

MAPA DE MOVIMIENTOS DEL TERRENO DE ESPAÑA

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

1-2 olancas

3

**MAP OF THE MASS MOVEMENT
OF SPAIN**

WITH ENGLISH LEGEND
AND SUMMARY

01180

MAPA DE MOVIMIENTOS DEL TERRENO DE ESPAÑA A ESCALA 1:1.000.000

↓ más espacio

Realizado por:
MERCEDES FERRER GIJON

Bajo la dirección de:
FRANCISCO J. AYALA CARCEDO

Este trabajo ha sido realizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
MADRID, 1987

5

PRESENTACION

Los Movimientos del Terreno en general abarcan los Procesos Geológicos en el terreno que implican un movimiento del mismo, con cambio, por tanto, en su situación, sea de forma permanente, como en un desprendimiento de rocas, o transitoria, como en las vibraciones producidas en un terremoto. Los Movimientos del Terreno son, por tanto, movimientos en masa o de masa que pueden ser debidos tanto a procesos relacionados con la Geodinámica Interna (Vulcanismo, Terremotos, Diapiros-Fenómenos Halcónicos) como con la Geodinámica Externa (Movimientos de Ladera, Procesos Erosivos y de Sedimentación Continentales o Costeros, Hundimientos y Subsidiencias Kársticos o Mineros y Expansividad del Terreno). En la medida en que estos Movimientos pueden afectar a una comunidad, se convierten en un Riesgo Geológico que puede llegar, de no predecirse y prevenirse, a ser una Catástrofe. De hecho, los Movimientos del Terreno abarcan la mayor parte de los Riesgos Geológicos, en concreto los que se refieren a la Litosfera, diferenciándose de aquellos relacionados con la Hidrosfera, como las Inundaciones o los Tsuamis.

Su causalidad es compleja en general. La Vulcanología y la Tectónica explican las causas de los Movimientos del Terreno ligados a la Dinámica Interna del Globo, cada día mejor conocida. En los Movimientos ligados a la Dinámica Externa del Globo, a la epidermis terrestre, intervienen en una relación a menudo compleja la Meteorología y Climatología junto a la naturaleza del terreno y su relieve. En este sentido, España, uno de los países con más relieve de Europa, poseedor asimismo de una variada Geología, tiene un potencial de Movimientos del Terreno ligados a la Geodinámica Externa superior a la media europea.

La comunidad recibe impactos diversos de los Movimientos del Terreno, afectando tanto a las construcciones urbanas e industriales como a la red viaria, a todas las obras lineales (gasoductos, oleoductos, canales, redes eléctricas, etc.) o a las presas. En un reciente estudio del IGME se han valorado las pérdidas potenciales, para el período 1986-2016 en España, entre 4.9 y 8.1 billones de pesetas. Esto supone entre un 0.5% y un 0.8% del Producto Interior Bruto.

La defensa de la comunidad contra estos procesos pasa por la Predicción, la Prevención y, en última instancia, la Protección Civil. La Predicción cuenta con numerosos instrumentos para la mayor parte de estos Movimientos, salvo el caso de los Terremotos, aunque el progreso en los últimos veinte años es alentador. La Prevención, tanto a través de medidas Estructurales (el uso de anclajes para contener un desprendimiento potencial de rocas, p. e.) como No Estructurales (evitar la construcción en zonas de riesgo) cuenta con elementos muy importantes. Estos elementos preventivos son, sin embargo, a menudo poco usados por razones económicas o a veces por desconocimiento. Debe subrayarse la gran rentabilidad de las Medidas No Estructurales, básicamente la Ordenación del Territorio apoyada sobre Mapas de Riesgos, en la mayor parte de los Movimientos del Terreno, puesto de relieve en el estudio realizado por ALFORS y sus colaboradores en California en 1972, y en el reciente estudio del IGME para España.

El poder de definición del Mapa de Movimientos del Terreno debe ser valorado teniendo en cuenta su Escala, 1/1.000.000. Delimita los diferentes tipos de movimiento, representándolos para aquellas áreas con movimientos más intensos y frecuentes. Señala, por tanto, las zonas más problemáticas desde un punto de vista práctico. Dada su escala, su principal utilidad se sitúa en los niveles nacional y regional, y, con restricciones, en el provincial. Obviamente, no es aplicable a casos puntuales más que en sus aspectos más genéricos, y debe ser completado con estudios y mapas a escalas mayores, y por tanto más detalladas. Sin embargo, pensamos que será de utilidad para una gama amplia de profesionales y contribuirá a un uso más racional de nuestro territorio.

FRANCISCO JAVIER AYALA CARCEDO
Director del Estudio

9 AGRADECIM

19 English Summary
1B INDICE

INDICE

PRESENTACION	7
ENGLISH SUMMARY	9
AGRADECIMIENTOS	15
1. LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO	15
2. LA IMPORTANCIA SOCIO-ECONOMICA DE LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO EN ESPAÑA	21
3. EL MARCO GEOLOGICO DE LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO EN ESPAÑA	
3.1. Las grandes Unidades Estructurales	21
3.2. Estratigrafía	23
3.3. Tectónica	24
3.4. Geomorfología	24
4. EL MARCO CLIMATICO DE LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO EN ESPAÑA	27
5. LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO DE COMPONENTE HORIZONTAL	31
5.1. Los movimientos de laderas	31
5.1.1. Los fenómenos	31
5.1.2. Distribución geográfica y tipología	32
5.1.3. Deslizamientos y desprendimientos inducidos por la minería	40
5.2. Dunas móviles	42
5.2.1. El fenómeno	42
5.2.2. Distribución geográfica	42
5.3. Procesos erosivos continentales	43
5.3.1. Los fenómenos	43
5.3.2. Distribución geográfica	46
5.4. Procesos erosivos y sedimentarios costeros (dinámica litoral)	49
5.4.1. Los fenómenos	49
5.4.2. Distribución geográfica	49
6. LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO DE COMPONENTE VERTICAL	55
6.1. Hundimientos y subsidencias	55
6.1.1. Hundimientos Kársticos	55
6.1.1.1. El fenómeno	55
6.1.1.2. Distribución geográfica	56
6.1.2. Hundimientos y subsidencias mineras	60
6.2. Expansividad	62
6.2.1. El fenómeno	62
6.2.2. Distribución geográfica	62
7. LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO LIGADOS A LA GEODINAMICA INTERNA	65
7.1. Vulcanismo	65
7.1.1. El fenómeno	65
7.1.2. Distribución geográfica	66
7.2. Sismicidad	71
7.2.1. El fenómeno	71
7.2.2. Distribución geográfica	74
7.3. Diapirismo	75
7.3.1. El fenómeno	75
7.3.2. Distribución geográfica	75
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	77

1B

5

1. LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO

La superficie terrestre está lejos de constituir un soporte estático sobre el que se desarrollan las actividades humanas; los continuos procesos dinámicos que en ella tienen lugar ponen de manifiesto la existencia de fenómenos actuales que van variando y configurando la morfología de la superficie, bien en un entorno muy localizado (como es el caso de los movimientos de laderas en general) o afectando a zonas más amplias (como algunos grandes movimientos sísmicos o erupciones volcánicas).

Los movimientos del terreno pueden quedar definidos como los **procesos dinámicos** que tienen lugar en la corteza y afectan o involucran al material

que la constituye, pudiendo tener su origen en fenómenos relacionados con la **Geodinámica Interna** o con la **Geodinámica Externa** (cuadro 1.1). En el primer grupo quedan incluidos los movimientos relacionados o asociados con las erupciones volcánicas, movimientos sísmicos y procesos diapiricos, mientras que en el segundo grupo estarían los **movimientos de laderas**, los **hundimientos o subsidencias** naturales o inducidos, los **procesos erosión-sedimentación** continentales y los relacionados con la dinámica litoral o costera.

Factores como el clima, la morfología, la litología, la estructura y la dinámica fluvial y litoral controlan

MOVIMIENTOS DEL TERRENO	
RELACIONADOS CON LA GEODINAMICA EXTERNA	RELACIONADOS CON LA GEODINAMICA INTERNA
<ul style="list-style-type: none">• MOVIMIENTOS DE LADERAS• PROCESOS EROSION-SEDIMENTACION CONTINENTALES• HUNDIMIENTOS Y SUBSIDENCIAS• PROCESOS DE DINAMICA LITORAL• EXPANSIVIDAD POR ARCILLAS, ANHIDRITAS, ETC.• DUNAS MOVILES	<ul style="list-style-type: none">• MOVIMIENTOS SISMICOS• MOVIMIENTOS ASOCIADOS AL VULCANISMO• PROCESOS DIAPIRICOS

Cuadro 1.1. Clasificación de los movimientos del terreno.

los movimientos relacionados con la Geodinámica Externa, que afectan únicamente a la superficie del planeta y suelen ser fenómenos muy localizados en general. A causa de la «universalidad» de estos factores condicionantes o desencadenantes, este tipo de movimientos del terreno no se encuentra limitado a áreas concretas, considerando la escala global,

con unas características determinadas (a excepción, por ejemplo, de los relacionados con la dinámica litoral, que lógicamente sólo estarán presentes en zonas costeras); el resto, aunque condicionados por la presencia de diferentes factores, como el relieve, la litología, el clima, etc., no están asociados a lugares concretos en la superficie del planeta.

La sismicidad y el vulcanismo están originados por los Procesos Geodinámicos Internos, englobados en la tectónica a escala planetaria que está teniendo lugar en la Tierra. Ambos fenómenos están relacionados con los movimientos de las placas y con los procesos de liberación de la energía interna del

globo, estando en este caso asociados a zonas concretas del planeta. En la figura 1.1 se han representado las placas litosféricas, siendo precisamente en los límites de placas constructivos o destructivos donde se producen la gran mayoría de los fenómenos sísmicos y volcánicos.

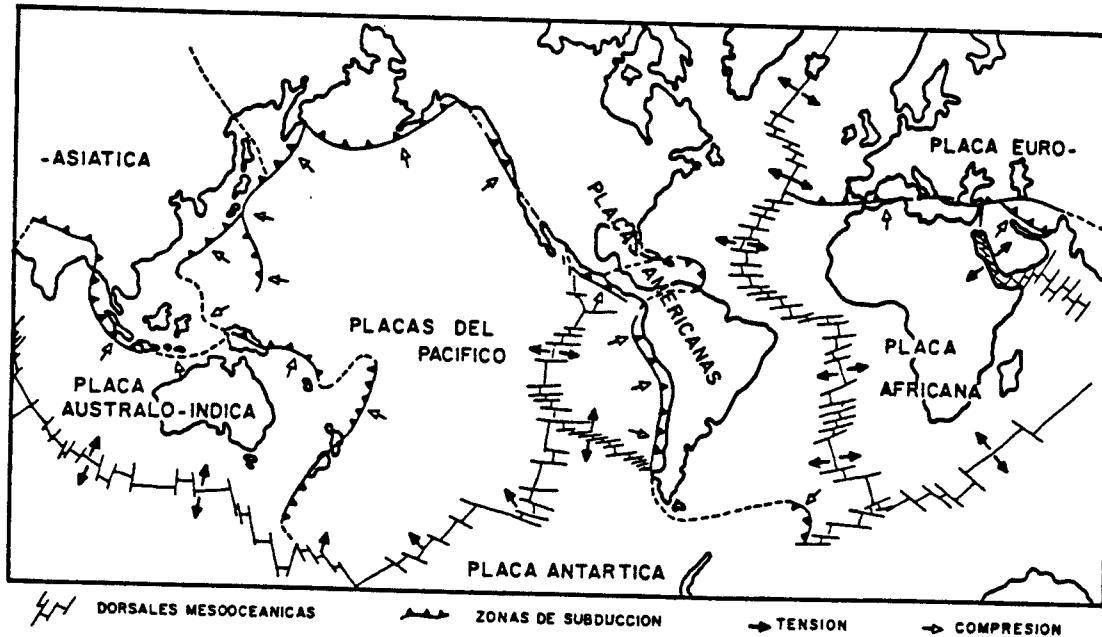


Figura 1.1. Esquema de las placas Litosféricas.

Los movimientos del terreno asociados a procesos dinámicos internos están, pues, localizados espacialmente en áreas determinadas y, en general, pueden ocasionar mayores impactos en la superficie que los relacionados con la dinámica externa. Los primeros forman parte de los procesos dinámicos globales que configuran la corteza terrestre, la disposición de los continentes y océanos y la creación de cadenas montañosas; los segundos actúan a escala local, y son responsables de la morfología de áreas determinadas en las que predominan uno u otro tipo de movimientos del terreno (por ejemplo, los desprendimientos en zonas montañosas, o los procesos erosivos en costas escarpadas).

Dentro de los movimientos relacionados con la Geodinámica Interna se han incluido también los asociados a **procesos diapiricos**, por ser éstos consecuencia de fenómenos internos que afectan a un determinado tipo de material. A diferencia de los movimientos sísmicos y del vulcanismo, el diapiroismo afecta a zonas muy localizadas y, en general, de poca extensión, estando controlado por la presencia de materiales salinos y evaporíticos.

En el Mapa de Movimiento de Terreno de España a escala 1:1.000.000 se han representado las áreas en las que tienen lugar los movimientos que aparecen en el cuadro 1.1, a excepción de los relaciona-

dos con la sismicidad y el vulcanismo, que, debido a su localización en zonas determinadas y a su no relación con los factores que han configurado los criterios seguidos para realizar la cartografía, aparecen representados fuera del Mapa, en las figuras de los apartados 7.1 y 7.2 de esta Memoria.

El Mapa de Movimiento del Terreno refleja los diversos tipos de movimientos actuales y potenciales en nuestro país. Aunque esta diferencia entre movimiento actual y potencial no ha sido establecida en la cartografía, hace referencia a zonas en las que está teniendo lugar o ha tenido lugar algún tipo de movimiento y a zonas en las que, debido a unas características determinadas, existe una alta posibilidad de que se produzcan movimientos.

Los diferentes criterios para la realización de la cartografía se han basado a veces fundamentalmente en la presencia de litologías determinadas (para los movimientos debidos a expansividad de arcillas o las subsidencias y hundimientos kársticos, por ejemplo), en la concurrencia de factores morfológicos, litológicos y climáticos (en el caso de deslizamientos y desprendimientos) o en la presencia de obras mineras realizadas por el hombre (como es el caso de los movimientos relacionados con explotaciones mineras subterráneas o a cielo abierto).

2. LA IMPORTANCIA SOCIOECONOMICA DE LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO EN ESPAÑA

En el momento en que un deslizamiento, hundimiento, terremoto o erupción volcánica afecta a parte de la población humana o a construcciones del hombre, es decir, causa algún daño económico o social a alguna comunidad, estos u otros movimientos del terreno constituyen **Riesgos Geológicos**. La importancia de los movimientos estriba pues, además de en las características intrínsecas del fenómeno en sí, en los daños que éstos pueden causar; en función de este factor se pueden establecer clasificaciones de riesgos geológicos que reflejan en general tanto la intensidad de cada uno de los fenómenos como la cantidad

de personas afectadas o daños materiales producidos en un área determinada (población, región, país, etc.).

En España, debido a factores como el relieve y su variada geología y climatología, los movimientos del terreno ligados a la Geodinámica Externa tienen gran importancia, implicando la presencia de riesgos asociados a los mismos, sobre todo en zonas de elevada demografía. Los riesgos relacionados con la Geodinámica Interna, independientemente de las características morfológicas y climáticas de nuestro país, también son importantes por las condiciones geológicas existentes, sobre todo los ligados a los terremotos.

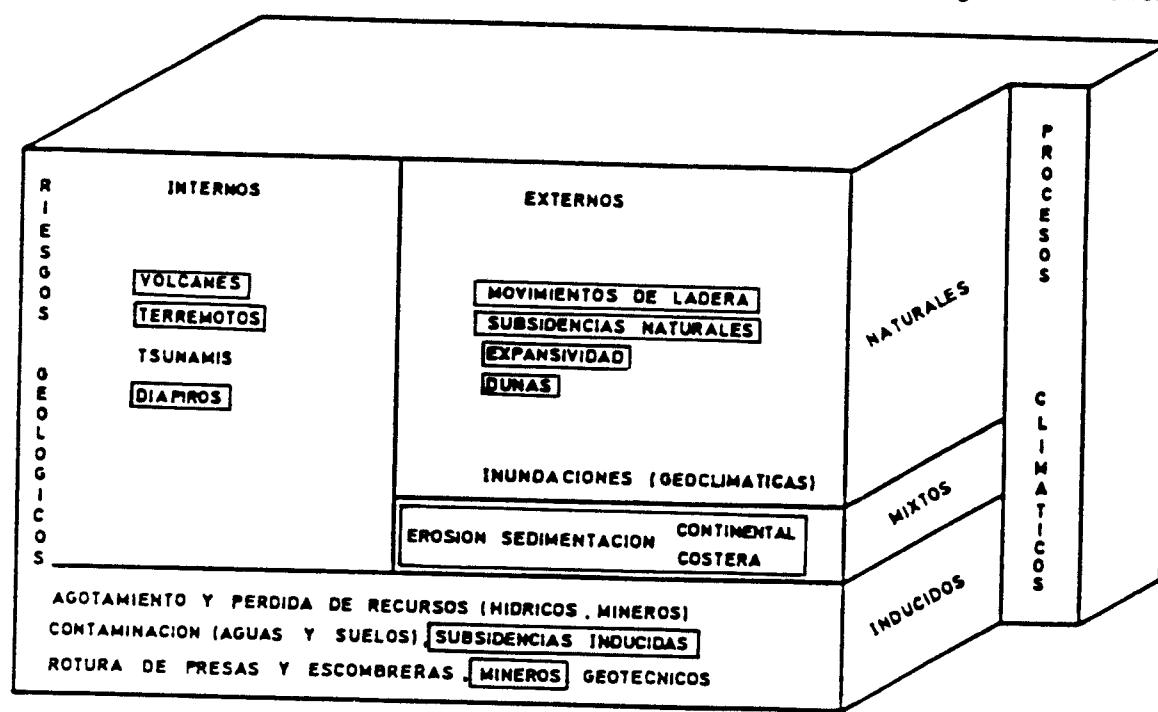


Figura 2.1. Los riesgos geológicos asociados a movimientos del terreno dentro del contexto general de riesgos (AYALA, 1987).

En la figura 2.1 se han representado los Riesgos Geológicos dentro de un esquema general de riesgos, donde se han remarcado los relacionados con los movimientos del terreno incluidos en el Mapa de Movimientos del Terreno a escala 1:1.000.000. En la figura los Riesgos Geológicos quedan clasificados en tres grandes grupos: Naturales, Inducidos y Mixtos;

los Movimientos del Terreno quedan englobados dentro de los **Riesgos Naturales**.

