Sanz Pérez, E., 1987)

FIG. 4.1



MAPA DE ACUIFEROS CARBONATADOS. (IG.M.E. en prensa)

FIG. 4.2

- Estimación de velocidades mediante trazadores.
- Análisis geoquímicos.
- Geología de superficie.

Con esta información podría hacerse una primera caracterización de los acuíferos y una delimitación de zonas de riesgo pero sería muy difícil llegar a una cuantificación de los efectos de un determinado contaminante, ya que para ello es necesario recurrir a sofisticados modelos de cálculo numérico.

Resulta interesante establecer ratios entre el volumen de la fuga contaminante y el almacenado en el acuífero, estudiando las características de difusión del primero, tanto en condiciones de reposo como en movimiento con el flujo natural o el forzado por la captación.

## 5. INDICES DE VULNERABILIDAD.

La tendencia actual se dirige hacia la determinación de los niveles de riesgos asociados al transporte por los distintos itinerarios, con objeto de caracterizar los mismos y realizar una aplicación escalonada de medidas preventivas.

Puede decirse que estas técnicas se encuentran aún en un estado muy primario y sólo se conocen algunas aplicaciones experimentales.

Por lo que respecta a nuestro país, una posible metodología sería la siguiente:

- Encuesta sobre los itinerarios, origen y destino de las diversas clases de mercancías peligrosas. La última encuesta de este tipo fue la realizada por INECO en 1978, y a ello pertenece el Cuadro 5.1. Puede esperarse que se mantengan en la actualidad los mismos tramos e itinerarios como más cargados.
- Tramificación de los citados itinerarios según atraviesen:
  - Zonas no karstificadas
  - Zonas karstificadas recubiertas
  - Zonas karstificadas accesibles
 cada una de ellas en distintos grados de vulnerabilidad.
- Análisis selectivos de la siniestralidad general en dichos itinerarios y en especial de la de mercancías peligrosas. Este análisis podría cubrir los datos de los 10 últimos años con atención especial a:
  - Tipo de accidente
  - Tipo de contaminante
  - Daños producidos
  - Influencia de la carretera
  - Influencia de los vehículos
  - Grado de protección de la zona
- De este análisis pueden obtenerse las características estadísticas de los accidentes y las distintas correlaciones entre los factores implicados (carretera-vehículo-

-itinerario, etc.)

- Mediante técnicas estadísticas puede obtenerse la probabilidad de ocurrencia de uno ó más accidentes en un determinado itinerario y en un período dado. Este análisis podría hacerse para los hidrocarburos como mercancía más común pero también podría extenderse a cualquier otro tipo de producto.

CUADRO 5.1.

TRAMOS E ITINERARIOS CON MAYOR TRAFICO POR CARRETERA  
(EN TONELAJE PONDERADO)

- San Andrés-Martorell-Villafranca Penedés-Arbo:	}	1.500.000 T.P.		
- Bilbao-Basauri-Arrigorriaga-Llodio-Vitoria-Comunión-Miranda:				
- Bilbao-Santurce:	}	Entre 1.000.000 y 1.500.000 T.P.		
- Ocaña-Aranjuez-Valdemoro-Pinto-Villaverde-Madrid:				
- Arbos-S. Vicente-Pobla-Tarragona-Vilaseca:				
- Barcelona-S. Andrés:				
- Mollet-Parets-Granollers:				
- Huelva-S. Juan del Puerto-Niebla-Sevilla:				
- Puertollano-Ciudad Real-Daimiel:				
- Valencia-Sagunto:				
- Soses-Alfajarín-Zaragoza:				
- Bilbao-Somorrostro-Onton-Castro Urdiales-Maliaño-Santander-Torrelavega:			}	Entre 500.000 y 1.000.000 T.P.
- Oviedo-Lugones-Villabona-Serín:				
- Madrid-S. Sebastián de los Reyes-Cerezo-Miranda-Sarracin-Burgos:				
- Barcelona-Moncada-Mollet:				
- Granollers-Cardedeu-S. Celoni-Massanet-Caldas-Gerona:				
- Coruña-El Burgo-Betanzos-Bahamonde:				
- Valladolid-Venta de Baños:				
- Burgos-Pancorbo-Miranda-Fuenmayor-Logroño-Agoncillo-El Villar-Tudela-Cortes-Gallur-Zaragoza:	}	Entre 500.000 y 1.000.000 T.P.		
- Daimiel-Puerto Lápice-Ocaña:				
- Alicante-Grao de Gandia-Benifayó-Valencia:				
- Sagunto-Castellón-Benicarló-Amposta-Hospital del Infante-Vilaseca:				
- Soses-Tarrés-Arbós:				
- Tarrés-Plana de Picamoix-Tarragona:				
- Valencia-Manises-Buñol-Requena-Albacete-Manzanares:				
- Murcia-Cartagena-Alumbres:				
- Villa del Río-El Carpio-Alcolea-Córdoba-Vallchillón-Ecija-Fuentes-Carmona-Sevilla:				

Fuente: INECO, 1978

- En función de las probabilidades de accidente, podrían elaborarse índices ponderados para cada uno de los itinerarios. Por encima de un determinado nivel de peligrosidad ciertos itinerarios deberían prohibirse al tráfico de mercancías peligrosas y en otros deberían adoptarse medidas preventivas oportunas.

### 5.1. La propagación de los contaminantes

Normalmente el camino seguido por los contaminantes comprende una limitada extensión superficial, seguida de la infiltración vertical en el terreno y el transporte subterráneo con el agua del acuífero.

La presencia de un recubrimiento puede ser muy eficaz si éstos tienen una potencia suficiente (superior a 1,50 m) y una permeabilidad baja ( $k$  menor de  $10^{-5}$  cm/seg, característica de los limos compactos o suelos arcillosos).

Debe tenerse en cuenta sin embargo que la permeabilidad de los suelos al agua no es igual frente a productos orgánicos y el paso de éstos puede producir diversas alteraciones en la estructura de los suelos que aumente la permeabilidad en uno ó dos órdenes de magnitud (Fernández y Quigley, 1985).

Una vez alcanzado el macizo carbonatado, éste puede presentar en superficie poros, fisuras auténticas cavidades y grietas de muy grande permeabilidad, permitiendo una comunicación directa con el agua subterránea.

Se ha discutido mucho sobre la capacidad de retención y depuración del terreno al paso de contaminantes, no siendo posible dar reglas generales, ya que dichas propiedades dependen del tipo de producto. En principio, esto depende de la longitud del camino recorrido y del tipo de suelo, pero sobre todo del tipo de contaminante.