La importancia socioeconómica que los daños producidos por Riesgos Geológicos pueden ocasionar es difícil de valorar debido a los problemas de predicción espacial y temporal de los movimientos y de los efectos que éstos pueden tener sobre personas

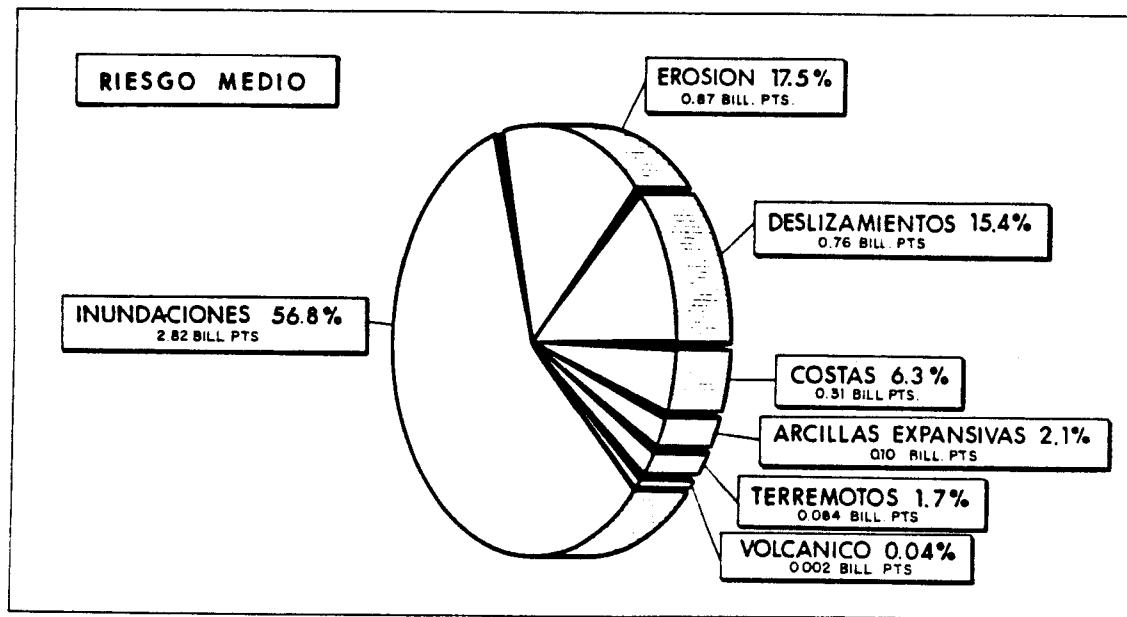


Figura 2.2. Pérdidas potenciales previstas en España según la hipótesis de riesgo medio para el periodo 1986-2016 (IGME, 1987).

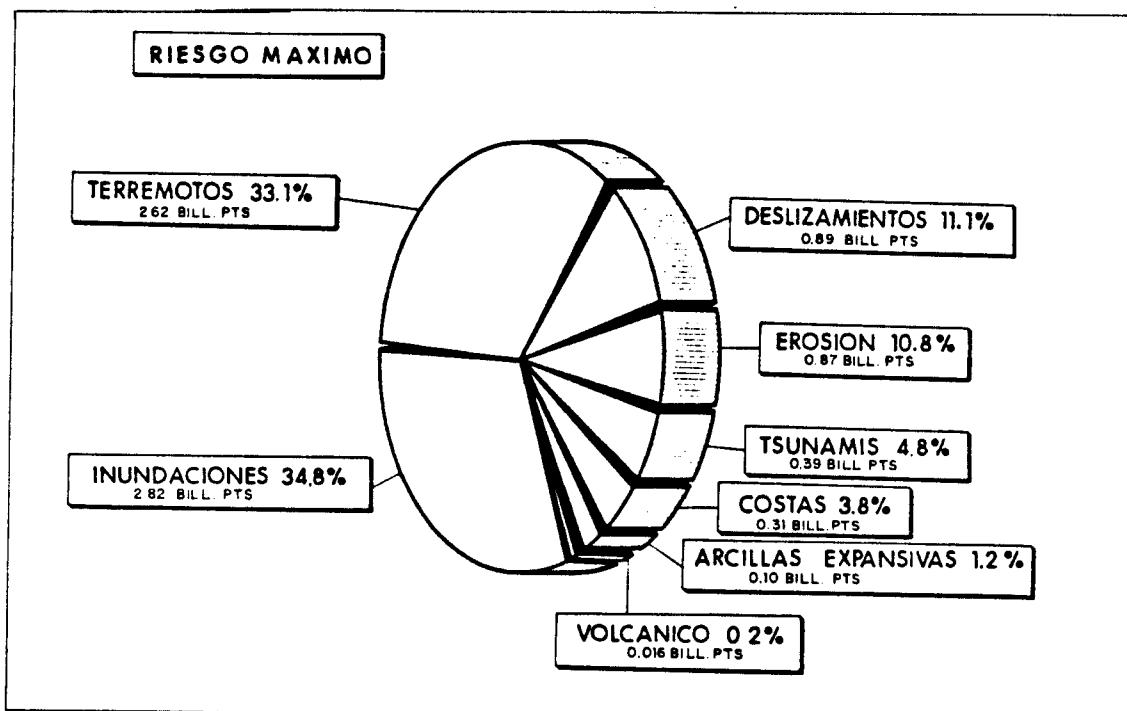


Figura 2.3. Pérdidas potenciales previstas en España según la hipótesis de riesgo máximo para el periodo 1986-2016 (IGME, 1987).

y obras humanas, máxime teniendo en cuenta que, por ejemplo, la hora del día o la época del año en que ocurra el fenómeno es de fundamental importancia en determinados lugares.

En nuestro país se han valorado las pérdidas potenciales debidas a riesgos geológicos para un período de treinta años (1986-2016) entre 4.9 y 8.1 billones de pesetas (IGME, 1987).

En las figuras 2.2 y 2.3 se han representado las pérdidas potenciales previstas según las hipótesis de riesgo medio (4.9 billones de pesetas) y riesgo máximo (8.1 billones de pesetas), considerando las actua-

les medidas de prevención y mitigación en España.

Exceptuando las inundaciones, que representan en ambas hipótesis el mayor porcentaje de pérdidas económicas, el resto de los riesgos asociados a movimientos del terreno ha sido incluido en el presente trabajo. Como queda representado en las figuras, para el caso de riesgo medio las pérdidas potenciales por deslizamientos en general y por erosión son muy similares, estando por encima de los otros riesgos; para la hipótesis de riesgo máximo las pérdidas por terremotos destacan sobre los deslizamientos, erosión, tsunamis y los debidos a la dinámica litoral en zonas costeras.

3. EL MARCO GEOLOGICO DE LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO EN ESPAÑA

3.1. Las grandes unidades estructurales

La variada geología y el accidentado relieve de nuestro país condicionan la distribución y ocurrencia de los diferentes Movimientos del Terreno.

Estructuralmente, en la península pueden ser establecidos cuatro grandes conjuntos, correspondientes a los afloramientos de materiales precámbnicos deformados con anterioridad al Paleozoico, materiales paleozoicos deformados en la orogenia Hercínica, materiales mesozoicos y terciarios deformados en la orogenia Alpina y materiales mesozoicos y terciarios no deformados en la orogenia Alpina.

En general, puede ser establecida una gran división entre el **dominio hercínico**, configurado por afloramientos paleozoicos y algunos núcleos precámbrios (que ocupa una gran extensión en la mitad occidental de la península), y el **dominio alpino**, formado por las Béticas y por los Pirineos. El resto del territorio nacional queda ocupado, mayoritariamente, por las depresiones terciarias y por las cordilleras Ibérica y Costero Catalana, que constituyen las áreas de plataforma y las cordilleras de tipo intermedio (figura 3.1).

Algunos afloramientos de materiales paleozoicos aparecen también en la cordillera Ibérica, cadena Costero Catalana, zona axial de los Pirineos y zonas internas de las Béticas.

El cuadro Iberia - - - - -

(continuar aquí)

(o bien reducir la Fig. 3.1 e incluirlo aquí)

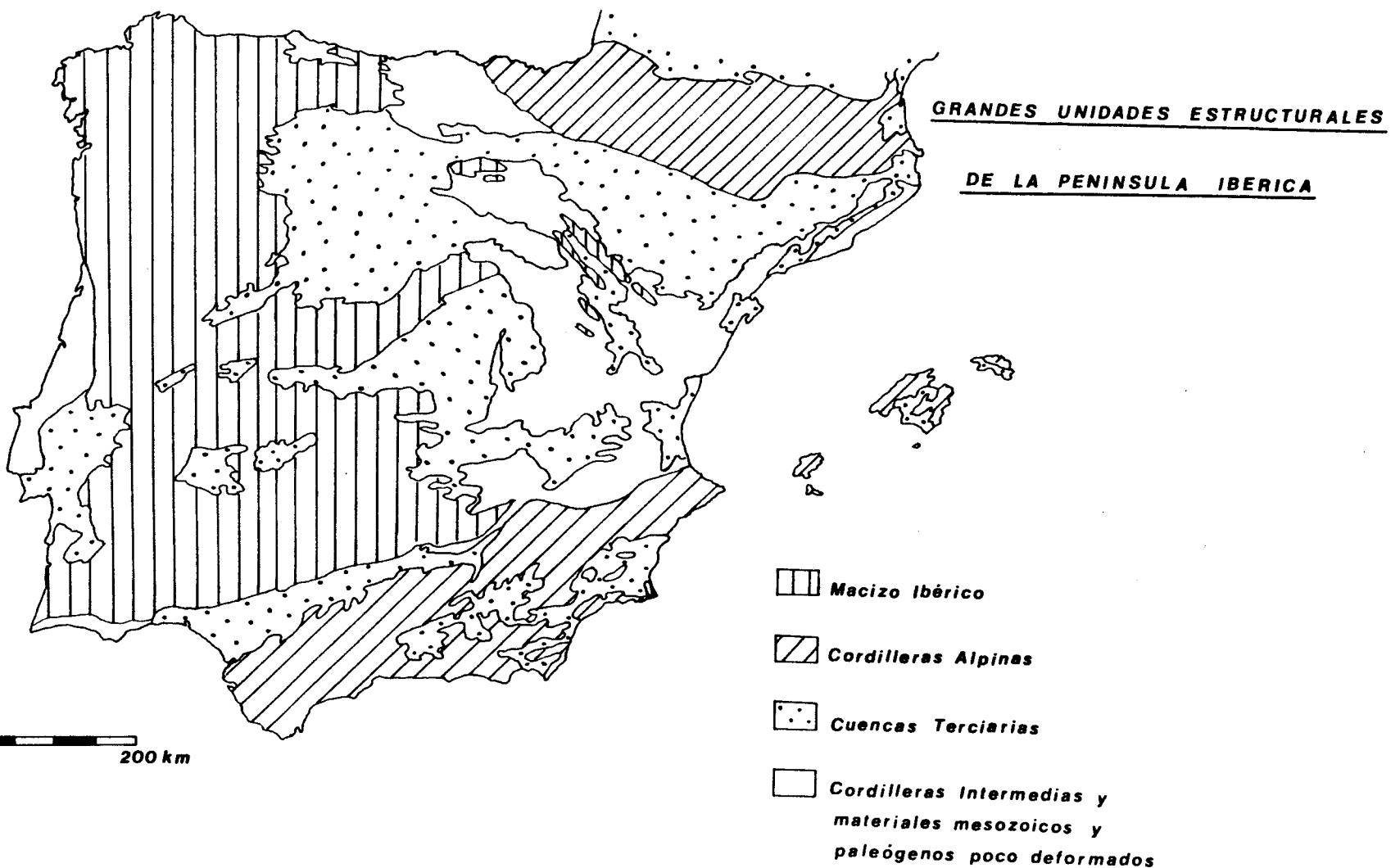


Figura 3.1. *Las grandes Unidades Estructurales de la Península Ibérica.*

El Macizo Ibérico se divide a su vez en diferentes zonas (figura 3.2) en función de sus características paleogeográficas, estructurales y litológicas en general; las dos zonas externas (Cantábrica y Surportuguesa) presentan materiales más modernos que el resto (formado por Paleozoico Inferior y núcleos precámbricos).

(X)

Los nombres de estas zonas, de norte a sur, son:

- zona Cantábrica
- zona Asturoccidental-Leonesa
- zona Centroibérica
- zona de Ossa-Morena
- zona Surportuguesa.

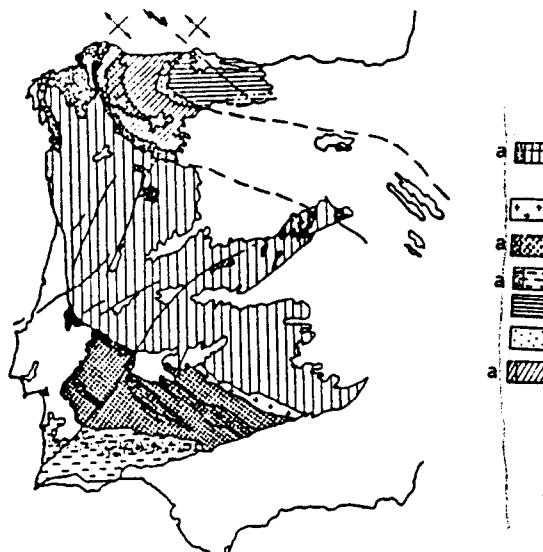


Figura 3.2. Principales zonas estructurales del Macizo Ibérico (según JULIVER y otros, 1974).

La zona Cantábrica se caracteriza por el núcleo que describen las estructuras hercínicas al N del Macizo Ibérico. Sus materiales abarcan todo el Paleozoico, aunque con escasa representación de los sistemas Cámbrico y Ordovícico. La actividad magmática en la zona se caracteriza también por su escasez.

La zona Asturoccidental-Leonesa, entre el antiforme del Narcea y los afloramientos de «Oollo de Sapo», está mayoritariamente formada por materiales cámbricos y ordovícicos (representados por gran espesor de sedimentos) y silúricos.

La zona Centroibérica está constituida en su mayor parte por materiales preordovícicos, con representación del Cámbrico y Precámbrico. Su límite S lo constituye el Batolito de los Pedroches.

La zona de Ossa-Morena presenta una gran extensión de afloramientos del Precámbrico y Cámbrico, con un amplio desarrollo del plutonismo y vulcanismo en bandas largas y estrechas.

Por último, la zona Surportuguesa, ocupando el SO del Macizo Ibérico, presenta menos variedad litológica que el resto de las zonas, y se caracteriza esencialmente por la presencia de materiales areniso-pizarrosos (ritmitas) y por las importantes intercalaciones de lavas y rocas piroclásticas (ALVARADO, 1980).

Ya dentro del dominio Alpino, la cordillera Bética constituye la gran unidad estructural del sur de la península, que se prolonga hasta las Baleares, y que queda dividida en tres grandes zonas estructurales de dirección aproximada OSO-ENE: zona prebética, zona subbética y zona bética o penibética. En general, estas unidades pueden quedar agrupadas en zo-

ZONA CENTROIBERICA. a) Complejos precámbricos de Galicia y N-Portugal. b) Afloramientos de «Oollo de Sapo». Batolito de los Pedroches

ZONA DE OSSA-MORENA. a) Afloramientos Precámbricos. ZONA SURPORTUGUESA. a) Faja pirítica.

ZONA CANTABRICA

Precámbrico del Antiforme de Narcea

ZONA ASTUROCCIDENTAL-LEONESA. a) Núcleo precámbrico del pliegue tumbado de Mondoñedo.

0 50 100 150 200 kms.

nas externas (prebética y subbética) y zonas internas (bética); en las primeras, la estructura de pliegamientos y de mantos de corrimiento de edad alpina afecta sólo a los materiales de la cobertura, mientras que en la zona interna estas estructuras afectan tanto a los materiales mesozoicos como a los de edades anteriores (ALVARADO, 1980).

Además de estas grandes unidades, en las Béticas están presentes otros elementos estructurales importantes, como son la unidad del Campo de Gibraltar, la depresión del Guadalquivir y las depresiones interiores de origen tectónico. La depresión del Guadalquivir presenta una historia geológica íntimamente relacionada con las Béticas, y está formada por materiales principalmente neógenos sobre un zócalo paleozoico (existe un pequeño episodio de sedimentos mesozoicos entre éstos). Los materiales miocenos contienen intercalaciones de elementos alóctonos procedentes del ámbito de las cordilleras Béticas.

La cordillera Pirenaica, a diferencia de las Béticas, presenta una estructura con una zona axial paleozoica bordeada por dos zonas externas con vergencias opuestas. Los materiales paleozoicos que aparecen presentan estructuras hercínicas, y fueron afectados por la orogenia Alpina junto con los materiales mesozoicos y terciarios de la cobertura. En esta cordillera están presentes también un conjunto de materiales postorogénicos poco o nada afectados por los pliegamientos.

Las depresiones terciarias son las grandes cuencas del Duero o de Castilla la Vieja y de Castilla la Nueva, separadas por el Sistema Central. Están cons-

782

tituidas a grandes rasgos por bloques elevados de zócalo y rellenas por materiales terciarios continentales y marinos, apoyándose, hacia el E y SE, sobre el mesozoico de la orla oriental del Macizo Ibérico. La estructura de la cuenca de Castilla la Vieja es simple, con los materiales en disposición tabular, mientras que la cuenca de Castilla la Nueva presenta una estructura algo más compleja, incluyendo la fosa tectónica del Tajo y afloramientos de materiales mesozoicos y paleozoicos hacia el sur.

La cuenca del Ebro aparece rellena de sedimentos terciarios continentales y marinos con gran espesor, teniendo carácter molásico en los bordes de la depresión.

La **cordillera Ibérica** presenta rasgos particulares, como el gran espesor de materiales mesozoicos en algunas zonas y la falta de procesos metamórficos y magmáticos en general. Su estructura es del tipo zócalo y cobertura, con materiales precámbrios y paleozoicos que forman el zócalo y materiales mesozoicos y paleógenos en la cobertura, que aparecen en parte plegados y deformados y adaptados a la estructura del zócalo. La verdadera deformación que afectó a la cordillera Ibérica no se produjo hasta el Terciario; los pliegues presentan una dirección general NO-SE en la parte septentrional, variando a direcciones N-S hacia el sur de la cadena. Durante el Neógeno, una tectónica de fractura de tipo ~~deformación~~ afectó a la cordillera, dando lugar a estructuras complejas en bloques en la zona de Valencia y a depresiones como la de Calatayud-Teruel.

Respecto a la estructura de las cadenas **Costero Catalanas**, se pueden distinguir tres grandes conjuntos (ALVARADO, 1980): el zócalo, con terrenos paleozoicos y materiales graníticos y volcánicos; la cobertura, con materiales mesozoicos y paleógenos, y los materiales postorogénicos (con respecto a la orogénesis Alpina), neógenos y cuaternarios, en general llenando las fosas. La deformación en estas cadenas tiene edad eocena hacia el NE, mientras que hacia el SO la edad viene a ser igual que para la Ibérica.

La presencia de diversos tipos o alternancias de materiales, los rasgos estructurales y el relieve que caracteriza a cada uno de estos conjuntos definen, junto con otros parámetros «externos» como el clima, la presencia de agua, etc., los movimientos del terreno que en ellos tienen lugar; en los apartados siguientes referentes a la estratigrafía, tectónica y geomorfología de estas unidades se describen brevemente sus características.

3.2. Estratigrafía

La estratigrafía, que se ocupa de la disposición de los materiales de la corteza terrestre y sus relaciones, está en relación directa con el conjunto de procesos geológicos que da lugar a los sedimentos y

que, en su mayoría tienen lugar en la superficie de la tierra.

Esta disciplina adquiere especial importancia a la hora de evaluar el comportamiento de los diferentes conjuntos de materiales geológicos, al ser primordial el papel que juegan en todo tipo de movimientos del terreno las diferencias y contrastes entre los distintos materiales que configuran las columnas estratigráficas. Las diferencias en cuanto a composición, cementación, compacidad, resistencia, dureza, competencia, comportamiento hidrogeológico, etc., en definitiva, en cuanto a las **características geológicas, geomecánicas e hidrogeológicas** de los materiales, son las que van a definir su **comportamiento geomecánico** o geotécnico, en gran parte asociado a las **características estratigráficas**.