Una vez alcanzado el acuífero existe un fenómeno de propagación hidráulica, función de la velocidad del flujo subterráneo, y otro de difusión que se produce incluso en ausencia de movimiento.

A este respecto tiene gran importancia la miscibilidad del producto con el agua. Los hidrocarburos, por ejemplo, tienden a sobrenadar, formando

películas más o menos gruesas sobre el agua, las cuales pueden separarse por medios mecánicos.

El contacto con agua en movimiento y las oscilaciones del nivel freático favorecen la movilización de ciertos compuestos solubles del petróleo cuya presencia, aunque no es nociva, puede dar un mal gusto y un olor desagradable al agua.

La solubilidad de los hidrocarburos en el agua depende de su naturaleza. Los compuestos ligeros son relativamente solubles, muy volátiles y normalmente biodegradables. Los productos pesados son muy poco solubles, pero en general tienen pocos efectos organolépticos; los productos intermedios, como los que se encuentran en los fuels ligeros y en el petróleo bruto son los más perjudiciales para la calidad de las aguas. Cuanto mayor sea la velocidad del agua, mayor es la incorporación de los hidrocarburos a la misma y más pequeña la capa sobrenadante, la cual puede llegar a desaparecer completamente.

Por lo que respecta a la difusión de contaminantes, la velocidad de difusión de los mismos es muy variada. Así por ejemplo el cloruro de metileno tiene una difusión muy rápida mientras que el DDT se difunde muy lentamente y el tricloroetileno es de carácter intermedio. El conocimiento de estas velocidades de difusión es importante para conocer cuando se alcanzará una concentración límite en un determinado punto, con lo que se condiciona la celeridad y el tipo de los posibles tratamientos.

Sin embargo, el problema es difícil de estimar numéricamente, ya que depende de la geometría del acuífero y de las variaciones de volumen o caudal a lo largo del mismo. La temperatura también puede ser en algunos casos un modificador de la velocidad de difusión.

Únicamente mediante pruebas con trazadores de difusibilidad análoga



a la del producto contaminante, puede conseguirse una estimación realista, pero dadas las variaciones estacionales en las condiciones del flujo, habría que realizar pruebas en distintas épocas del año, lo cual aún complica más la predicción.

Debe señalarse que la tortuosidad de los canales kársticos puede ser favorable respecto a la retención de hidrocarburos y algunos otros contaminantes.

Unos de los pocos casos citados en la literatura (Bosset 1978) relata el caso de un camión cisterna que perdió 10.000 l de nafta en una pendiente de 20 m. de altura. La mayor parte del producto se infiltró en calizas karstificadas en una superficie de 2 x 30 m. En el mismo macizo hidrogeológico se encontraba a una distancia de 430 m., un manantial con un caudal de 25 a 30 l/seg que alimentaba a una comunidad de 9.000 habitantes.

Se hizo un sondeo al pie de la pendiente de 89 m. de profundidad, apareciendo el nivel freático a 9 m. Mediante bombeo se extrajeron caudales de agua de 1,7 l/seg. con fuerte olor a nafta, pero con un volumen total muy inferior al del material derramado. En la surgencia no aparecieron ni siquiera indicios de dicho material, por lo que se llegó a la conclusión de que éste había quedado retenido en los sifones del sistema kárstico.

La mayor parte de las estimaciones actuales de peligrosidad son de carácter relativo, es decir, una estimación numérica por la cual se puede establecer la relación entre dos sucesos. El resultado final sería que el itinerario A fuera mejor o peor o más o menos seguro que el itinerario B.

El riesgo absoluto es una medida directa del mismo, por ejemplo una estimación del número de personas que resultarían muertas o heridas, el coste económico de los daños, o valoración del impacto ecológico y ambiental. Aunque esta aproximación es la más deseable, resulta muy difícil de conseguir. no obstante debe buscarse una medida del riesgo que tienda a este carácter absoluto y sirva para estimar el grado de seguridad existente frente a una catástrofe potencial.

Resulta evidente la utilidad que este tipo de informaciones tiene para Ayuntamientos, Guardia Civil, jefes de policía o bomberos e incluso conductores de camiones dedicados al transporte de mercancías peligrosas.

Entre los posibles modelos a utilizar es interesante el de Scanlon y Cantilli (1985).

Los elementos básicos del modelo son el riesgo de la comunicación (RC) y el nivel de medidas preventivas (NP).

El índice RC se obtiene formulando el nivel de riesgo de un accidente de carretera (RLv), el riesgo de un accidente de mercancías peligrosas (RLmp), el nivel de tráfico (NT) y otros factores de riesgo de la comunidad.

El nivel de tráfico se establece por relación directa con la intensidad media diaria (IMD). Se tiene además.

$$RLv = NT ( Ni \text{ ó } Na + Nch + Ncv + Tp + Tm + Npp + Ts )$$

Donde.

Ni = nº de intersecciones por kilómetro.

Na = nº de entradas y salidas por kilómetro.

Nch = nº de curvas horizontales por kilómetro.

Ncv = nº de curvas verticales por kilómetro

Tp = Estado del pavimento (por ejemplo mediante los usuales índices de servicio)

Tm = Tipo de medianas (variando desde 1 = barrera correctora bien mantenida e instalada, a 10 = sin barrera y ancho de mediana inferior a 6m)

Npp = nº de peligros potenciales junto a la carretera (p. ejemplo, en una escala de 1 a 10, 1 = ausencia de peligros, 9 m libres de obstáculos o muros lisos, y 10 = 20 ó 30 peligros potenciales primarios o secundarios, o una combinación de ambos)

Ts = Estado de la señalización (desde 1 = excelente a 10 = muy deficiente)

En estas condiciones el nivel de riesgo de accidente con mercancías peligrosas se puede expresar por:

$$RL_{mp} = RL_v (P_{ex} \cdot 5,5 + P_h \cdot 2,5 + P_{gc} \cdot 4,0 + P_c \cdot 1,0 + P_v \cdot 1,0) \cdot C_v \cdot C_c$$

Donde:

P<sub>ex</sub> = Porcentaje de la IMD de vehículos con explosivos

P<sub>h</sub> = id. de vehículos con líquidos inflamables

P<sub>gc</sub> = id. de vehículos con gases comprimidos

P<sub>c</sub> = id. con productos corrosivos

P<sub>v</sub> = id. con productos venenosos

$C_v$  = Estado del vehículo, incluyendo su antigüedad y conservación, sistema de frenos, estado de neumáticos, calidad de la cisterna, forma de carga, etc.

$C_c$  = Calidad de conductor (experiencia, historia de accidentes, conocimiento de las normas y de las actuaciones en caso de accidente, información sobre el riesgo de los materiales que transporta, etc.)

Los coeficientes se basan en los efectos comparativos de un posible accidente. Lógicamente variarían si el impacto considerado se refiere a la contaminación de acuíferos.

Se obtendría finalmente:

$$RC = RLmp ( Dp = Np + V\$ + Ni )$$

Donde:

$Dp$  = Densidad de población de las zonas afectadas

$Np$  = nº de personas u organismos involucrados en el transporte de materiales peligrosos (productores, almacenistas, usuarios, etc.)

$V\$$  = Valor económico de las propiedades dañadas

$Ni$  = nº de instalaciones de gran susceptibilidad (por ejemplo escuelas, hospitales, iglesias, guarderías, bibliotecas, mercados, zonas de uso público)

El NP se formula de la manera siguiente:

$$NP = Nr + Naj$$

Donde:

Nr = Es el nivel de capacidad de respuesta ante la emergencia (entrenamiento, equipo, medios de comunicación y transporte, energía, capacidad de evacuación, tiempo de respuesta, planificación, etc.). Las medidas preventivas incluyendo servicios de bomberos, policía, hospitales, obras públicas y personal contratado.

Naj= Es el nivel de ajuste al problema, incluyendo el entrenamiento del personal, el número de inspecciones en las carreteras, el número de infracciones, el historial de accidentes, y la estructura legal de multas y penalizaciones.

Combinando NP y RC, se obtiene un índice global del grado de seguridad de que disfruta una determinada comunidad, Cs

$$Cs = NP/RC$$

El valor de CS, como cociente de NP y RC reflejará el grado de seguridad frente al transporte de mercancías peligrosas. Por ejemplo, valores entre 1 y 5 de NP, siendo 5 el mejor valor, y entre 0,1 y 1 de RC, siendo 1 el peor valor, da lugar a los siguientes valores de CS:

En el peor caso CS = 1 y en el mejor CS = 50.

Si se dan valores a los componentes de Cs se puede obtener gráficamente el significado de Cs. Podría elegirse un "umbral crítico", para representar niveles inaceptables (a la comunidad) de muertos, heridos y/o destrucción de bienes materiales o del medio ambiente. Si por ejemplo se sitúa en 25 el valor típico de Cs, es evidente que una reducción del riesgo tiene un efecto mucho mayor sobre la seguridad general que un aumento en el nivel de medidas preventivas.

Otro modelo de valoración del riesgo es el propuesto por Pijawka, et al. (1985), utilizando el índice de peligrosidad potencial (PHR potencial hazard rating"). Este índice es una medida del peligro potencial planteado por

el transporte de mercancías peligrosas y se basa en 2 factores de riesgo.

- 1) El volumen de mercancías de cada clase transportadas
- 2) La distancia de evacuación necesaria

Considerando el simple planteamiento numérico y el riesgo de contaminación de acuíferos podría sustituirse la distancia de evacuación, por el espacio recorrido por el contaminante en un periodo de tiempo determinado, llegando a formulaciones análogas. El índice PHR se calcula para cada itinerario y para cada clase de producto, sumando los índices correspondientes a todas las clases.

En general el índice PHR, se combina con otros factores para obtener el riesgo global de un determinado itinerario (R), según la expresión:

$$R = F \cdot PHR \cdot IA \cdot PR$$

Siendo:

R = Riesgo global del transporte de mercancías peligrosas en un itinerario concreto.

F = nº de fugas de contaminantes que han ocurrido en el itinerario

IA = Índice de accidentes del itinerario

PR = Población afectada por cualquier fuga a lo largo del itinerario.

## 6. MEDIDAS PREVENTIVAS

### 6.1. Condiciones del transporte

No entraremos en todas las medidas conducentes a mejorar la seguridad de los vehículos de transporte haciéndolos más resistentes a impactos o accidentes de cualquier tipo, ni en las campañas de formación de conductores de este tipo de mercancías, pero no cabe duda que todas ellas están produciendo una reducción considerable en el número de accidentes.

Las tendencias modernas en cuanto al uso de la carretera por estos vehículos se concretan en medidas muy diversas entre las que pueden enumerarse las siguientes:

#### a) Selección de los itinerarios

Con frecuencia creciente se están adoptando itinerarios selectivos que evitan el paso por puntos de alto riesgo potencial, como ciudades, zonas urbanizadas, etc. Por el momento aún no se ha incluido la protección de acuíferos pero también debería ser un criterio excluyente en algunos casos.

#### b) Señalización

Existen diversas propuestas de señalización prohibiendo el paso de mercancías peligrosas por determinados tramos. Pueden citarse las señales de la Convención de Viena de las Naciones Unidas y la reciente propuesta de la C.E.M.T., así como la señalización utilizada en Canadá y Estados Unidos (ver figuras 6.1 / 6.3).

En Holanda se ha optado por señalar aquellos itinerarios obligatorios para las mercancías peligrosas, no existiendo limitaciones en las autopistas. En Noruega existen guías de carreteras con las limitaciones correspondientes a cada tramo.

Sin embargo, habida cuenta de que se tiende a fijar previamente los itinerarios en el permiso de transporte, la señalización parece supérflua, a no

CONVENCION DE LAS NACIONES UNIDAS



Prohibido el paso a vehiculos transportando mas de una cierta cantidad de explosivos o de productos facilmente inflamable



Prohibido el paso a vehiculos transportando productos capaces de contaminar las aguas

PROPUESTA DE LA CEMT



FIG.6.1.- Señales europeas



Itinerario para mercancías  
peligrosas



Prohibida la circulación de  
mercancías peligrosas



FIG. 6.2.- Señales del Canada.

Itinerario para mercancías  
peligrosas



Prohibida la circulación de  
mercancías peligrosas



FIG. 6.3.- Señales de EE - UU.

ser para transportes piratas o en redes de distribución de pequeño recorrido.

c) Mejora de las condiciones geométricas de las carreteras

El diseño geométrico, los accesos, las pendientes, las curvas, la anchura de carriles, las barreras de seguridad, etc., son importantes en la reducción de accidentes y en sus consecuencias, por lo que debe seguirse una política de mejora viaria en los itinerarios de mayor tráfico de mercancías peligrosas, sobre todo en los puntos negros por la frecuencia de accidentes. Desgraciadamente este tipo de mejoras sólo están dictadas por el tráfico general, sin criterios específicos respecto al transporte de mercancías.