En España, la gran variedad de materiales de todo tipo y edad asociados a las más diversas génesis y repartidos por toda su geografía, hace difícil una división simple a grandes rasgos de las características estratigráficas de las grandes unidades estructurales. No obstante, cada una de estas unidades presenta, en general, unas determinadas columnas estratigráficas relacionadas con los procesos geológicos que en las diversas áreas que las componen han tenido lugar.

Así, mientras en las cadenas montañosas aparecen materiales, en general, más antiguos y que han sufrido más procesos diagenéticos y deformacionales que han ido configurando las características de estos materiales, las grandes cuencas del país están formadas por materiales terciarios en general que han sufrido menos procesos de tipo diagenético y de deformación, y que aparecen estratificados horizontal o subhorizontalmente. Las litologías presentes en cada caso responden a los procesos genéticos y diagenéticos que han ocurrido a lo largo de sus historias geológicas.

En general, cuando se habla de la estratigrafía de una zona se hace referencia a las **litologías** de los diversos materiales que aparecen, a sus edades y las características de cada una de las litologías presentes. Las diferencias de comportamiento relativo entre estas ante unos esfuerzos determinados, configuran el comportamiento general del macizo rocoso o suelo, junto con las características estructurales e hidrogeológicas del conjunto, que también dependerán de las que presenten los diferentes tipos de materiales que lo configuran.

Así, algunos tipos de movimientos del terreno dependen en primera instancia de las litologías presentes en una zona, como son los relacionados con litologías kársticas o con la expansividad del terreno. Otros, como los movimientos de laderas, aún no estando en relación con un tipo determinado de litología o estratigrafía, dependen en gran parte de las características estratigráficas del terreno; la presencia de materiales de diferente litología configura de una

forma definitiva los tipos de roturas, y la existencia de niveles de distinta competencia y litología es muchas veces definitiva en la situación y modelo de las superficies de rotura.

De una forma general, los deslizamientos se darán en formaciones blandas (litologías arcillosas o arenosas en gran parte presentes, por ejemplo, en los depósitos sedimentarios de las cuencas de los ríos o lacustres), mientras que movimientos de laderas del tipo desprendimientos, caídas de bloques, etc., serán típicos de materiales duros y competentes (como los presentes en macizos rocosos de zonas montañosas, materiales ígneos y volcánicos, etc.) en los que, la existencia de litologías diferenciadas, también puede jugar un papel definitivo en la situación de los planos de rotura.

Así mismo, las litologías tendrán comportamientos hidrogeológicos muy diferentes unaSde otras: mientras que en materiales como arenas y conglomerados se dará en general una buena permeabilidad primaria, en materiales ígneos, por ejemplo, esta estará a favor de los planos de discontinuidad presentes, y otros tipos de materiales, como los arcillosos, pueden llegar a ser totalmente impermeables.

En general, al evaluar la influencia e importancia de la estratigrafía en el comportamiento del terreno, se habrán de estimar las propiedades y características del conjunto integrado por una serie de litologías diferentes que configurarán el comportamiento general del área de que se trate.

3.3. Tectónica

Además de las estructuras originadas en los grandes procesos orogénicos que han afectado a la península Ibérica, comentados en el apartado 3.1, están presentes otro tipo de estructuras consecuencia de diferentes **procesos tectónicos** que han venido actuando principalmente en tres épocas diferentes (IGME, 1977): Estefaniense-Pérmino, Jurásico Superior-Cretácico Inferior y Mioceno Superior-Plioceno-Cuaternario. En general, estas estructuras son el resultado de procesos de distensión que han afectado a amplias zonas de la corteza europea.

A excepción de las más modernas, las **estructuras tectónicas** son difíciles de identificar por su posterior enmascaramiento. Para la etapa que comprende del Mioceno al Cuaternario se puede hablar de **neotectónica**, con el desarrollo de formas nuevas que aún se pueden reconocer e identificar con el estudio de niveles marinos, líneas de costas, desplazamientos de cursos fluviales, terrazas, glaciares, costas, etc.

La fase tectónica distensiva Estefaniense-Pérmino ha sido identificada por la presencia de fallas de rumbo y normales y por la presencia de un vulcanismo de estas edades muy importante en algunas regiones. En la península aparecen fracturas asociadas a

esta época cerca del borde S del Macizo Ibérico, en borde sur y zona occidental de Sierra Morena y en el norte (región cantábrica). La presencia de cuencas carboníferas hulleras individualizadas corrobora también la existencia de esta fase tectónica; muchas de las cuencas estefanienses aparecen individualizadas por fallas directas o asociadas a fallas de rumbo (IGME, 1977).

La etapa tectónica de edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior es peor conocida que la anterior y de menor importancia, habiéndose deducido principalmente por criterios estratigráficos que indican un cambio drástico en las condiciones de sedimentación en esta época. Los materiales del Jurásico y Cretácico aparecen en algunas zonas fracturados en bloques, y se ha reconocido la existencia de un rejuvenecimiento importante del relieve con desniveles considerables entre bloques. Procesos volcánicos, aunque de menor importancia que en la fase pérmino, también aparecen asociados a esta etapa tectónica de fractura. Rastros de estas deformaciones aparecen en las zonas externas de las Béticas y en los Pirineos.

La tectónica de fractura de edad Mioceno Superior-Plioceno-Cuaternario ha dado lugar a una importante fracturación relativamente reciente (neotectónica), y reconocida en las zonas del Mediterráneo, Sistema Ibérico, Sistema Central y Galicia, principalmente. El sistema de fosas mediterráneo es el más importante de las fracturas originadas en esta época, abarcando al Pirineo, cadenas Costero Catalanas, Ibérica, Bética y a la zona de Valencia.

Función de las primeras fases compresivas que han afectado a la península, y de todos estos procesos comentados anteriormente que han actuado afectando y modificando a las estructuras más antiguas, es el estado actual estructural y tectónico que presentan las diferentes unidades geológicas en nuestro país, y que queda reflejado en la presencia de estructuras a gran escala (pliegues anticlinales y sinclinales, grandes fallas y fracturas, etc.), y por las características estructurales de los materiales a escala de macizo rocoso (diaclasas, pequeñas fallas y pliegues, etc.).

3.4. Geomorfología

La geomorfología que presenta España es el resultado de la historia geológica sufrida, que incluye procesos tectónicos y procesos relacionados con la geodinámica externa que actúan sobre los materiales de la corteza. De este último grupo, el factor modelador del relieve más importante es la erosión.

X La diferentes etapas regresivas y transgresivas que han afectado a la península a lo largo de su historia geológica han ido configurando los depósitos de materiales sedimentarios, junto con los arrastres de los grandes ríos que la atraviesan. Relacionados con este

aspecto cabe considerar los diferentes períodos glaciales e interglaciales que ha sufrido España, con climas fríos y cálidos en general respectivamente.

Los materiales ígneos aflorantes en nuestro país son el resultado de los procesos geodinámicos internos que han actuado a lo largo de cientos de millones de años.

Así pues, y en definitiva, las formas del relieve dependen de las **características físico-geológicas** (que incluyen morfología, clima, hidrogeología, litología y estructura de los materiales existentes) y de los **procesos geomorfológicos** que actúan (erosión, alteraciones químicas, meteorización, escorrentía, modelado eólico, etc.). El clima juega un papel primordial en las características del relieve de una zona, dando lugar a procesos geomorfológicos y formas de relieve asociados.

Las grandes **unidades o conjuntos geomorfológicos**, o principales grandes áreas con características de relieve similares, en que podría quedar dividida España, a gran escala y en general, corresponden a un concepto topográfico, y serían las depresiones y mesetas y las zonas montañosas y abrumadas, en clara relación con las unidades estructurales descritas en el apartado anterior. Dentro de estos grandes grupos aparecen otros conjuntos y unidades geomorfológicas en función, por ejemplo, de conceptos fisiográficos, geométricos, genéticos, etc., dentro de los cuales a su vez, caben divisiones en elementos y tipos geomorfológicos, etc.

En general, los elementos o tipos geomorfológicos son el resultado de procesos que han actuado durante el Plioceno y Cuaternario sobre todo, dando las formas cartografiadas que configuran las formaciones superficiales actuales, como pendientes, escarpes, drenajes, terrazas, glacis, abanicos aluviales, conos de deyección, etc.

Especial atención merecen las formas costeras en lo que se refiere a identificación de antiguas líneas de costa y procesos actuantes, que juegan también un papel importante en el estudio de los procesos neotectónicos desde el punto de vista del modelado de la superficie terrestre. Formas como cordones

litorales, acantilados fósiles, cubetas y depósitos de lagoon o deltaicos y, en general, estructuras tectónicas que afectan al Mioceno y al Cuaternario son utilizados como indicadores de antiguas líneas de costa y procesos neotectónicos.

Volviendo a ámbitos más generales que los anteriormente comentados, en España existen amplias zonas topográficamente identificables y en relación directa con los diferentes tipos de movimientos del terreno que en ellas tienen lugar. Así, en las **zonas montañosas** que constituyen las cordilleras y cadenas de nuestro país, aunque en función de las litologías presentes, ocurren la mayor proporción de los deslizamientos y desprendimientos por el papel fundamental que en este tipo de movimientos juega el relieve.

En las **cuenca de los grandes ríos**, también se dan este tipo de procesos gravitacionales por la presencia de escarpes y acantilados excavados por el agua, a los que contribuye el carácter detritico de los materiales sedimentarios.

Las grandes extensiones planas que constituyen las **mesetas norte y sur** presentan, a excepción de los deslizamientos y desprendimientos relacionados con las litologías presentes, tipos de movimientos asociados a los materiales presentes en ellas, como la expansividad por arcillas o los movimientos ligados a la presencia de karsts carbonatados o yesíferos, que, en este último caso, dan lugar a una morfología kárstica típica.

En las **zonas litorales**, en función de las morfologías abruptas y montañosas o llanas que configuran la costa, están presentes diversos tipos de movimientos entre los que destacan los relacionados con los procesos erosivos y sedimentarios que tienen lugar.

El fenómeno de la erosión en nuestro país, al ser función de factores como por ejemplo la litología y vegetación, es importante tanto en zonas montañosas como en zonas más llanas (por ejemplo en las cuencas de los ríos), a excepción de las mesetas, que debido a su mayor peneplanización no sufren procesos erosivos importantes actualmente.

20

25

4. EL MARCO CLIMÁTICO DE LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO EN ESPAÑA

La importancia e influencia del clima en la ocurrencia actual o potencial de los movimientos del terreno es evidente en los relacionados con los procesos geodinámicos externos. Fenómenos como los movimientos de laderas, los procesos erosivos continentales o la expansividad por arcillas están fuertemente condicionados por las características climáticas de una zona determinada.

En el caso de movimientos por expansividad, por ejemplo, la influencia del cambio en las condiciones de humedad del terreno arcilloso es fundamental (aunque esta variación puede estar motivada también por causas ajenas al clima), de tal forma que el riesgo máximo de movimientos expansivos queda definido por este factor; los movimientos de laderas, aparte de estar condicionados por factores como el relieve, la litología, etc., tienen destacada presencia en regiones accidentadas lluviosas o en épocas de lluvias frecuentes, al ser la influencia del agua un factor fundamental desencadenante de este tipo de movimientos; los procesos de erosión continental están íntimamente relacionados con los aspectos climáticos de una región, como queda reflejado al comparar los mapas de erosión y de climas de España (figuras 5.20 y 4.1, respectivamente).

Los principales factores que definen el clima en una región terrestre son, según FONT TULLOT (1983), su situación en el planeta, su continentalidad (configuración geográfica con respecto a continentes y océanos), la orografía del área y la influencia de la temperatura del mar si se trata de zonas rodeadas, al menos en parte, por mares y océanos. Estos factores configuran las condiciones climáticas de amplias regiones terrestres, mientras que aspectos como la altitud, la insolación, la vegetación y la presencia de lagos, embalses, etc. son responsables de las características de los climas locales dentro de las grandes zonas climáticas de la tierra.

España, situada en el extremo sur-occidental del continente Euroasiático, entre el Atlántico y el Mediterráneo y dentro del dominio de la zona templada, recibe la influencia de las masas de aire subtropical y polar marítimo, continental y mediterráneo.

Esto, unido a la orografía accidentada que hace de

España una de las zonas más montañosas de Europa, configura las características de nuestro clima; las grandes cadenas montañosas, que en general siguen direcciones preferentes este-oeste (a excepción de las Béticas y de la Ibérica) permiten que la influencia atlántica penetre hasta las mesetas y evitan el libre paso de masas de aire del norte y noreste, provocando también variaciones climáticas regionales en el país (CAPEL MOLINA, 1981).

En la figura 4.1 se han representado las diferentes regiones climáticas de la Península y Baleares según FONT TULLOT (1983), basadas en el índice de continentalidad y en el índice de humedad. Una primera gran división se establece entre la **España verde** (litoral Cantábrico y Pirineos) y la **España parda** (el resto del territorio) con clima mediterráneo en general, división muy neta a causa del relieve.

A su vez, la zona parda queda dividida en tres regiones principales: **atlántica** (una estrecha franja sur), **continental** (ocupando la mayor extensión de la península) y **mediterránea** (la franja este y Baleares). Dentro de la zona verde se han diferenciado las subregiones **marítima** (que abarca toda la costa cantábrica), **submarítima** (pegada a la anterior, hacia el interior de la península) y **pirenaica**.

La zona parda, en general, está caracterizada por veranos poco lluviosos o secos, destacando la región atlántica por el carácter templado de sus inviernos a causa de la influencia del Atlántico en esta estación.

Las **características continentales** definen el clima de la mayor parte de la península, estableciéndose una división entre clima continental atenuado (que aparece en la zona más occidental de la región continental) y clima continental extremado (ocupando el resto de la región continental e incluyendo a las Mesetas, a la depresión del Ebro y parte de las cuencas del Tajo, Guadiana y Guadalquivir).

Las **precipitaciones** varían enormemente en las diferentes zonas climáticas de la península. En la figura 4.2 aparece la clasificación climática basada en los índices de Thornthwaite, con máximos de lluvia correspondientes a la zona verde (N y NW español) entre 120 y 180 días de lluvia al año (FONT TULLOT,

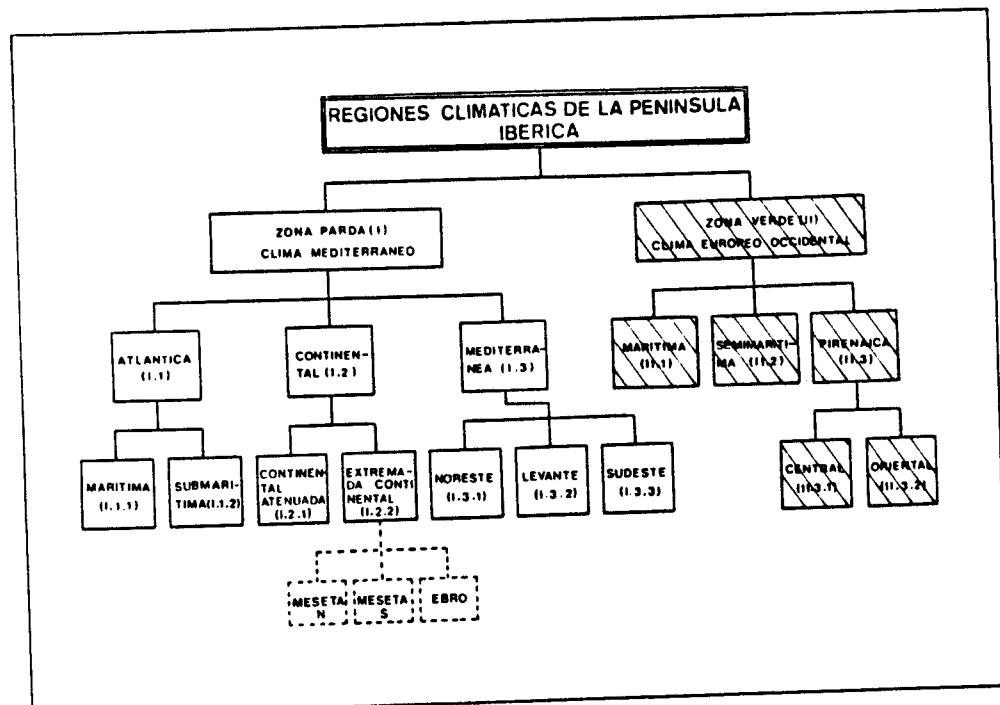
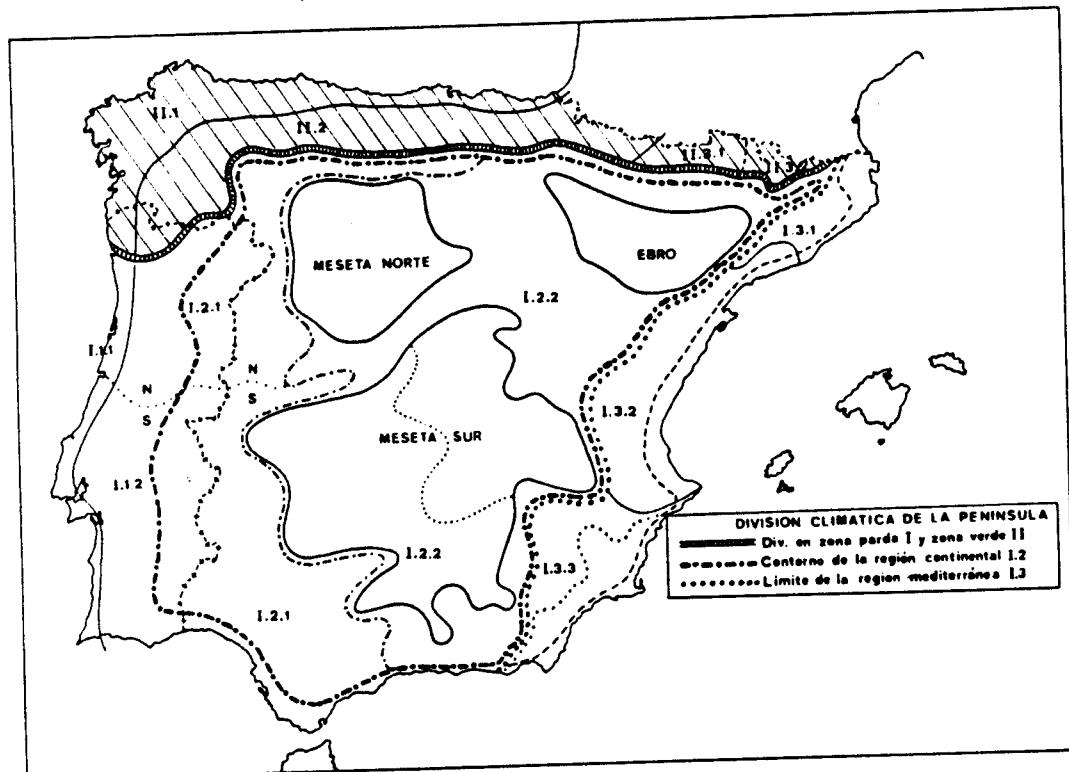
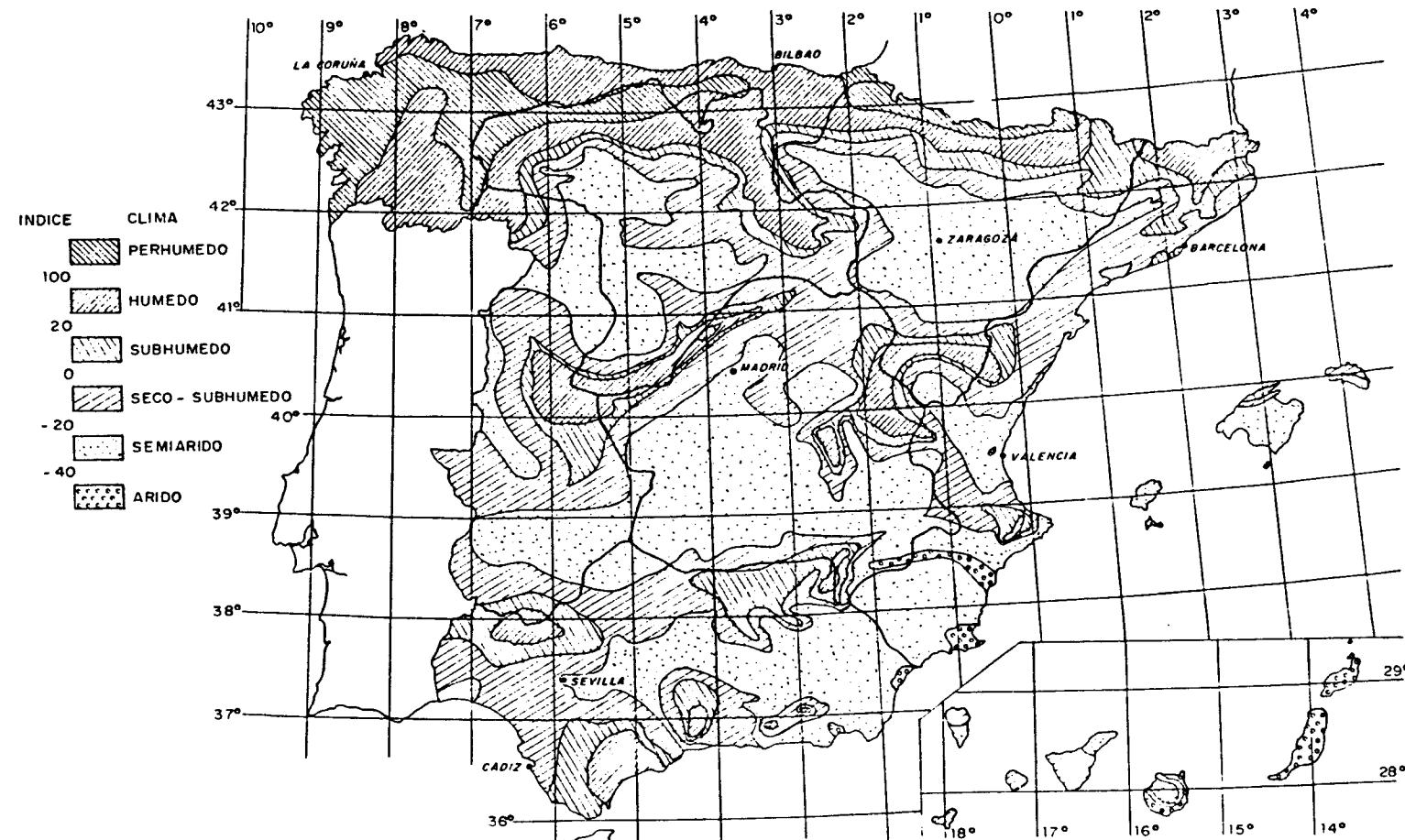