Puede señalarse que desde el punto de vista de la contaminación de acuíferos, las medidas a adoptar podrían diferir de las tradicionales. Por ejemplo para excluir totalmente la salida de un vehículo de la calzada, las barreras metálicas de seguridad proporcionan una protección insuficiente, siendo necesario recurrir a muros masivos de hormigón que puedan soportar el impacto del camión y devolverlo hacia la calzada, así como retener los vertidos.

## 6.2. Protección del acuífero

Es importante que los acuíferos de abastecimiento sean conocidos hidrogeológicamente por explotadores. Así, podrán definirse distintas zonas de protección o vulnerabilidad.

Por ejemplo, en Suiza, se distinguen las siguientes zonas:

Zona I: Situada en las proximidades de la captación y sometida a una protección absoluta frente a la penetración de contaminantes.

Zona II ó de protección media, adyacente a la anterior, y sometida a vigilancia.

Zona III ó exterior, con restricciones poco severas y en las que la contaminación puede ser controlable sin medidas excepcionales.

Excluyendo el transporte por la Zona I, las medidas preventivas a adoptar en las otras dos zonas, son muy variables, pudiendo citarse las siguientes:

- Colocación de pavimentos estancos y resistentes a los hidrocarburos, tanto en calzadas como zonas de parada, arceles y cunetas. (fig. 6.4.)
- Evacuación de las aguas de escorrentía del conjunto de la carretera mediante canalizaciones estancadas.
- Según los riesgos de polución y el caudal de estiaje en el exutorio, conexión de las canalizaciones a separadores de aceites o a cuencos de paredes móviles para retención de hidrocarburos. (fig. 6.5.)
- Instalación de barreras de seguridad en la mediana y de bordillos altos o muros en los bordes de la carretera.

En el caso de circunstancias especialmente desfavorables (nivel freático somero, gran permeabilidad del terreno, proximidad de la captación etc.), deberán tomarse medidas especiales como puede ser la colocación sobre el terreno de mantos de estanqueidad, sellado de fisuras, recubrimientos de arcilla etc.

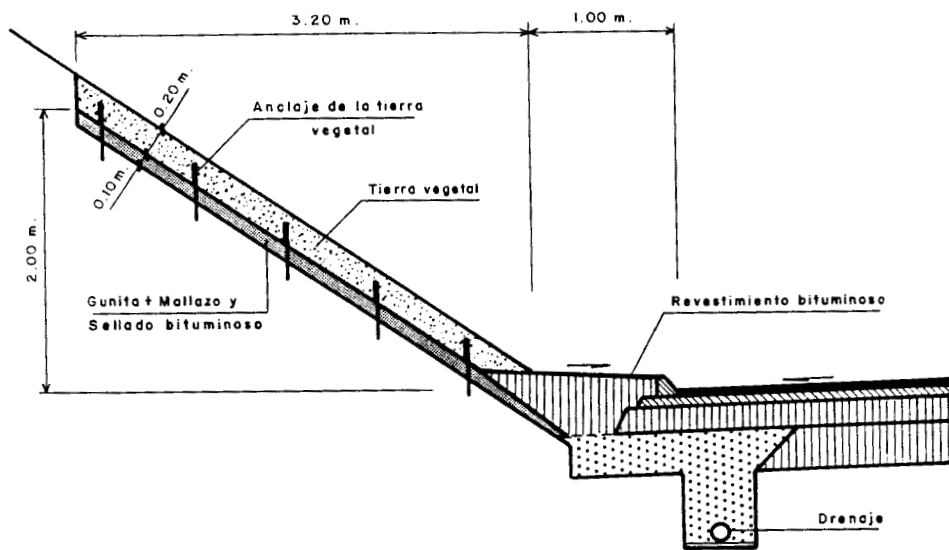


FIG. 6.4.- Seccion en desmonte con barrera impermeable.

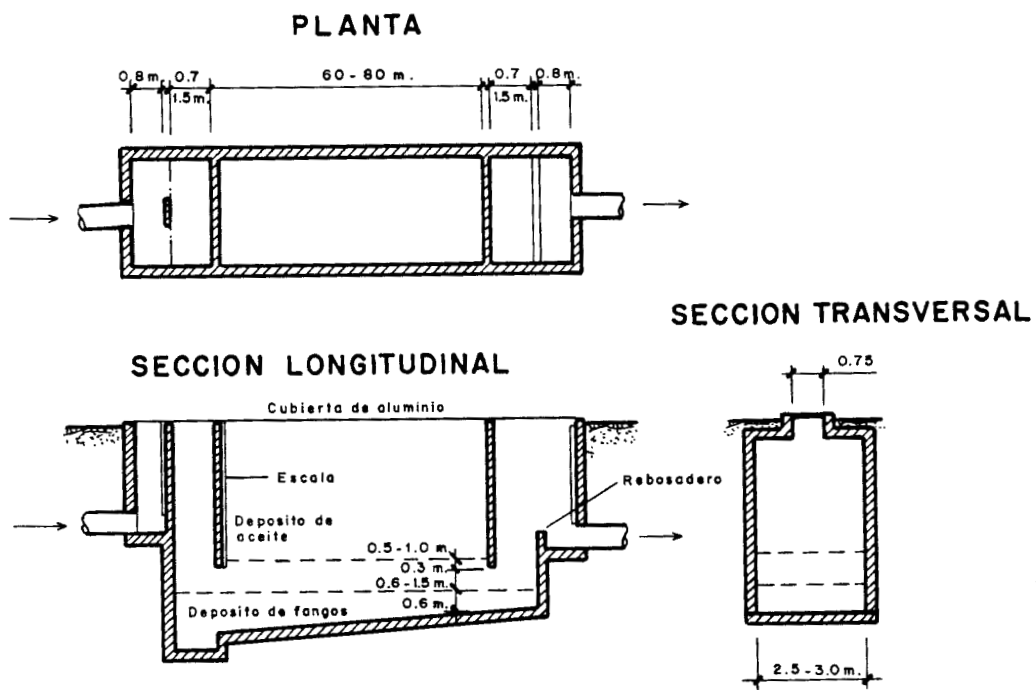


FIG. 6.5.- Separador de aceites

## 7. MEDIDAS POSTERIORES AL ACCIDENTE

### 7.1. Introducción

Una vez ocurrido el accidente es importante adoptar medidas rápidas y eficaces dentro de un plan previamente establecido y ensayado.

Evidentemente, la primera intervención debe ser la retirada de los vehículos accidentados, pero esto suele plantear por un lado problemas de tipo judicial y de levantamiento de atestados y por otro no siempre se dispone de los medios mecánicos para levantar los importantes pesos que suelen estar implicados. En algunos casos, el acceso a la zona queda cortado o puede ser necesario recurrir a personal dotado de equipos especiales en razón de los gases desprendidos, extinción de incendios, ayuda sanitaria, etc.

Simultáneamente con estas actuaciones debe iniciarse la alerta a la zona afectada y las medidas de eliminación o regeneración del terreno contaminado.

Existen unas "Instrucciones de intervención para el caso de accidentes de transporte de mercancías peligrosas por carretera", publicadas en 1986 por la D.G. de Protección Civil y la D.G. de Transportes Terrestres, en las que se detallan, por tipo de producto, las medidas a adoptar en caso de accidente, los equipos de protección, las actuaciones según se haya producido o no incendio, primeros auxilios, etc.

### 7.2. Medidas de alerta

Con la máxima celeridad deben suspenderse los bombeos y captaciones del acuífero afectado en un radio que depende de la transmisividad del mismo y del volumen de la fuga respecto al volumen almacenado en el entorno

de la misma. En principio puede hablarse de un radio de acción entre 250 y 500 m. el cual lógicamente aumentará con el tiempo que pase entre el accidente y la adopción de medidas.

Simultáneamente deben iniciarse los controles mediante análisis de la difusión del contaminante en la red de distribución de agua potable, comenzando por la toma o el manantial, siguiendo por los depósitos principales, estaciones de depuración, depósitos secundarios, etc. Si la contaminación estuviera suficientemente avanzada como para llegar a la red de consumo, deberá prohibirse el mismo proporcionando medios de abastecimiento alternativos.

Se comprende que la rapidez es esencial en este proceso y que cualquier demora puede acarrear daños irreparables.

### 7.3. Actuaciones sobre el terreno y el acuífero kárstico

Puede contemplarse medidas muy diversas, pero la mayor parte de ellas es necesario disponer de maquinaria de obras públicas, equipos de sondeo, etc., lo cual no siempre es fácil en determinadas áreas. Señalemos de forma no exhaustiva las medidas siguientes:

- a) Excavación y retirada del terreno impregnado (fig. 7.1.). Esto debe hacerse hasta una profundidad en la que ya los residuos de contaminante sean despreciables, bien mediante la observación organoléptica o los oportunos análisis. Los productos de excavación se llevarán fuera de la zona de alimentación del acuífero y se tratarán con el fin de destruir el contaminante. En el caso de combustibles, gasoil o lubricantes, se incinerarán en hornos de cementera o de productos cerámicos, mientras que los productos petrolíferos podrán incinerarse al aire libre.

En el caso de camiones abiertos se procurará recubrir la caja de los mismos con una lámina plástica impermeable con objeto de evitar fugas. Los acopios temporales se cubrirán también con láminas impermeables si existe riesgo de lixiviado por aguas de lluvia.

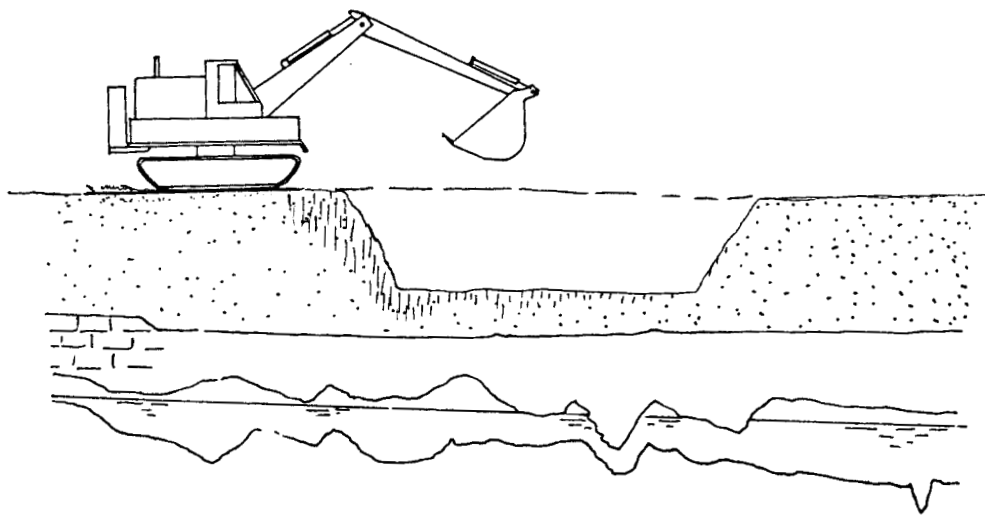


FIG. 7.1.- Excavación del recubrimiento impregnado

Evidentemente en el caso de que la formación calcárea aflore en superficie no será posible la excavación, debiendo procederse a otro tipo de medidas.

- b) Creación de barreras a la progresión del contaminante. (fig 7.2.). Si se conoce o estima la velocidad de avance de la contaminación en el acuífero, puede construirse por delante del penacho una barrera interceptora del flujo. En terreno ripable esto puede conseguirse mediante un tablestacado, una pantalla de bentonita, etc. Sin embargo, en formaciones calcáreas esto resulta mucho más difícil, salvo en el caso de conductos relativamente accesibles y claramente definidos en los cuales puede inyectarse un tapón que obture e interrumpa el flujo. Estos tapones son especialmente difíciles cuando los conductos son de grandes dimensiones, debiendo recurrir a pozos o perforaciones importantes, e incluso en algunos casos a trabajos mineros accediendo a la red kárstica y cegando la misma por ejemplo mediante sacos de cemento, gaviones inyectados, etc.
  
- c) Extracción por bombeo del agua contaminada. (Fig. 7.3.). Cuando el agua ha alcanzado el acuífero, una extracción total del agua al llegar a un punto de control, podría permitir extraer el contaminante mezclado con la misma. Sin embargo, de no haberse estudiado previamente, es imposible acertar con estas secciones singulares y por tanto el bombeo puede, por un lado forzar los gradientes y por tanto el avance de la contaminación y, por otro, extraer una mínima parte del contaminante, dejando pasar el resto. Esta solución puede ser útil sin embargo si se combina con una ataguía subterránea que detenga temporalmente el flujo en las proximidades del punto de bombeo. Con determinados productos como los hidrocarburos que flotan en el agua puede realizarse un bombeo selectivo del producto sobrenadante, minimizando la parte mezclada con el agua de consumo.
  
- d) Mover el flujo freático en contra del sentido natural, invirtiendo el avance de contaminante. (fig. 7.4.). Ello puede hacerse con un pozo de bombeo próximo al punto del accidente y forzando la depresión de manera que el sentido de circulación del agua sea hacia dicho pozo, en lugar de hacia el manantial.