Figura 4.1. *Regiones climáticas de la península Ibérica* (FONT TULLOT, 1983).



168

4.2 Figura 4.2. Mapa climático simplificado de España con los índices de Thornthwaite (Completado de JUSTO y CUÉLLAR, 1972 y RODRÍGUEZ, 1975 en IGME, 1986).

1983); las áreas con clima continental del norte y centro (excluyendo las Mesetas y la cuenca del Ebro) presentan entre 80 y 120 días de lluvia/año; el resto de la región continental (Mesetas y cuencas del Ebro, Tajo, Guadiana y Guadalquivir) tienen entre 40 y 80 días de lluvia al año; por último, la región mediterránea del NE y Levante y Baleares presentan entre 40 y 60 días de lluvia, con algunas zonas de menor precipitación en la cuenca del Ebro y provincias de Castellón, Valencia y Alicante; el área SE presenta los mínimos con 20-40 días de lluvia/año y zonas en las provincias de Almería y Murcia con menos de 20 días de lluvia, correspondiendo a las áreas más áridas de la península.

Las Islas Canarias, por sus condiciones especiales de situación y orografía, presentan gran diversidad en sus características climáticas. En general, los valles y laderas expuestas a los vientos del NW y NE son relativamente lluviosos, siendo las lluvias muy escasas en las zonas resguardadas de dichos vientos (FONT TULLOT, 1983). La mayor frecuencia de las lluvias tiene lugar en la segunda mitad del Otoño. En la figura 4.3 aparece un mapa pluviométrico anual detallado para las Islas Canarias.

Así pues, el amplio rango de variación de la precipitación en España permite una clasificación de climas desde perhúmedos a áridos (figura 4.2).

Algunos tipos de movimientos del terreno presen-

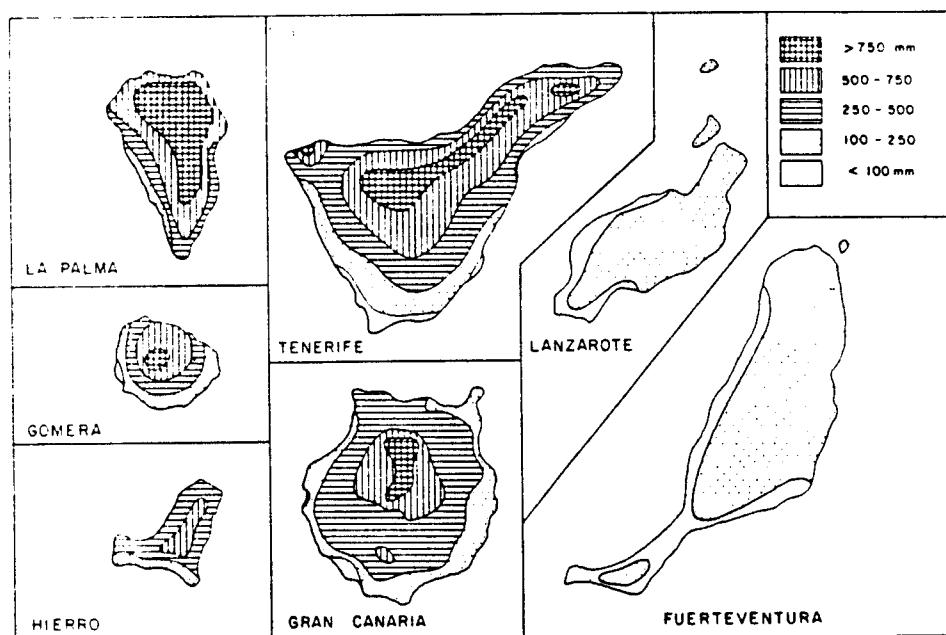


Figura 4.3. Mapa pluviométrico anual de las Islas Canarias (FONT TULLOT, 1983).

tan una clara asociación con estas características climáticas del país, como ya ha sido comentado. Los movimientos de laderas, por ejemplo (figura 5.3), tienen amplia representación en el norte de la península por la abundante presencia de agua y su carácter montañoso; en zonas menos elevadas, los movimientos de laderas asociados a la presencia de agua son en general de tipo flujo (reptaciones, solifluxio-

nes, coladas de barro, etc.) y deslizamientos en formaciones blandas. Los movimientos por expansividad de arcillas se manifiestan mayoritariamente en aquellas zonas con climas de carácter continental subhúmedo, seco o semiárido (figura 6.10), en donde la presencia de precipitaciones es menor de 60-80 días/año de media y cuando tienen lugar provocan el cambio de las condiciones naturales del terreno.

5. LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO DE COMPONENTE HORIZONTAL

5.1. Los movimientos de laderas

5.1.1. Los fenómenos

Los movimientos de laderas son procesos dinámicos que engloban, en general, a los movimientos gravitacionales de material que tienen lugar en las laderas o taludes.

Dentro del grupo de los relacionados con la geodinámica externa, los movimientos de laderas son los más extendidos.

Las variaciones en las condiciones de estabilidad de las laderas provocan fenómenos de reajuste que pueden manifestarse en forma de **movimientos gravitacionales de masa** que a veces involucran un volumen importante de material.

El elevado número de factores que influyen, con-

dicionan y provocan los movimientos de laderas, tanto intrínsecos al material como externo a él, da lugar a una gran variación en las tipologías de los movimientos, mecanismos de rotura, escalas y velocidades de desplazamiento.

Deslizamientos y desprendimientos son los tipos de movimientos más extendidos, frecuentes en taludes de carreteras, vías de ferrocarril y minería a cielo abierto, y en laderas de embalses, valles fluviales y zonas montañosas en general. Los desprendimientos se diferencian de los deslizamientos porque una parte de la trayectoria del material es aérea.

Los movimientos de laderas son uno de los procesos erosivos más extendidos, provocando la destrucción de vertientes en cualquier región climática y afectando a todo tipo de materiales y morfologías.



Figura 5.1. Cabecera del deslizamiento del Puerto de Los Alazores, Málaga (Foto: J. J. DURÁN).

25

v. diapositiva

la foto stá al revés 31

hay que girarla

TIPO DE MOVIMIENTO	CLASE DE MATERIAL		RANGO GENERAL DE VELOCIDAD EN LOS MOVIMIENTOS (cms/sg)
	MEDIOS ROCOSOS	SUELOS	
DESPRENDIMIENTOS	<p>Basculamiento Vuelco por descalce Deslizamiento y basculamiento</p>		$10^5 \ 10^4 \ 10^3 \ 10^2 \ 10^1 \ 10^0 \ 10^{-1} \ 10^{-2} \ 10^{-3} \ 10^{-4} \ 10^{-5} \ 10^{-6} \ 10^{-7} \ 10^{-8}$ EXTREM RAPIDO MUY RAPIDO RAPIDO LENTO MUY LENTO EXTR LENTO 10m/sg 1m/min. 1m/dia 1m/mes 1m/año 1cm/año
VUELCOS (toppling)	<p>Por flexión De bloques Mixto</p>		--
DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES			--
DESLIZAMIENTOS TRASLACIONALES	<p>Planares Cuñas 1) Cuñas directas Cuña inversa</p>	<p>En contacto suelo-roca</p>	1) 2) 3)

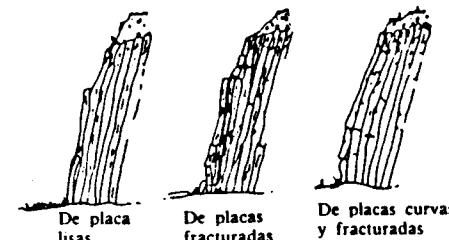
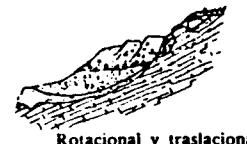
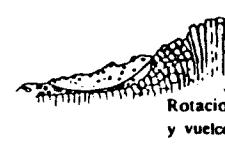
	PANDEO (Buckling)		
	 <p>De placa lisas De placas fracturadas De placas curvas y fracturadas</p>		
EXTENSIONES LATERALES			
COLADAS		 2) Avalanche	 3) Colada de barro
MOVIMIENTOS COMPLEJOS	 Rotacional y translacional	 Cuña y «debris flow»	 Rotacional y vuelco
	<p>ESQUEMA GEOMORFOLOGICO Y MOVIMIENTOS QUE PUEDEN ASOCIARSE</p>		

Figura 5.1. Cuadro general de movimientos de ladera (IGME, 1987).

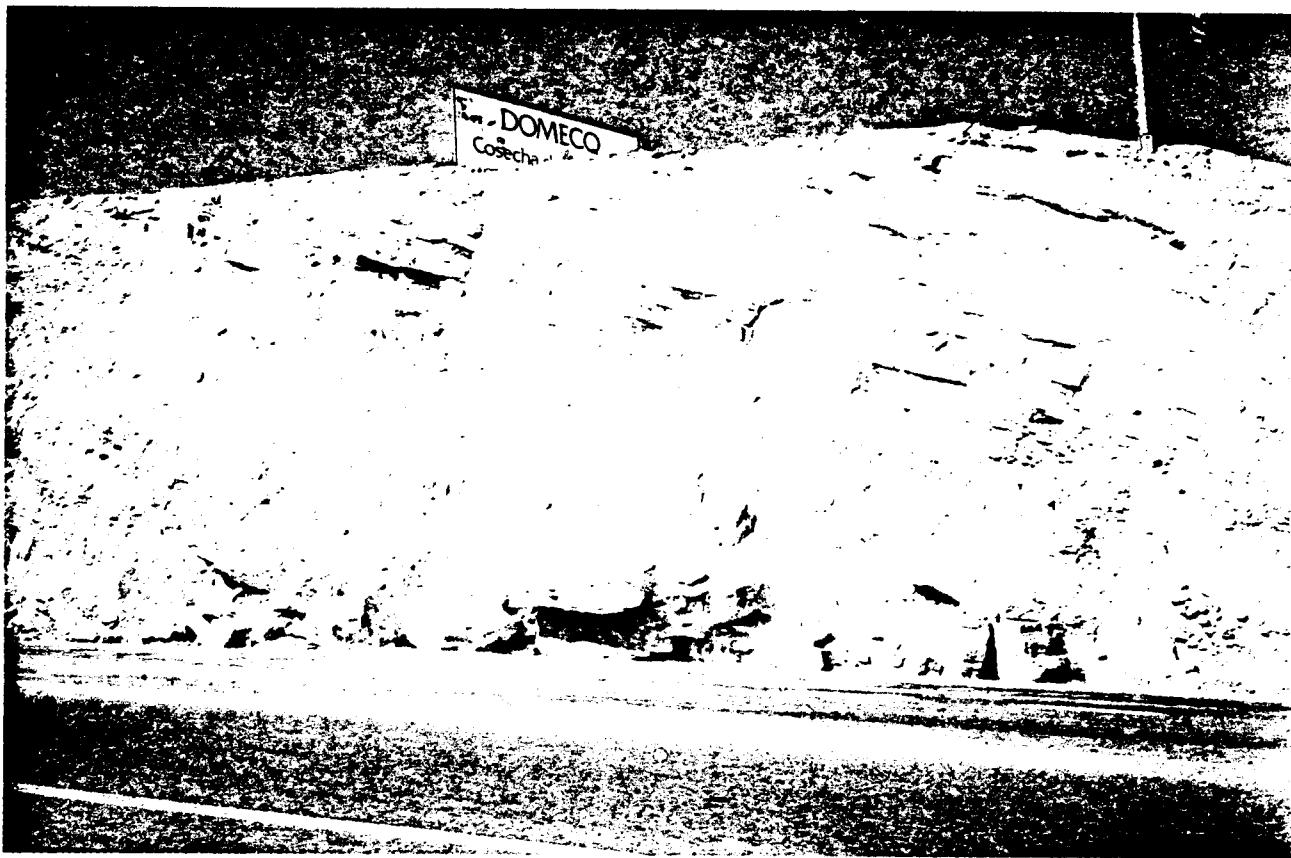


Figura 5.2. Desprendimiento de bloques en El Molar, Madrid (Foto: M. FERRER).

Su clasificación es difícil al estar involucrados gran número de factores influyentes, bien condicionantes o desencadenantes de la rotura y posterior movimiento del material. Su ocurrencia en lugares poblados por el hombre o afectados por sus construcciones constituye el riesgo ligado a este tipo de fenómenos.

En el cuadro 5.1 aparece una clasificación general de los movimientos de laderas incluyendo los rangos generales de velocidad para los diferentes tipos (IGME, 1987).

Los factores derivados de **actividades humanas** que pueden provocar movimientos de laderas son un aspecto importante a tener en cuenta en cuanto a la predicción y prevención de los mismos. Las grandes excavaciones y obras lineales, las voladuras y las construcciones de embalses y escombreras sobre laderas pueden dar lugar al desarrollo de inestabilidades con resultados desastrosos y cuantiosas pérdidas económicas.

En **zonas montañosas**, con pendientes abruptas y grandes relieves, es frecuente este tipo de fenómenos; no obstante, su importancia y riesgo no son considerados al no ser zonas pobladas en su mayoría ni constituir un peligro directo para el hombre los movimientos que aquí tienen lugar. En estas áreas el mayor efecto es el causado sobre la topografía (erosión, interrupciones de cauces fluviales, creación de lagunas artificiales, aterramientos, etc.).

5.1.2. Distribución geográfica y principales tipologías en España

En la figura 5.3 aparece un esquema con la distribución de los movimientos de laderas en España. Se han representado zonas con **movimientos actuales y/o potenciales**, diferenciando entre áreas con deslizamientos predominantes, áreas con desprendimientos y áreas con ambos tipos de fenómenos.

Dentro del término **deslizamiento** se han incluido otro tipo de movimientos de laderas, como los flujos, reptaciones o solifluxiones, y dentro del término **desprendimiento** se han contemplado, asimismo, las avalanchas rocosas o de derrubios.

La escala y temática del Mapa de Movimientos del Terreno (1:1.000.000) no aconseja la contemplación de fenómenos locales ni tipos de movimientos más detallados, aspectos que, tanto por su proliferación como especialmente por la desigual información disponible según las zonas, podrían contribuir a una complejidad contraria al objetivo que se persigue con esta cartografía general, así como a una información distorsionada. Por tanto, con la clasificación establecida se ha pretendido la distinción entre movimientos de material que «desliza» (deslizamientos en formaciones blandas en general) y material que se desprende o sufre caída repentina (desprendimientos en formaciones rocosas, sean cuñas, vuelcos, etc.).

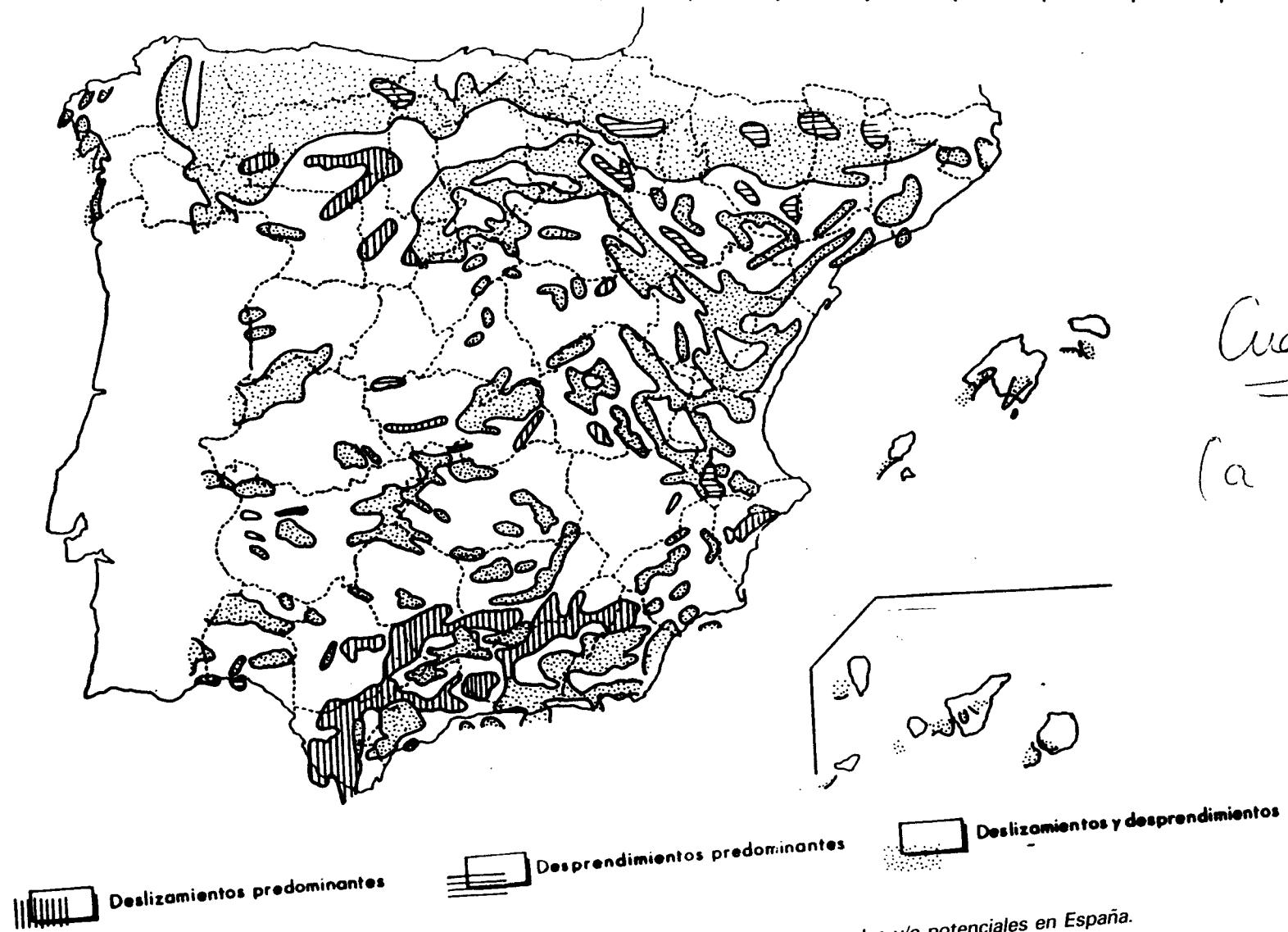


Figura 5.3. Distribución esquemática de los movimientos de ladera actuales y/o potenciales en España.