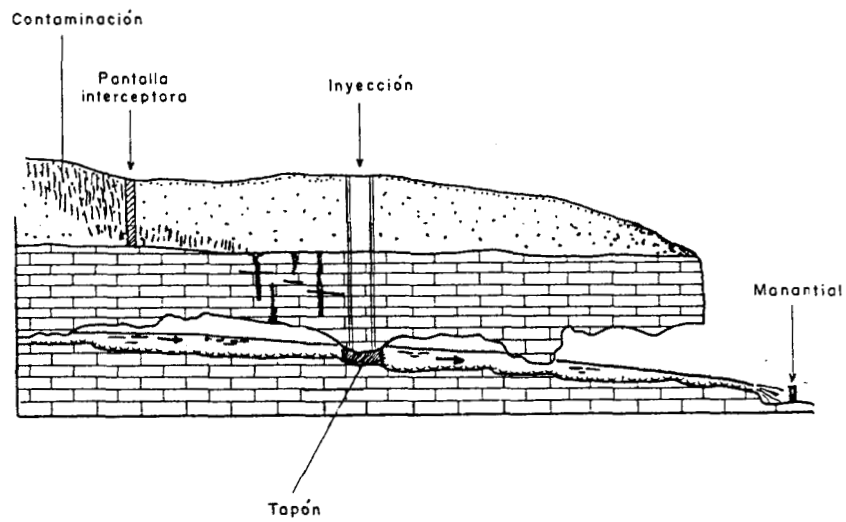


FIG.7.2.- Creación de barreras al avance del contaminante

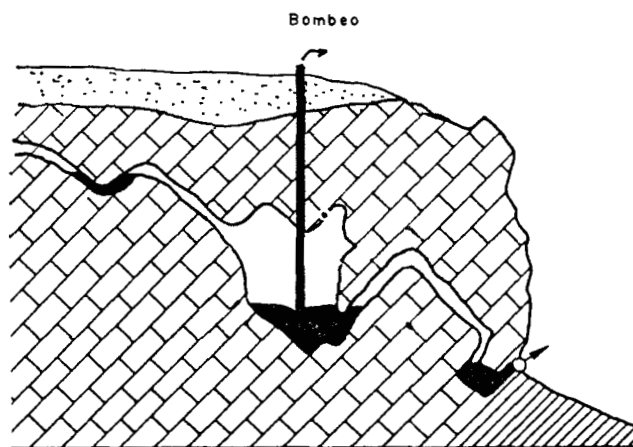


FIG. 7.3.- Extracción del agua contaminada de alimentación de una fuente intermitente

- e) Creación de una barrera de agua infiltrando aguas abajo del accidente, mediante pozos de recarga o similares, agua no contaminada que frene el avance del penacho (fig. 7.5.). Esta es una solución de éxito dudoso y que sólo puede contemplarse cuando existe agua abundante, se conoce la red kárstica y existe tiempo suficiente para construir los taladros de recarga.

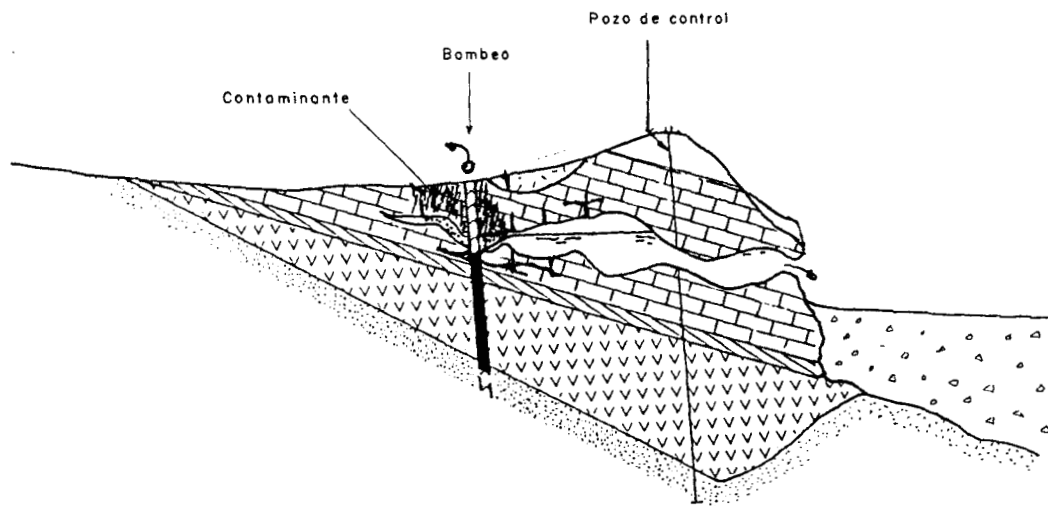


FIG. 7.4.- Inversión del sentido del flujo mediante bombeo aguas arriba

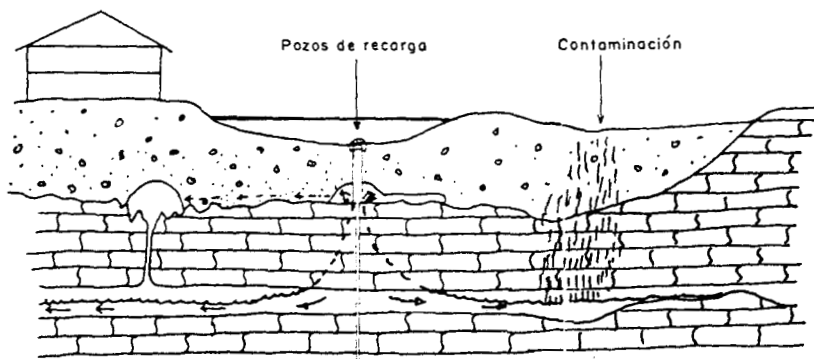


FIG. 7.5.- Barrera hidraulica mediante pozos de recarga

## 8. BIBLIOGRAFIA

- ABRASSART, F. (1979): "Etudes d'impact de tracés autoroutiers".  
Colloquio Nacional de Lujo, BRGM, Tomo 1, p.1-12.
- BECK, B.F. Y WILSON, W.L. (1987): "Karst hydrogeology"  
Orlando, Ed. Balkema, 467 p.
- BERGUE, J-M. et al. (1986): "La pollution des sols par les hydrocarbures". Bull.  
Lias. L'alr. Ponts et Ch, nº 146, Nov.-Dic; p.57-66.
- BOSSET, E (1978) = "Pollution de terrains aquiferos par hydrocarbures; Prevention  
et assainissement". Sympoñ Road Drainage OCDE, Paris, p-418-436.
- FAO-IGME (1975): "Contaminación de las Aguas Subterranas". 219 p.
- FERNANDEZ, F. y QUIGLEY, R.M. (1985): "Hydraulic conductivity of natural  
clays permeated with simple liquid hydrocarbons". Can. Geot. J.,  
Vol. 22, nº 2, Mayo, p. 205-214.
- HAMILL, L y BELL, F. G. (1987): "Groundwater pollution and public health in  
Great Britain". Bull AIGI, nº 35, p. 71-78.
- IGME (1985): "Calidad y contaminación de las aguas subterranas en España",  
Informe de Sintesis. 3 Tomos.
- IGME (1976): "Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los mantos acuiferos".  
E. 1/1000000, 2ª Ed.

I.G.M.E. (1987): "Boletín Geológico y Minero", Tomo 98, Fascículo VI, 187 p.

INECO (1978): "Flujo de mercancías peligrosas". Informe no publicado.

KAPLAN, E. y MEINHOLD, A (1987): "Managing Ground Water Data". en  
"Detection, Control and Renovation of Contaminated Ground Water"  
Ed. Dee, McTernan y Kaplan. ASCE, New Jersey, p-74-99

O.C.D.E. (1988): "Transport routier de merchandeses dangereuses", 153 p.

PIJAWKA, K.D. et al (1985): "Risk assessment of transporting hazardous materials"  
Route analysis and hazard management" Transp Res. Record. 1020,  
p.1-6.

SANZ PEREZ, E. MEINHOLD, A, (1987): "El Karst del Sur y Oeste del Moncayo".  
Boletín de Informaciones y Estudios, nº 47 del S.G.O.P., 159 p.

SCANLON, R.D. y CANTILLI, E.J. (1985): "Assessing the risk and safety in the  
Transportation of hazardous materials" Transp. Res. Record. 1020,  
p-6-11.

S.G.O.P. (1986): "Recarga artificial de acuíferos", Boletín de Informaciones y  
Estudios, nº 45, 134 p.

ANEXO

CONTAMINACION DE ACUIFEROS KARSTICOS POR VETIDOS  
ACCIDENTALES

ANEXO

PROPUESTA DE DIRECTRICES DE PROTECCION CIVIL

CONTAMINACION DE ACUIFEROS KARSTICOS POR  
VERTIDOS ACCIDENTALES

INDICE

Pag.

1.- INTRODUCCION	59.
2.- CARACTERIZACION DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUIFERO	60.
3.- MEDIDAS PREVENTIVAS	63.
3.1. Mejora de las condiciones de transporte	63.
3.2. Protección del acuífero	63.
4.- ACTUACIONES POSTERIORES AL ACCIDENTE	65.

## ELABORACION DE DIRECTRICES DE RIESGOS GEOLOGICOS PARA PROTECCION CIVIL

### INTRODUCCION

Se tiene constancia de que los daños derivados de determinados riesgos geológicos se dan con una frecuencia o intensidad superiores a lo esperable si existiera un nivel adecuado de información y prevención.

En bastantes casos, el factor desencadenante del daño es una actuación humana (recorte de taludes, contaminación o intercepción de acuíferos, ocupación de cauces, etc), que si bien puede tener carácter accidental, frecuentemente sería evitable si se conocieran de antemano sus efectos y consecuencias.

Este tipo de problemas cae de lleno en el ámbito de la Protección Civil, pero las actuaciones de los organismos correspondientes se ven limitadas por la falta de una información técnica suficiente y por la dificultad de difundir a escala nacional una metodología operativa y unos criterios básicos cuya elaboración se ve complicada por la complejidad de los fenómenos involucrados.

El ITGE, intenta con el presente Proyecto iniciar la elaboración de directrices que puedan ser utilizadas por Comunidades Autónomas, Ayuntamientos, Autoridades Locales, etc., en el ámbito de sus respectivas competencias, para detectar, prevenir y mitigar los determinados tipos de riesgos de carácter geológico o relacionados con el terreno.



Concretamente se desarrollan en este trabajo las bases para la elaboración de directrices y un texto provisional de las mismas, referentes a los temas siguientes:

- a) Riesgos derivados de las acciones sísmicas. El trabajo se ha centrado en la evaluación de los edificios y de los pequeños núcleos urbanos respecto a su susceptibilidad a acciones sísmicas, teniendo en cuenta la naturaleza del terreno, el tipo de estructura, el grado de ocupación y el equipamiento en servicios asistenciales, accesos, redes de distribución de agua y energía, etc.
- b) Movimientos del terreno. Se describen los distintos tipos de movimientos en suelos y rocas. Se analizan las causas que pueden conducir a la inestabilidad. Se describen los métodos de auscultación y control y se detallan las soluciones más usuales para cada caso.
- c) Contaminación de acuíferos karsticos, por vertidos ~~accidentales~~. Se contemplan los vertidos derivados de accidentes de carretera. Se describe de forma sucinta la forma de caracterizar este tipo de acuíferos y se detallan las medidas a adoptar tanto en fase previa como una vez ocurrido el accidente.

## ANEXO

### PROPUESTA DE DIRECTRIZ DE PROTECCION CIVIL CONTAMINACION DE ACUIFEROS KARSTICOS POR VERTIDOS ACCIDENTALES

#### INDICE

- 1.- INTRODUCCION
- 2.- CARACTERIZACION DE LA VULNERABILIDAD DE ACUIFERO
- 3.- MEDIDAS PREVENTIVAS
  - 3.1. Mejora de las condiciones del transporte
  - 3.2. Protección del acuífero
- 4.- ACTUACIONES POSTERIORES AL ACCIDENTE

## PROPUESTA DE DIRECTRIZ DE PROTECCION CIVIL

### CONTAMINACION DE ACUIFEROS KARSTICOS POR VERTIDOS ACCIDENTALES.

#### 1.- INTRODUCCION

Esta Directriz tiene por objeto orientar sobre las medidas a adoptar en el caso de vertidos accidentales de productos contaminantes que pueden afectar a los acuíferos de alimentación de áreas urbanas, con el fin de reducir o eliminar las consecuencias perjudiciales de los mismos.

Como origen de los vertidos se consideran principalmente los accidentes de vehículos, de transporte por carretera. La reducción del riesgo exige, por tanto, la colaboración entre las autoridades responsables de la red viaria y del estado de los vehículos y las entidades explotadoras de las redes de abastecimiento de agua.