165

Los deslizamientos son movimientos gravitacionales de masas de roca o suelo que deslizan sobre una o varias **superficies de rotura**, más o menos netas, al superarse la resistencia al corte en estos planos. El material se mueve en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido. Su velocidad puede ser muy variable, pero en general son procesos rápidos que pueden llegar a alcanzar grandes proporciones (millones de metros cúbicos).

La diferente geometría del plano de rotura, así como el tipo de material involucrado, son los factores fundamentales contemplados en las clasificaciones de deslizamientos. Los deslizamientos en formaciones poco competentes (suelos o macizos rocosos fracturados y muy alterados) suelen producirse a favor de superficies de rotura curvas superficiales o profundas (figura 5.4), recibiendo el nombre de **deslizamientos rotacionales**.

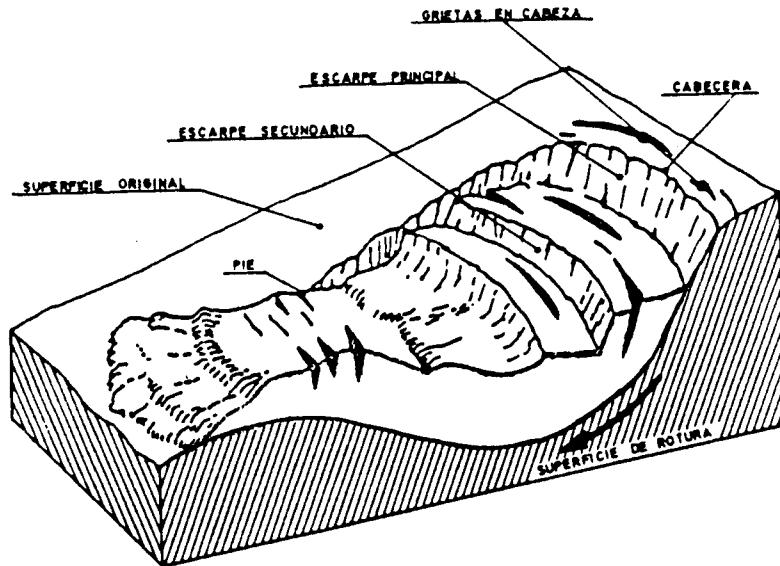


Figura 5.4. Esquema de deslizamiento rotacional simple (modificado de VARNES, 1958).

En formaciones rocosas fracturadas pueden tener lugar deslizamientos a favor de planos de debilidad (discontinuidades estructurales o superficies de contacto entre materiales de diferente competencia) con

direcciones más o menos paralelas a la cara del talud. La rotura suele ser poco profunda en relación a su longitud y reciben el nombre de **deslizamientos translacionales** (figuras 5.5 y 5.6).

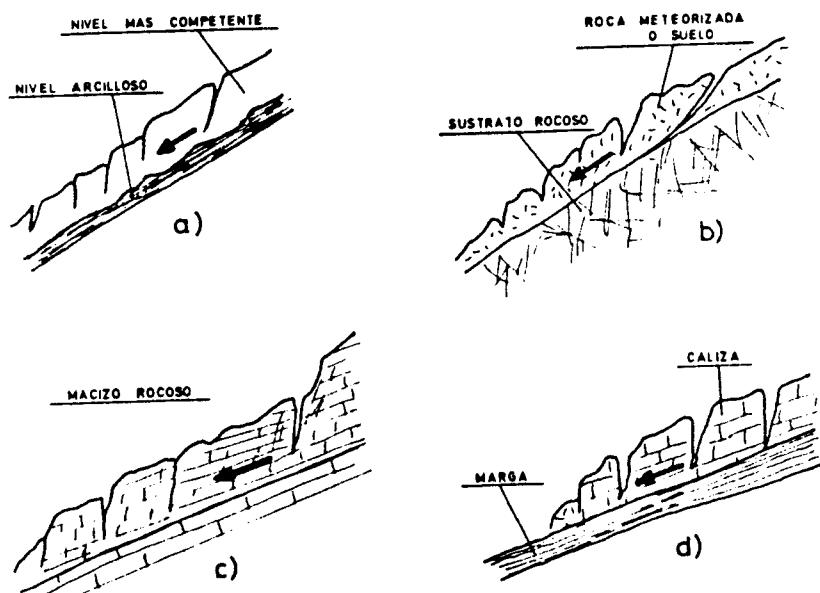


Figura 5.5. Esquemas de deslizamientos translacionales (FERRER, 1987).

En formaciones menos competentes (suelos cohesivos, por ejemplo) este tipo de movimientos puede tener lugar a favor de niveles más o menos duros intercalados y con buzamientos en el mismo sentido de la pendiente.

Los movimientos tipo flujo (movimientos de ma-

sa característicos de materiales sin cohesión) suelen tener lugar en suelos muy susceptibles que actúan, temporalmente al menos, como un fluido; los flujos pueden ocurrir también en derrubios o fragmentos rocosos.

Las **reptaciones** y **solifluxiones** son movimientos

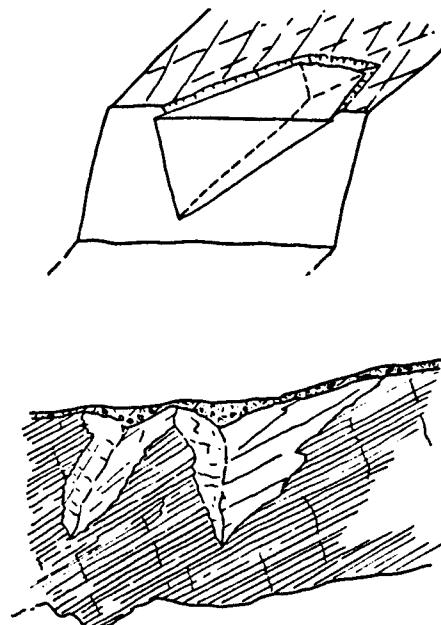


Figura 5.6. Desprendimientos de bloques tipo cuña (IGME, 1987).

de laderas encuadrados dentro de los flujos y que afectan a suelos o sustratos meteorizados.

Los desprendimientos incluyen las caídas de bloques de material de un talud, individualizados por

superficies de rotura, con caída libre al menos en parte de su recorrido. Generalmente, este mecanismo ocurre en laderas escarpadas o en acantilados rocosos, pudiendo afectar, también, a suelos cohesivos.

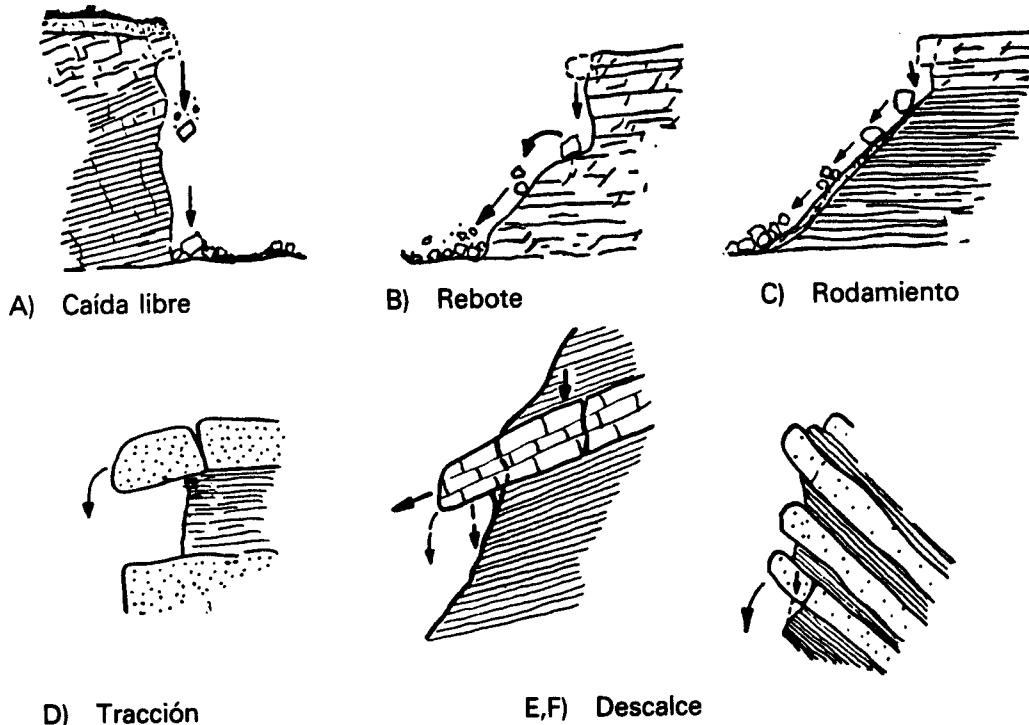


Figura 5.7. Posibles trayectorias de los desprendimientos (A,B,C) y diferentes tipos de roturas por desprendimientos (D,E,F) (IGME, 1987).

Los planos de rotura pueden ser discontinuidades estructurales o grietas de tracción, provocadas por el estado tensional a que se encuentra sometido el material o por acción del agua (figura 5.7).

Como queda reflejado en la figura 5.3, gran parte del territorio español se encuentra afectado por la posibilidad de existencia de movimientos de ladera.

Las zonas montañosas correspondientes a la Cordillera Cantábrica, Pirineos, Cadenas Costero-Catalana, Ibérica y Béticas, aparecen cartografiadas co-

mo áreas propensas a los deslizamientos y desprendimientos en general. En menor medida aparecen también áreas situadas en las zonas Centro Ibérica, Sur-Portuguesa y Ossa-Morena del Macizo Hespérico. Los tipos de movimientos posibles en estas áreas son los **desprendimientos y deslizamientos rocosos** en formaciones competentes o **deslizamientos rotacionales y complejos y movimientos tipo flujo** en formaciones blandas, suelos o sustratos alterados que aparecen en estas zonas.

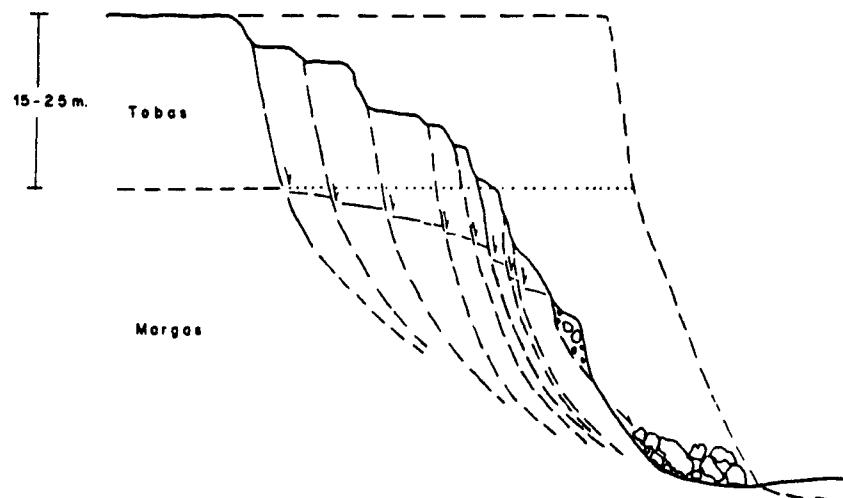


Figura 5.8. Deslizamientos escalonados afectando a tobas pleistocenas y a margas miocenas en la zona de Alcoy (Valencia) producidos por socavación en el pie y empapamiento de las margas (IGME, 1984).

Como lugares más propensos a los **deslizamientos** aparecen algunas localizaciones en las Cuencas Terciarias del Guadalquivir, Tajo y Duero, caracterizadas por la presencia de materiales arenos-arcillosos y/o yesíferos que, debido al encajamiento de los ríos y a la erosión que sufren por parte de éstos, pueden

desarrollar este tipo de movimiento; los materiales triácticos y neógenos aflorantes en España, ampliamente representados en las Béticas, son propensos también a sufrir deslizamientos por sus características litológicas y resistentes.

En las figuras 5.8, 5.9 y 5.10 aparecen diversos ti-

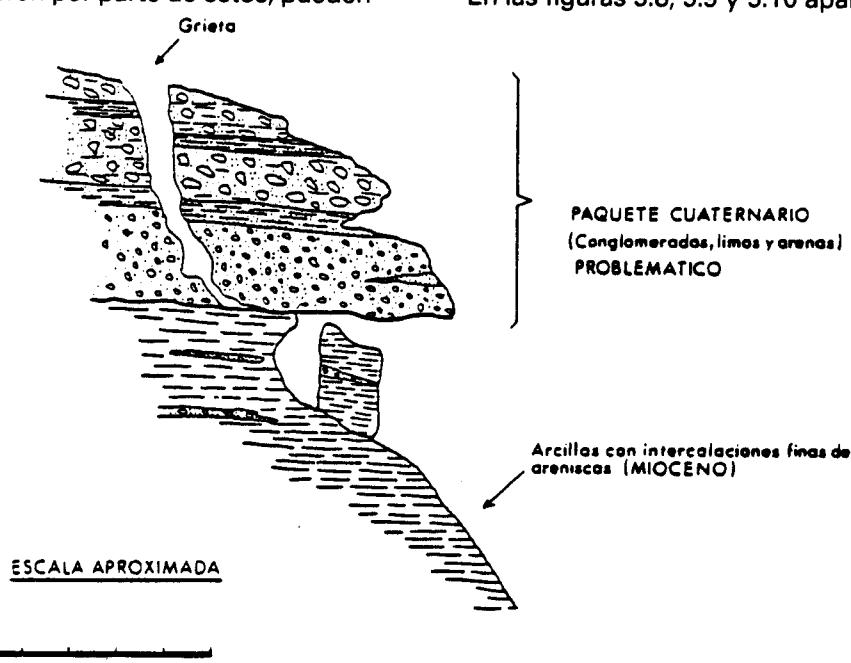


Figura 5.9. Ejemplo de desprendimiento en formaciones cuaternarias de la cuenca del Ebro (IGME, 1985).



Figura 5.10. Deslizamiento en margas del Tap en Alcoy, Valencia (Foto: F. J. AYALA).



Figura 5.11. Materiales volcánicos fracturados (por disyunción columnar) que provocan desprendimientos. San Sebastián de la Gomera, Canarias (Foto: M. FERRER).

pos de movimientos de laderas presentes en diferentes lugares de nuestra geografía, condicionados por factores como el relieve, clima, litología, etc.

Los **desprendimientos de bloques rocosos** son más significativos en las zonas montañosas abruptas y escarpadas de nuestro país y en depresiones fluviales con encajamientos, que dan lugar a paredes verticales de las que pueden desprenderse bloques por acción de la erosión diferencial en la base de los paquetes que forman el pie de las laderas. Las Islas Canarias, debido a su relieve abrupto y al carácter volcánico de los materiales que las constituyen (con coladas fracturadas y depósitos de piroclastos que dan laderas muy escarpadas), son propensas a la ocurrencia de desprendimientos de bloques que afectan, sobre todo, a vías de comunicación (figura 5.11).

5.1.3. Deslizamientos y desprendimientos inducidos por explotaciones mineras

La minería a cielo abierto necesita, para su desarrollo, de la construcción de taludes que en numerosas ocasiones presentan problemas de estabilidad. En general, las explotaciones de minerales metálicos,

que en su mayoría se encajan en rocas duras y masivas, presentan roturas mayormente controladas por la estructura geológica (tipo deslizamiento plano, rotura en cuña o desprendimiento); en las explotaciones a cielo abierto situadas en rocas de origen sedimentario las roturas que se producen son más complejas debido a la presencia de rocas menos competentes e intercalaciones de materiales diferentes.

En España son abundantes las explotaciones a cielo descubierto, lo que implica la presencia de inestabilidades relacionadas con las mismas. Las explotaciones de carbón, en concreto, presentan numerosos ejemplos de roturas en sus taludes, que, aunque en la mayoría de las explotaciones no llevan consigo la pérdida de vidas humanas, sí causan importantes pérdidas económicas.

En este tipo de minería las roturas de los taludes pueden ser parciales (de bancos) o totales, siendo frecuentes los **deslizamientos planos** a favor de superficies estructurales en los taludes de muro y los **vuelcos** en los taludes de techo (en explotaciones de capas inclinadas) y **roturas planas o circulares** (en explotaciones de capas subhorizontales) (figura 5.12).