## 2.- CARACTERIZACION DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUIFERO.

Son objeto de esta Directriz los acuíferos kársticos, es decir, las aguas almacenadas en las fisuras, conductos o cavidades de disolución de rocas carbonatadas.

Dada la alta permeabilidad de estos macizos rocosos, resultan muy vulnerables a la penetración de contaminantes, salvo cuando están recubiertos por una capa importante de suelos poco permeables.

Las Comunidades que utilicen estos acuíferos para abastecimiento deben elaborar un plano de la cuenca de alimentación de sus manantiales diferenciando las zonas en que el macizo calcáreo aflora en superficie de aquellas en que existe un recubrimiento importante de suelos u otras formaciones de baja permeabilidad.

En esta base geológico-topográfica deben reflejarse las carreteras o vías de circulación de mercancías peligrosas.

La cuenca se zonificará de acuerdo con los siguientes grados de vulnerabilidad:

- I - Macizo calcáreo aflorante o con pequeño recubrimiento de suelo (< a 0,50 m) en más del 80% de la superficie (vulnerabilidad alta).
- II - Macizo calcáreo aflorante o con pequeño recubrimiento de suelo (< 0,50 m.) en menos del 20% de la superficie (vulnerabilidad media).
- III - Macizo calcáreo recubierto en su totalidad por suelos poco permeables de más de 0,50 m. de potencia (vulnerabilidad baja o nula).

Superponiendo a las zonas así delimitadas los tramos de carretera con tráfico de mercancías peligrosas, representados por una franja de 50 m. de ancho, se definirán grados de peligrosidad según la proximidad al manantial o a la captación, tal como se indica en el Cuadro siguiente:

Situación de la carretera	GRADO DE VULNERABILIDAD		
	I	II	III
Tramo en el tercio de la cuenca más próximo al manantial	Muy alta	Alta	Media
Tramo en el tercio central de la cuenca	Alta	Media	Baja
Tramo en el tercio de la cuenca más alejado del manantial	Media	Baja	—

Se obtendrá así un plano con los grados de peligrosidad de cada tramo de carretera que servirá de orientación inmediata sobre los riesgos que pueden derivarse de un accidente en un punto determinado.

Por otra parte, resulta conveniente conocer con la mayor precisión posible las características del acuífero, lo cual conlleva determinados estudios hidrogeológicos. Se procurará disponer de información sobre:

- Geometría de la cuenca subterránea.
- Volumen almacenado y balance hídrico, relacionando con aquél las aportaciones y los caudales extraídos.
- Las características del flujo subterráneo en cuanto a velocidades, gradientes, etc.
- La existencia o no de sifones, estrechamientos o puntos singulares en los que sea posible establecer eventuales barreras.
- La existencia de embalses subterráneos o zonas de estancamiento.

### 3.- MEDIDAS PREVENTIVAS

Para reducir el riesgo de contaminación debe actuarse tanto sobre las condiciones del transporte y su seguridad como en la mejora de la Protección del acuífero.

#### 3.1. - Mejora de las condiciones del transporte.

Con objeto de reducir los accidentes y sus consecuencias se deberá:

- Controlar el estado de los vehículos y la pericia de los conductores.
- Seleccionar los itinerarios de modo que se evite el paso por las zonas vulnerables.
- Señalizar adecuadamente los tramos en que se prohíba la circulación de mercancías peligrosas.
- Mejorar las condiciones geométricas de las carreteras (visibilidad, corrección de curvas y pendientes, etc.)

#### 3.2. - Protección del acuífero.

Debe conseguirse que en las zonas de peligrosidad muy alta inmediatas al manantial o a la captación quede excluida la circulación de mercancías peligrosas.

En las zonas de peligrosidad media a alta deberán adoptarse diversas medidas como:

- Colocación de pavimentos estancos y resistentes a los hidrocarburos tanto en calzadas como en zonas de parada y arcenes.
- Recogida y evacuación de las escorrentías del conjunto de la carretera mediante cunetas revestidas y canalizaciones estancas.
- Según el riesgo de polución y el caudal de estiaje en el exutario de las canalizaciones anteriores deberán disponerse separadores de aceites para retención de hidrocarburos.
- Evitar que los vehículos accidentados salgan de la calzada, colocando barreras macizas o muros robustos que, al mismo tiempo retengan los vertidos.
- Sellado de las zonas anejas a la carretera en que existe una fácil comunicación con el acuífero. Para ello pueden utilizarse mantos de arcilla, láminas sintéticas, relleno de fisuras, etc.

En las zonas de baja peligrosidad no se requieren medidas especiales, salvo las encaminadas a mejorar las condiciones del transporte y reducir la siniestralidad.



#### 4.- ACTUACIONES POSTERIORES AL ACCIDENTE.

Por lo que respecta a las actuaciones inmediatas, primeros auxilios, etc., se seguirá lo previsto en la "Instrucciones de intervención para el caso de accidentes de transporte de mercancías peligrosas por carretera "(1986) publicadas por la D.G. de Protección Civil y la D.G. de Transportes Terrestre.

De especial interés es impedir la progresión superficial del contaminante y conseguir su absorción mediante arena o tierra.

Cuando todo el contaminante haya quedado impregnado en el terreno superficial, deberá excavar este y transportarlo a vertedero para evitar que por infiltración con el agua de lluvia alcance el acuífero.

Cuando haya evidencia de que el contaminante ha pasado al acuífero se deberá:

- Suspender los bombeos y captaciones, si existen, en las proximidades del punto de vertido.
- Iniciar los análisis de control en la red de distribución de agua potable (manantial, depósitos, estaciones de tratamiento, etc.)
- Suspender el abastecimiento y buscar aportes alternativos si los análisis resultaran positivos.

Los análisis deben continuarse como mínimo 30 días después del accidente para tener en cuenta velocidades lentas de propagación del contaminante en el acuífero. Si existen pozos intermedios deberá también analizarse el agua de los mismos para controlar el avance del penacho contaminante.

Si el volumen del vertido es muy pequeño comparado con la capacidad del acuífero puede esperarse una dilución aceptable o una eliminación natural, sin necesidad de otras actuaciones. Estos procesos deberán controlarse mediante los oportunos análisis.

En accidentes importantes y cuando exista un conocimiento suficiente de las características del acuífero puede actuarse sobre el mismo con métodos que suelen requerir la supervisión de especialistas. Pueden citarse al respecto:

- Creación de barreras a la progresión del contaminante en estrechamientos del acuífero.
- Extracción por bombeo del agua contaminada a través de pozos que alcancen zonas de acumulación o estancamiento de la misma.
- Invertir el sentido del flujo mediante bombeos aguas arriba del punto de infiltración del contaminante.