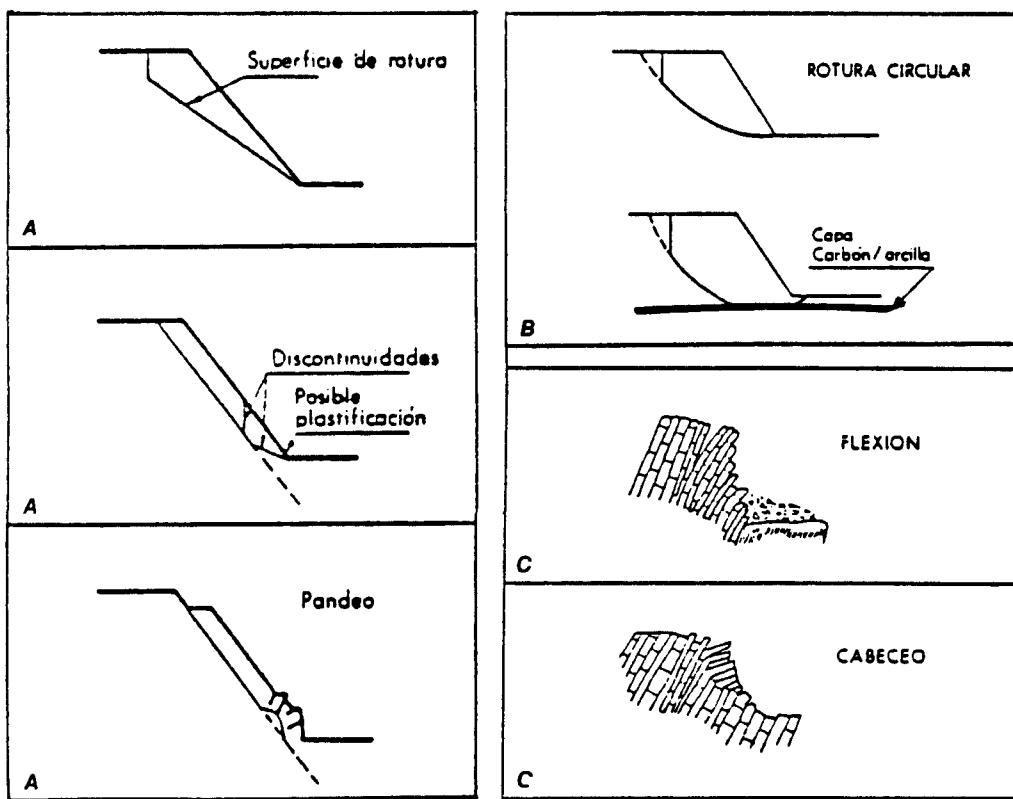


Figura 5.12. *Tipos de roturas más frecuentes en los taludes de las cortas: A) Roturas planas; B) Roturas circulares; C) Roturas por vuelco (GONZÁLEZ DE VALLEJO, 1982).*

En el Mapa de Movimientos del Terreno se han representado las mayores explotaciones mineras a cielo abierto, o áreas de acumulación de las mismas, como indicativos de zonas con ocurrencia actual y/o

potencial de deslizamientos y desprendimientos en sus taludes.

La gran proliferación de explotaciones de pequeñas dimensiones, generalmente para la extracción de



Figura 5.13. Localización de las principales explotaciones a cielo abierto en España.

rocas industriales, en todo el país hace que el riesgo de movimiento del terreno asociado esté muy extendido, si bien en proporciones muy pequeñas no considerables a la escala del Mapa. Las zonas con cortas de carbón y minerales metálicos, de mayores proporciones, sí representan posibles áreas de movimientos a tener en cuenta.

En España se pueden citar las zonas del Noroeste y Norte con explotaciones importantes de carbón, pizarras y hierro, entre otras, y la zona Noroeste y Sur, con minas de carbón y pirita principalmente. Menor acumulación de explotaciones aparecen en las áreas de Teruel-Zaragoza, Cartagena, Levante, Madrid y Salamanca. La presencia de canteras para áridos o rocas de construcción se reparte por toda España, dándose agrupaciones importantes en las zonas de Madrid, parte norte de la Cuenca del Duero, Levante, Cuenca del Ebro y Córdoba.

En las Islas Canarias abundan las explotaciones de picón, habiendo sido representadas en el Mapa las zonas más significativas. No obstante, las dimensiones de estas canteras no son comparables en su gran mayoría con las representadas en la península, aunque se ha considerado conveniente su inclusión en la cartografía.

Las Islas Baleares presentan, asimismo, alguna explotación importante de carbón y canteras para extracción de rocas industriales que también han sido esquemáticamente representadas.

En la figura 5.13 se han representado puntualmente las zonas con presencia importante de explotaciones a cielo abierto en nuestro país.

5.2. Dunas móviles

5.2.1. El fenómeno

Las dunas constituyen un fenómeno ligado, generalmente, a las **zonas litorales**. La presencia de vientos dominantes hacia el interior de la costa da lugar a depósitos de arena de playa que se van configurando con diversas formas y que van variando su emplazamiento, constituyendo las llamadas dunas móviles.

Las dunas, típicas de costas bajas arenosas, pueden adoptar diferentes morfologías que dan pie a las clasificaciones en dunas longitudinales, transversales, parabólicas, barjanas, etc. (figura 5.14). Los **depósitos arenosos** son el resultado de procesos eólicos que actúan con distinta energía, dando así lugar a las diferentes tipologías de dunas. Sus elementos principales son el flanco de deflación (pendiente que mira la dirección del viento), la cresta de transporte, que constituye la parte más alta, y el frente de progresión o vertiente de acumulación; los surcos interdunares son los que separan dos frentes de dunas.

El proceso de avance de los edificios dunares, con direcciones variables según los vientos predominan-

tes, provoca la extensión del manto arenoso tierra adentro, cubriendo vías de comunicación o afectando a construcciones cercanas a la costa. La presencia de vegetación es un obstáculo para la movilidad de los frentes de dunas, tanto si ésta se encuentra sobre ellas como si aparece en su camino de avance.

5.2.2. Distribución geográfica

Los depósitos eólicos de dunas más o menos móviles se distribuyen a lo largo del litoral español casi en su totalidad. En la figura 5.15 se han representado las principales localizaciones de complejos dunares.

Las dunas del Parque Nacional de Doñana, en la provincia de Huelva, constituyen los depósitos más amplios y activos de nuestro país. La zona de dunas se encuentra situada entre el mar y las marismas del Guadalquivir, formando una banda continua de algunos metros de potencia en alineaciones paralelas a la costa; su velocidad de avance es de unos pocos metros al año.

A lo largo de la costa atlántica norte los complejos dunares más representativos son los de:

- Laredo, El Puntal, Somo y Liencres, en Santander.
- Salinas, en Asturias.
- Ría de Cedeira, Playa Frouxeira, entre Cabo Prioriño y Cabo Prior, Ría de Corme y Lage, Cabo Touriñán y Corrubedo, en La Coruña.
- Playa de la Lanzada, en Pontevedra.

En el litoral atlántico sur y litoral mediterráneo aparecen dunas móviles, aparte de las ya mencionadas del Parque Nacional de Doñana, en:

- Punta Umbría, en Huelva.
- Una banda comprendida entre Chipiona y el Puerto de Santa María, en las cercanías de Conil y en Barbate, en Cádiz.
- Punta del Sabinar y Cabo de Gata, en Almería.
- Torrevieja y Guardamar del Segura, en Alicante.
- Playa de Oliva y límites norte y sur de la Albufera, en Valencia.
- Bahía de Rosas y Pal, en Gerona.

En el Archipiélago Canario existen los depósitos dunares más representativos de Maspalomas en Gran Canaria, bien conservados y de gran extensión, y de Punta de Jandía y Playa de los Matos, al SW y NE de Fuerteventura, respectivamente.

En Baleares aparecen dunas no fósiles en la Bahía de Alcudia, al NE de Mallorca, y en las cercanías de la Rápita, al S de la misma isla; en Ibiza existen en la costa Sur, al oeste de Cabo Falcó.

Complejos dunares en el interior de la península aparecen en la Llanura Manchega y en la Cuenca del Duero.

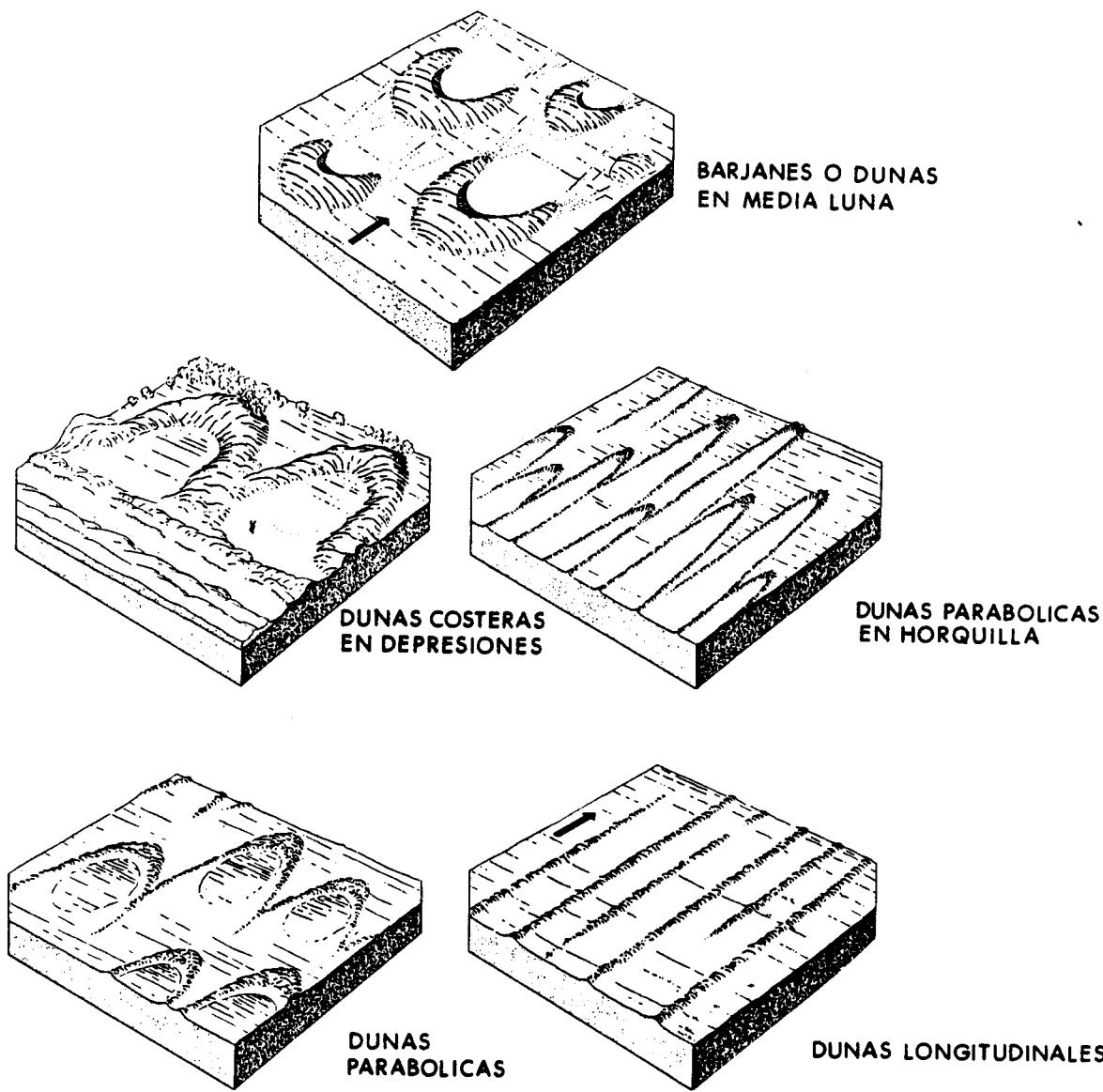


Figura 5.14. Diferentes tipos de dunas. La dirección del viento es la misma para los cuatro diagramas (STRAHLER, 1984).

Los depósitos eólicos mejor desarrollados y conservados de la Llanura Manchega se encuentran al N de la llanura aluvial de San Juan (al S de Alcázar de San Juan, en Ciudad Real), y están formados por dunas limo-arcillosas originadas en el Pleistoceno Superior.

Las dunas de la Cuenca del Duero se encuentran situadas al N de Castronuño, en la margen derecha, aguas abajo, del río Duero.

5.3. Procesos erosivos continentales

5.3.1. El fenómeno

El fenómeno de la erosión consiste en la **degradación y destrucción del material superficial** por acción del agua o del viento. De una forma amplia,

se puede considerar como el proceso geológico natural destructor del relieve y constituyente del ciclo geológico externo erosión-transporte-sedimentación (figura 5.17).

La erosión está íntimamente ligada a la dinámica geológica y climática del planeta, actuando en toda la superficie emergida del mismo con desigual intensidad, tanto en el espacio como en el tiempo.

El **factor climático** es prioritario en el control de amplias zonas en cuanto a la vulnerabilidad a la erosión, siendo ésta muy importante en áreas semihúmedas y semiáridas, que en nuestro país ocupan una importante extensión.

Del **factor geológico** se derivan aspectos fundamentales en el proceso erosivo: resistencia de los materiales, geomorfología, características hidrológicas, etc.

Los distintos tipos de erosión natural que se pre-



Figura 5.15. Situación de depósitos dunares activos en España.



Figura 5.16. Dunas activas en el Cabo de Gata, Almería (Foto: J. J. DURÁN).

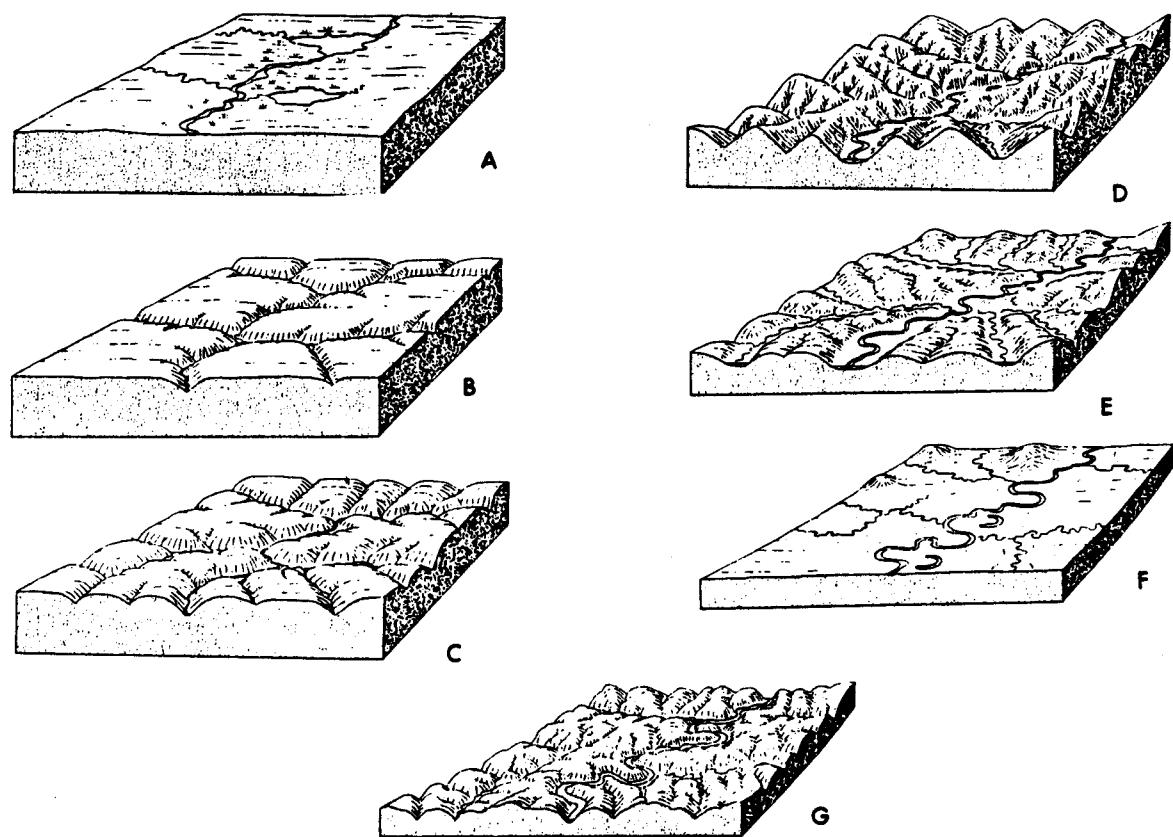


Figura 5.17. Ciclo de erosión continental en clima húmedo desde el estado inicial (A) al rejuvenecimiento que da lugar al comienzo de un nuevo ciclo (G) (STRAHLER, 1984).

sentan responden, en general, a las características de los sistemas morfogenéticos y morfoclimáticos en que se encuentran: glaciar, periglaciar, eólico, marino litoral, hídrico-fluvial y kárstico.

La incidencia del hombre en el medio ha dado lugar a hablar de **erosión antrópica**, que cobra una muy importante magnitud en áreas de difícil equilibrio y/o fuertemente humanizadas. La modificación de la dinámica fluvial y de los usos del suelo (tala

de bosques, sobrecultivo, pastoreo, explotaciones mineras y grandes obras) y los cambios climáticos inducidos por el hombre han dado lugar a situaciones de erosión acelerada.

La erosión del suelo, en cuanto a pérdida de su productividad, no se limita a una sola zona climática o geográfica; está más extendida y presenta mayor intensidad de lo que cabría esperarse para unos niveles tolerables.



Figura 5.18. Proceso de erosión. Comienzo de acarcavamiento (Foto: J. J. DURÁN).

En general, y a nivel mundial, las zonas más propensas a la erosión las constituyen las regiones secas áridas y semiáridas, en las que la cobertura vegetal es nula o escasa, y las regiones templadas con clima de carácter mediterráneo (con pluviometría escasa y de carácter aleatorio).

5.3.2. Distribución geográfica

En España, por el hecho de ser un país de clima mediterráneo y encontrarse en la zona templada, los procesos de degradación del suelo se llevan a cabo principalmente mediante la **erosión hídrica**. El régimen de escasa pluviometría y precipitaciones aleatorias de altas intensidades del Sur y Este español dan lugar a fenómenos graves de erosión, sobre todo en las provincias de Almería, Murcia, Alicante y Granada (LÓPEZ CADENAS, 1987).

Las cuencas hidrográficas constituyen, por razo-

nes debidas a la climatología, relieve y desforestación, zonas propensas para la producción de avenidas de carácter torrencial que conllevan procesos erosivos con la consiguiente pérdida de suelo y vegetación en estas áreas, que quedan así preparadas para un nuevo arrastre de material ante futuras avenidas. Las Cuencas del Duero, Segura, Llobregat, y en general las de Levante, Cataluña, Aragón, ramblas del Sureste y Norte (en Vizcaya y Alava principalmente) sufren fenómenos de este tipo que hacen que sean consideradas como áreas con procesos erosivos predominantes en España.

En general, más del 30% de la superficie de nuestro país sufre fenómenos de erosión importantes, estando otro 45% afectado por fenómenos de erosión moderada que pueden agravarse considerablemente. En la figura 5.20 se han representado las zonas de España más expuestas a procesos erosivos en la actualidad.

¡ la foto está boca abajo !

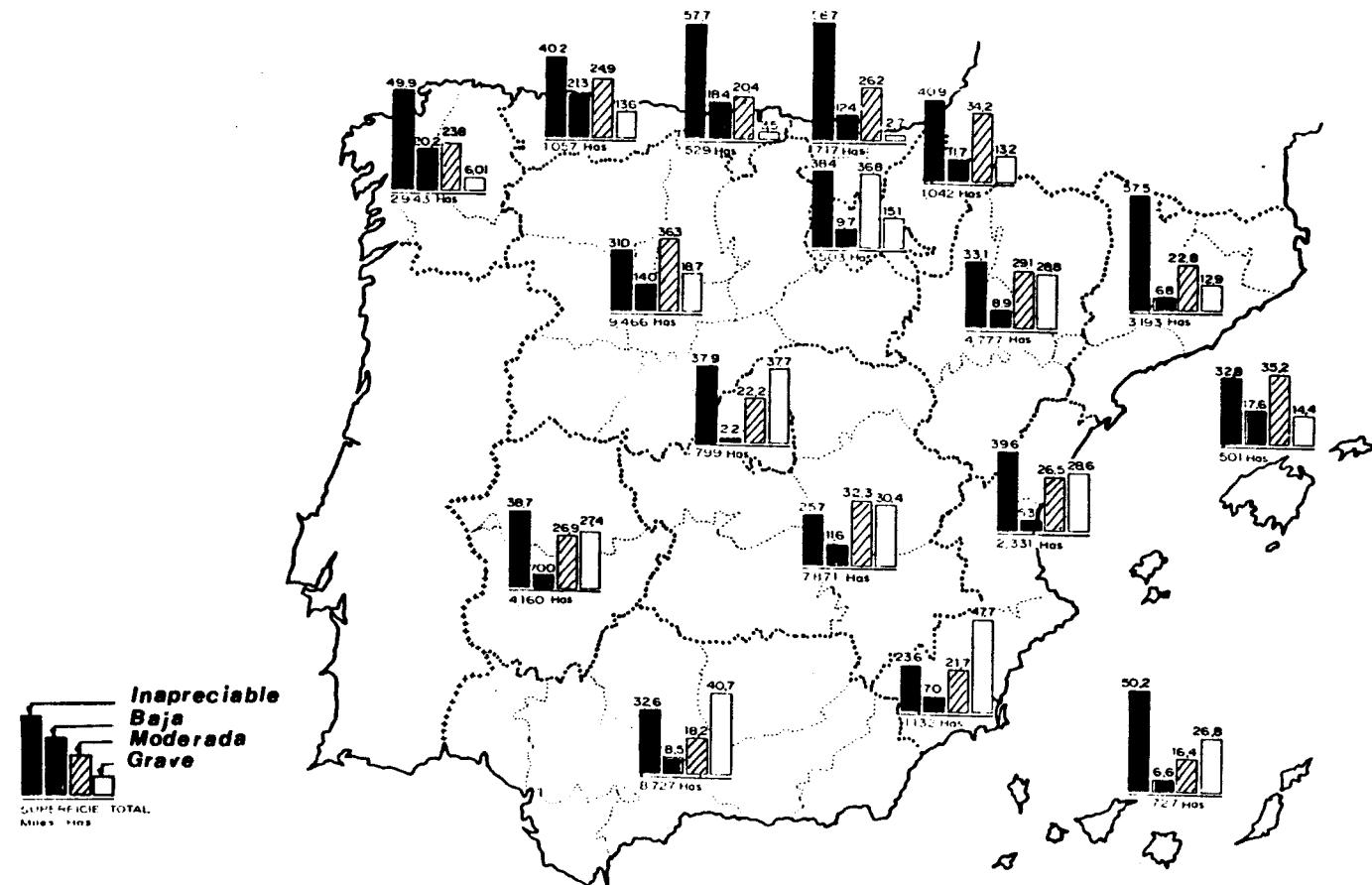


Figura 5.20. Grados de erosión en España en % (MOPU, 1985).

Centrarla

7h
7h

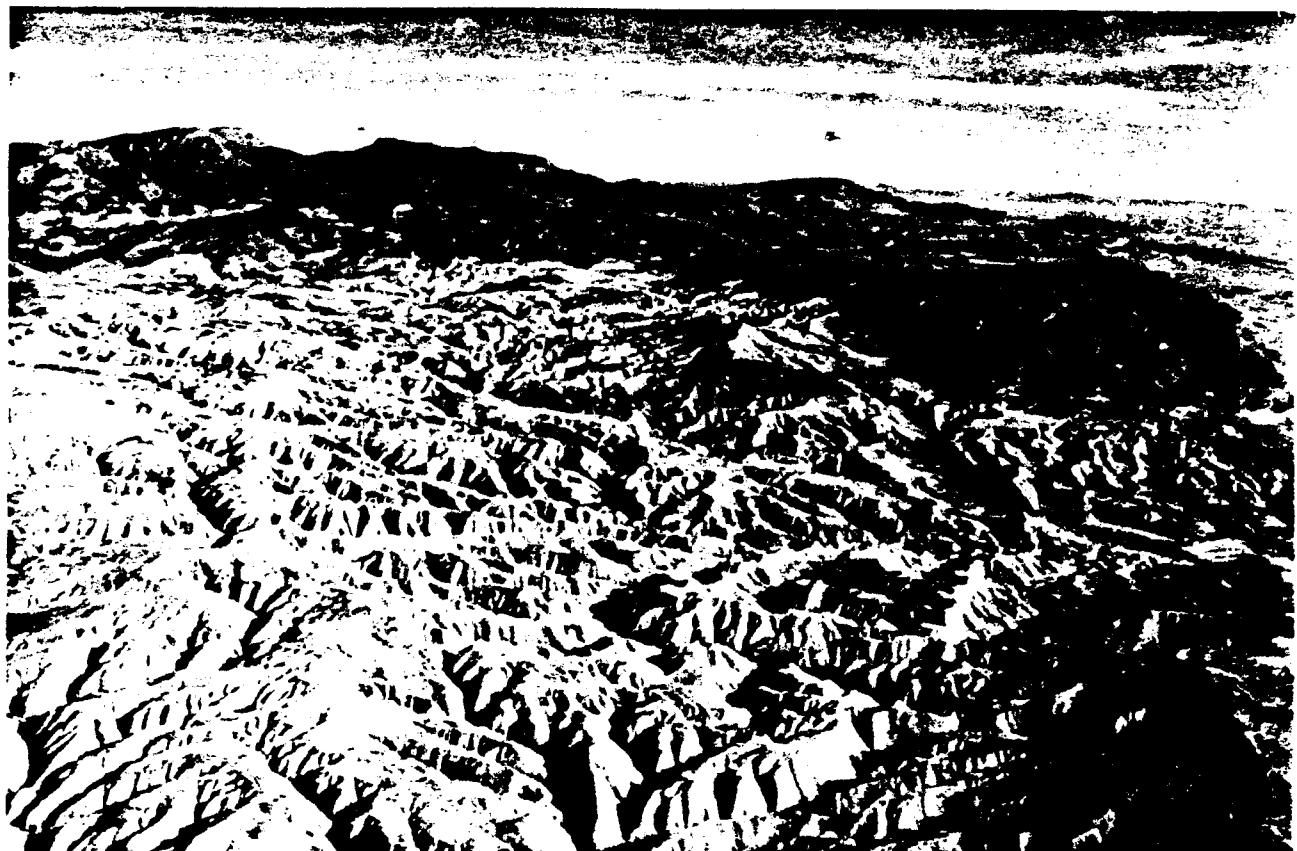


Figura 5.19. Panorama de una zona desértica en Almería, con intenso acarcavamiento y destrucción del suelo (Foto: J. J. DURÁN).

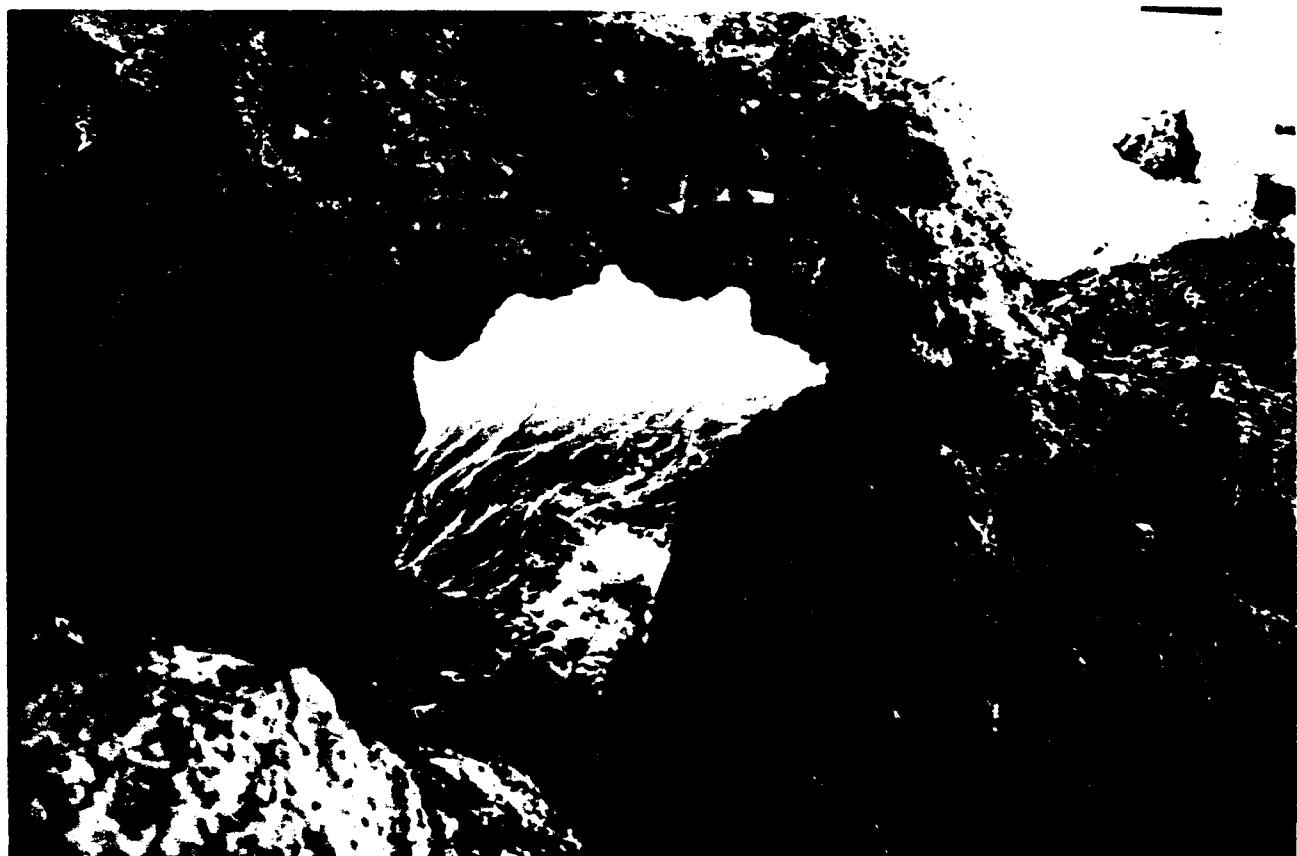


Figura 5.21. Erosión de un acantilado por acción del oleaje en Torremolinos, Málaga (Foto: F. ALONSO).

minúscula

5.4. Procesos erosivos y sedimentarios costeros (dinámica Litoral)

5.4.1. Los fenómenos

Los procesos dinámicos litorales están controlados por el oleaje de las corrientes de marea y los cambios relativos en el nivel del mar (relacionados en gran parte con los cambios climáticos) (DABRIO Y ZAZO, 1987).

En la franja costera, situada entre el dominio continental y el marino, tienen lugar gran número de procesos que dan lugar a fenómenos de erosión o sedimentación de materiales. En función de los regímenes dominantes y de las características litológicas y morfológicas de los materiales presentes pueden aparecer costas acantiladas o escarpadas, costas bajas arenosas (playas) y costas accidentadas con presencia de rías o estuarios.

En las **costas abruptas** el proceso predominante es el erosivo, atacando el oleaje a los materiales competentes que forman los acantilados y dando lugar al retroceso de la línea de costa con el paso del tiempo. Los materiales arrancados son transportados y depositados en otros lugares o a pie de los propios acantilados (figura 5.21).

Las **playas** están formadas por acumulación de arena debida a la acción del oleaje, y pueden aparecer a pie de acantilados o unidas a tierra firme. Esta acumulación de material fino puede dar lugar también a la formación de otro tipo de estructuras sedimentarias, como las flechas litorales o las barras arenosas.

Las playas pueden sufrir procesos erosivos si existen obstáculos en la costa que impidan la deposición de materiales y las corrientes de marea actuantes en la zona no transportan material para su sedimentación o inciden en la playa con direcciones favorables a la erosión (figura 5.22).

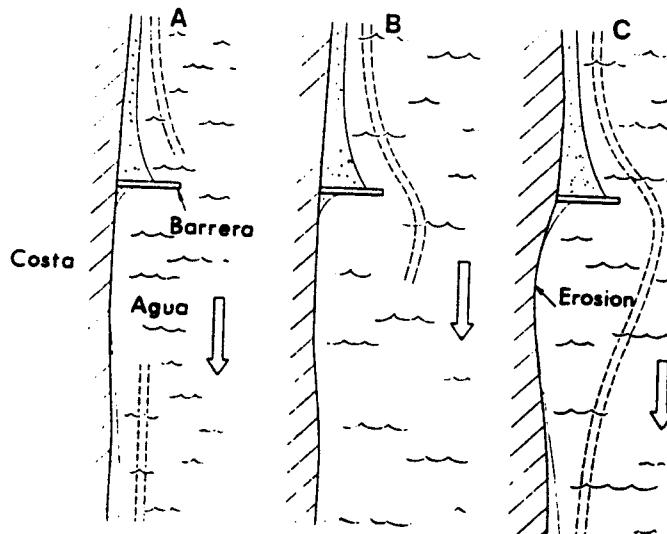


Figura 5.22. Proceso erosivo en una playa como consecuencia de la construcción de un dique transversal (RAHN, 1986).

En general, la formación de flechas litorales, barras arenosas, marismas y deltas son procesos dinámicos que confieren a las costas un carácter móvil con geometrías cambiantes. Las **flechas litorales** crecen a favor de la deriva litoral y protegen a la costa del oleaje, mientras que los **deltas** pueden progresar mar adentro, en sentido perpendicular a la costa. Los **deltas** se producen por acumulación de material de origen continental en las desembocaduras de los ríos, estando dominadas estas zonas por la interacción de los procesos fluviales y de oleaje; los materiales dominantes suelen ser finos, pero existen también deltas de gravas asociados a ramblas litorales (figura 5.23).

La formación de **barras arenosas** puede dar lugar al aislamiento de zonas de llanura mareal o playa que quedan así protegidas de la acción directa del mar,

convirtiéndose en **marismas fangosas** en las que se produce una colonización por la vegetación y, en el caso de que no existan conductos de unión con el mar, puede llegar a colmatarse por la deposición de material fino (figura 5.25).

Las **rías** y **estuarios**, entrantes costeros donde desembocan ríos, son zonas influenciadas por la acción de la marea principalmente, y en menor medida por la del oleaje.

5.4.2. Distribución geográfica

España posee 3.900 km de costas sobre un perímetro total peninsular de 5.850 km, a los que hay que añadir 2.000 km correspondientes a las islas Canarias y Baleares y a Ceuta y Melilla. Tan gran extensión de litoral obliga a la consideración de los pro-

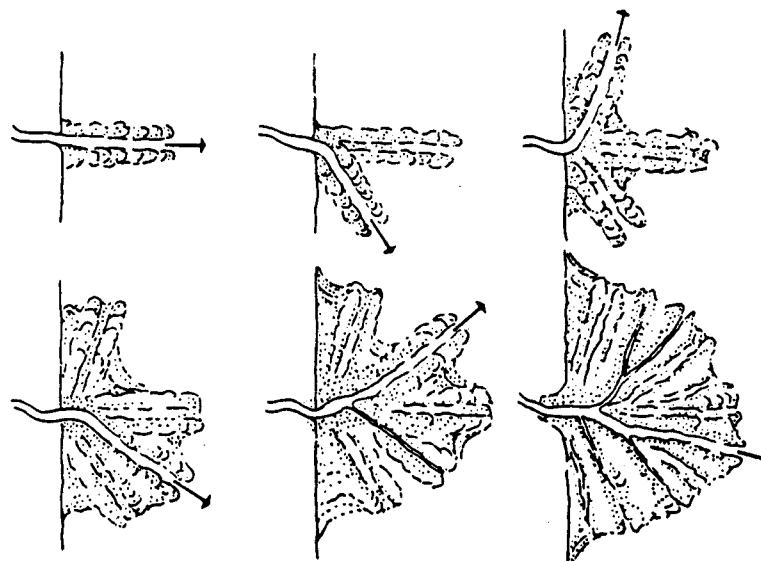


Figura 5.23. Estados de la formación de un delta simple (STRAHLER, 1984).

cesos dinámicos que en este medio tienen lugar. El proceso acelerado de ocupación de la costa española permanente o estacionalmente, por otro lado, supone también la introducción de nuevos factores influyentes en su equilibrio natural.

En la figura 5.27 se han representado, a grandes rasgos, las costas predominantemente acantiladas o arenosas de nuestro litoral. Los aportes fluviales al mar constituyen, en gran medida, el material que se deposita en la costa, por lo que las zonas escarpadas y altas serán reflejo de la falta de aportes y la consiguiente erosión, como sucede en el litoral Cantábrico y Gallego en general. Las playas arenosas, asociadas a entrantes costeros casi siempre, son abundantes en el litoral mediterráneo y atlántico sur. El SE peninsular se caracteriza por la presencia de grandes playas adosadas a acantilados con carácter erosivo.

La naturaleza del material en contacto con el mar caracteriza el modelado de la costa. Las rocas carbonatadas dan formas de acantilados agrietados e irregulares, por la acción soluble del agua, como los que aparecen en el Mediterráneo español; las rocas cristalinas afloran en la Costa Brava, dando lugar a pequeños o impresionantes acantilados; los escarpes en materiales detriticos suelen ser de pequeñas dimensiones y están muy afectados por la erosión, como algunos que forman parte del litoral de Huelva.

El crecimiento de las **flechas litorales**, a partir de los cordones arenosos litorales y a favor de las corrientes de marea, puede provocar el aislamiento de una bahía dando lugar a la creación de mares interiores, como es el caso del Mar Menor en Murcia, que se convierten en lagunas con el paso del tiempo, como la Albufera de Valencia.

Las flechas litorales más representativas en la cos-

ta española se han señalado en el mapa de la figura 5.28, y corresponden a las de:

- El Rompido, Punta Umbría y Doñana, en Huelva: estas flechas crecen hacia el E, SE y S, respectivamente, provocando importantes modificaciones del litoral y del perfil de las playas. La flecha de El Rompido ha dado lugar a un considerable cambio en la morfología de la desembocadura del río Piedras, desplazando varios kilómetros al E la salida del agua fluvial al mar (figura 5.26).
- Valdelagrana, en la Bahía de Cádiz.
- Punta del Sabinar, en Almería.
- Mar Menor, en Murcia.
- Guardamar de Segura y Santa Pola, en Alicante.
- La Albufera, en Valencia.
- El Delta del Ebro, en Tarragona; en este caso las flechas litorales, formadas al N y S del depósito deltaico, progradan hacia la costa en sentido perpendicular a la misma.

Marismas bien desarrolladas y extensas aparecen en la desembocadura del Guadalquivir, ocupando parte de las provincias de Sevilla, Huelva y Cádiz, y con menor desarrollo en la unión y desembocadura de los ríos Tinto y Odiel, en Huelva, y en la desembocadura del río Guadalete en la Bahía de Cádiz (figura 5.28).

Los **deltas** aparecen en el litoral mediterráneo, asociados a costas arenosas con procesos de aportes de sedimentos fluviales. El delta del Ebro es el mayor de nuestras costas, constituyendo el más importante accidente geográfico de la costa E española por su considerable superficie. Su amplitud se debe a la gran carga de sedimentos que transporta el río Ebro y a la inexistencia de grandes mareas en el Mediterráneo; el mar es incapaz de extender los sedimentos arrastrados por el río.

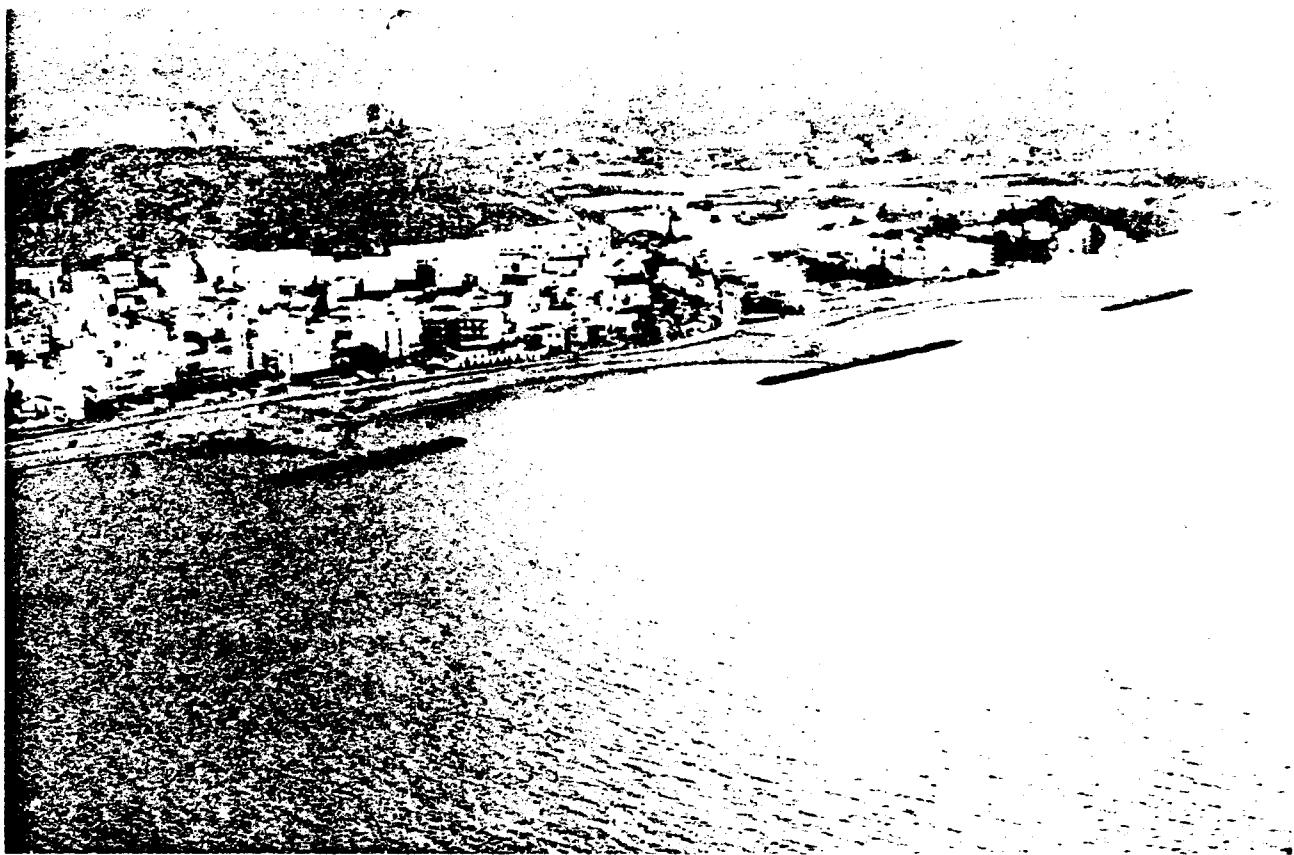


Figura 5.24. *Medidas estructurales contra la erosión de las playas de Granada* (Foto: J. J. DURÁN).



Fig. 5.25
Vista de las
marismas del
Guadalquivir
(Foto: M. FERRER)

✓ 5.25 pe *fotografía*

Figura 5.25. Vista de las marismas del Guadalquivir. (Foto:

51
45

Como representativos cabe citar también los deltas de los ríos Vélez-Málaga (en Málaga), Guadalfeo (en Granada), Adra, Andarax y Almanzora (en Almería), Palancia (en Valencia), Mijares (en Castellón) y Llobregat y Tordera (en Barcelona).

El litoral cantábrico está caracterizado, además de por sus costas escarpadas y abruptas, por la presencia de rías de gran extensión en algunos casos que le confieren un aspecto muy recortado e irregular. Entre éstas se pueden citar las rías de Vigo, Pontevedra, Arosa, Muros y Noya, Betanzos y Ortigueira, en Galicia, y las menos desarrolladas de Ribadeo, Avilés, Pravia y Villaviciosa, en Asturias, y algunas otras en las costas de Cantabria y el País Vasco (figura 5.28).

En el litoral atlántico sur es de destacar el estuario de la desembocadura de los ríos Tinto y Odiel, en Huelva.

En resumen, la gran extensión de nuestras costas y la presencia en ellas de accidentes geográficos resultantes de procesos erosivos y sedimentarios, entre otros, confieren al litoral un carácter dinámico y cambiante que puede manifestarse en la presencia de inestabilidades de los materiales que lo configuran, como desprendimientos y deslizamientos en acantilados, subsidencias en zonas blandas, colmatación de marismas, progradación de los mantos arenosos y complejos dunares hacia el interior, retroceso de acantilados y creación o desaparición progresiva de playas.

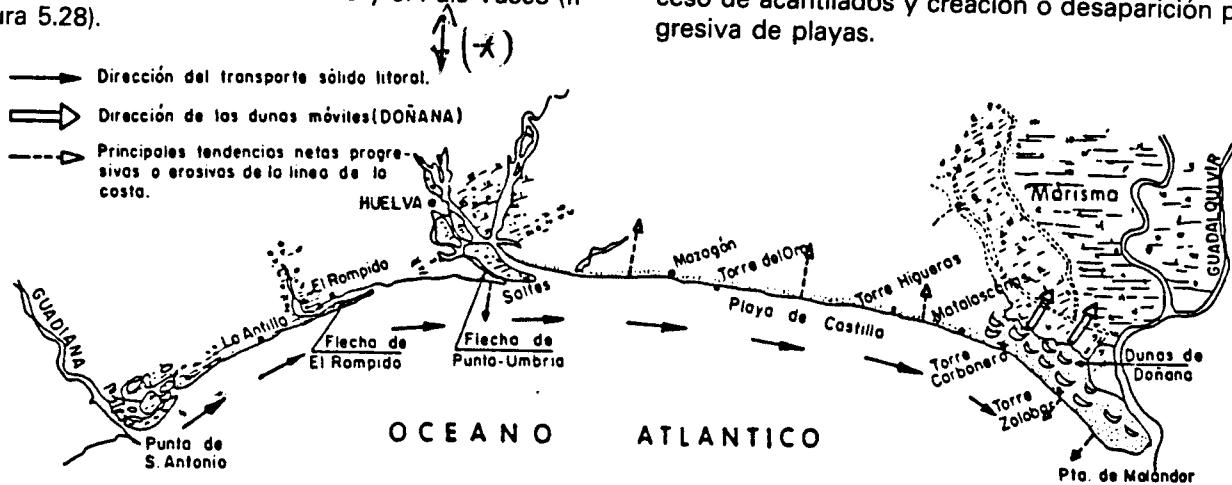


Figura 5.26. Dinámica litoral en la costa de Huelva (COPEIRO DEL VILLAR, 1987).

(*) dejar más espacio

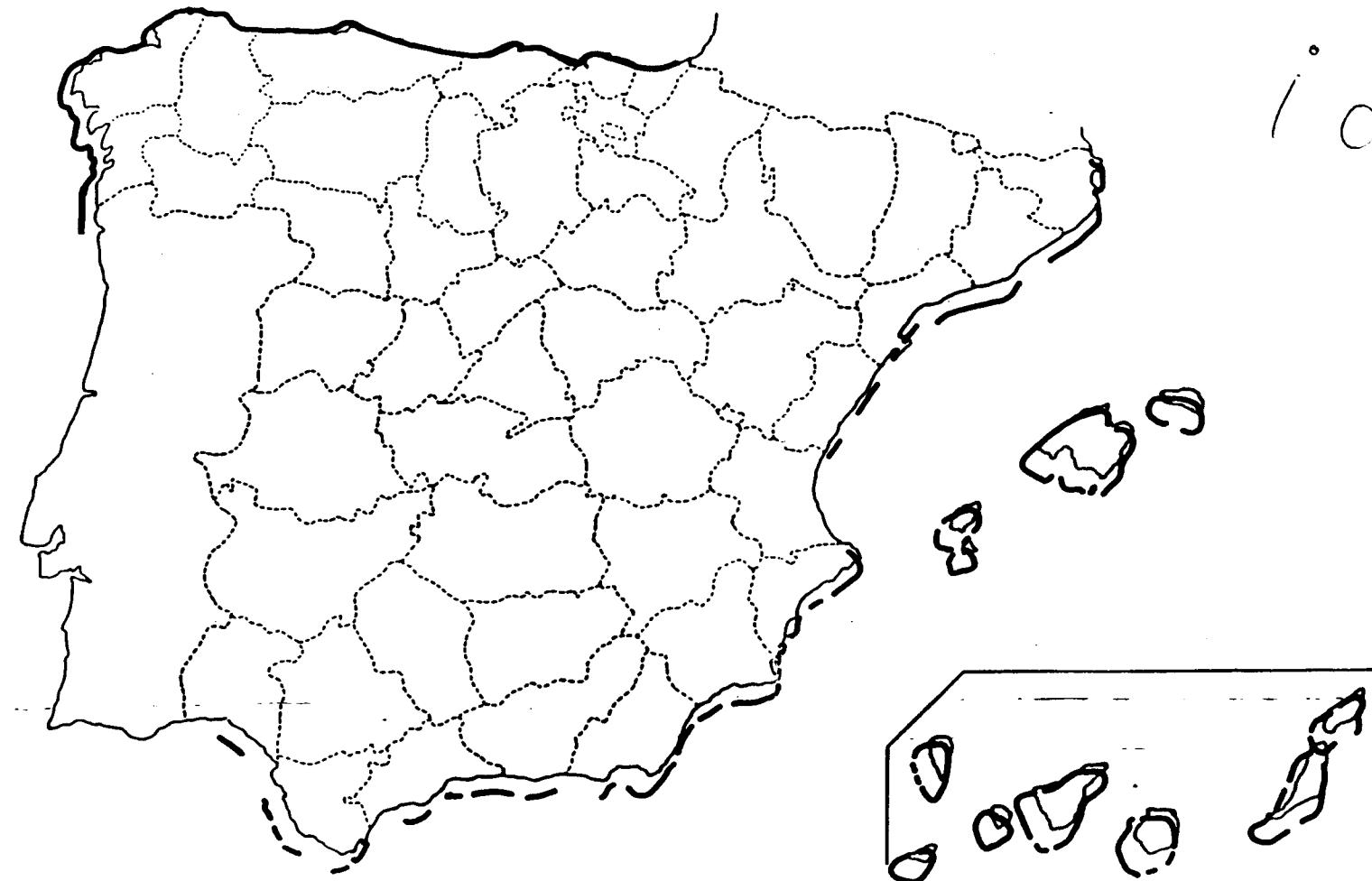
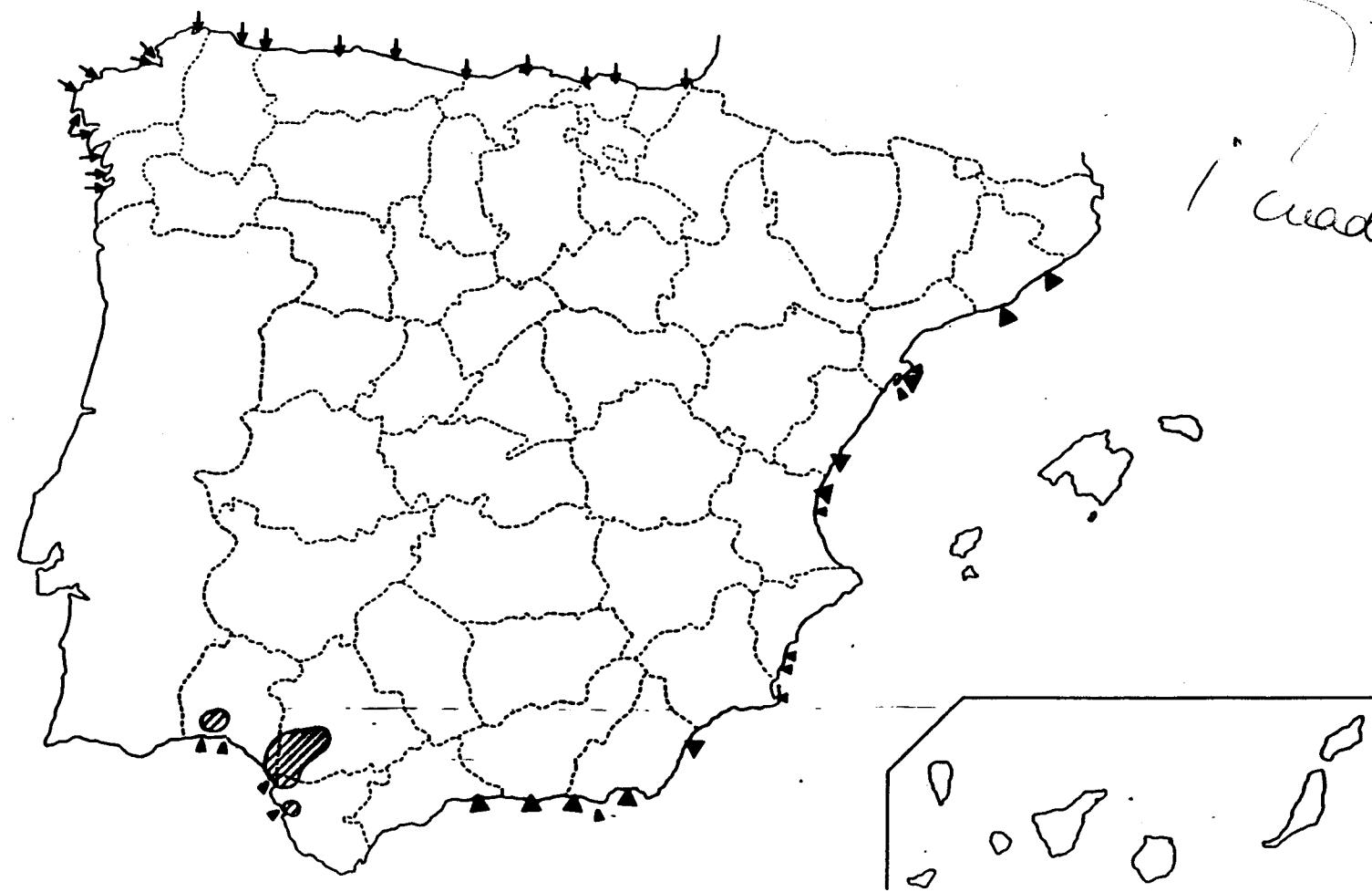


Figura 5.27 Distribución aproximada de las costas predominantemente acantiladas y/o rocosas en España.



- ▲ Flechas Litorales
- ▲ Delta
- ↓ Rias



Marisma

Figura 5.28. Localización de los principales fenómenos relacionados con procesos de dinámica litoral.

6. LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO DE COMPONENTE VERTICAL

6.1. Hundimientos y Subsidencias

6.1.1. Hundimientos kársticos

6.1.1.1. Los fenómenos

La amplitud que en España ocupan los afloramientos de materiales kársticos ha llevado a su inclusión

en el Mapa de Movimientos del Terreno. La presencia de rocas carbonatadas, yesíferas y, en menor medida, conglomeráticas karstificadas puede dar lugar a movimientos en la vertical tipo **hundimientos** (colapsos rápidos), o **subsidencias** (movimiento lento a veces difícil de reconocer).

La **disolución** y **erosión** que el agua va producen-



Figura 6.1. Dolina de hundimiento de gran tamaño en material yesífero en Riba de Santiuste, Guadalajara (Foto: G. GARZÓN).

do en este tipo de materiales da lugar a cavidades subterráneas que pueden provocar hundimientos o subsidencias del terreno suprayacente, creando en superficie formas típicas del modelado kárstico como las dolinas, uvalas y poljes: depresiones superficiales cerradas que también pueden estar produci-

das por procesos de disolución de los materiales que constituyen el karst.

El modelado kárstico está también caracterizado por la presencia de depresiones abiertas, como las simas y surtidores que pueden llegar a tener un gran desarrollo vertical (figura 6.2).

| La foto está girada | 455
(al revés)

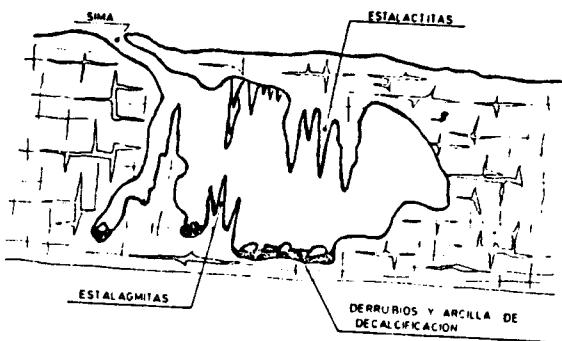
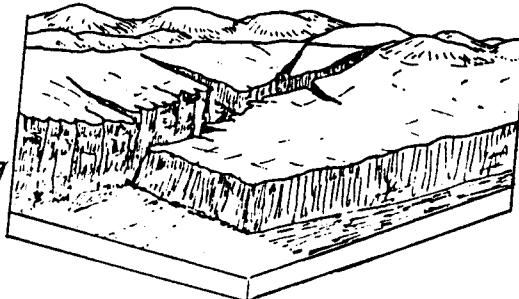


Figura 6.2. Formas kársticas resultantes de los procesos de erosión y disolución por el agua.

La subsidencia, descenso lento del suelo, es característica de formaciones blandas, y suele afectar a la cobertura de suelo existente sobre los materiales kársticos. Los movimientos en la vertical no suelen ser mayores de unos pocos metros (figura 6.3). Los hundimientos son descensos repentinos de

una porción de terreno, generalmente puntuales, que por las características del proceso pueden causar importantes daños sobre la superficie. Este proceso es característico de zonas kársticas con poco recubrimiento o en las que afloran los materiales afectados.

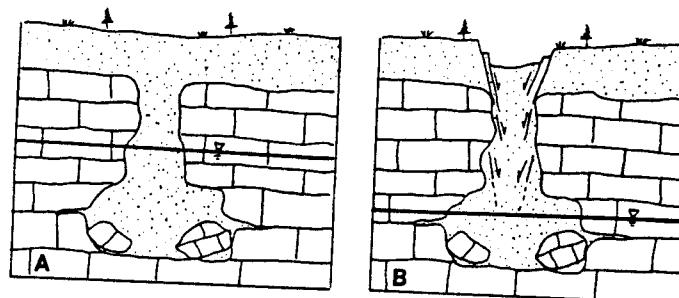


Figura 6.3. Esquema de subsistencia debida a la compactación del relleno arcilloso de una cavidad kárstica (RAHN, 1986).

6.1.1.2. Distribución geográfica y tipologías

En las figuras 6.4 y 6.5 aparecen los mapas con las principales zonas de karstificación existentes en nuestro país. Se han incluido áreas medianamente o muy karstificadas en materiales carbonatados o yesíferos.

Las regiones kársticas españolas en que puede quedar establecida una zonificación a rasgos generales son: Cordillera Cantábrica, Pirenaica, Costero Catalana, Ibérica y Béticas, así como el archipiélago Balear. También en las cuencas terciarias del Tajo, Ebro y Duero y en las depresiones intramontañosas de las Béticas existen materiales karstificados, mayormente yesíferos. Los yesos de la cuenca del Duero no han sido representados por el Mapa de Movimientos del Terreno debido al bajo grado de Karstificación que presentan.

La distribución de edades y litologías de los materiales cartografiados es la siguiente:

— Materiales carbonatados.

En la cordillera Cantábrica el karst se desarrolla en calizas paleozoicas en la zona de Asturias y Santander, y en materiales calizo-dolomíticos de edad mesozoica y paleógena en la zona de Burgos y Navarra. En los Pirineos, Cadena Costero Catalana y en

la Cordillera Ibérica, el karst se desarrolla también en calizas y dolomías mesozoicas y paleógenas.

En las Béticas, la Karstificación ha afectado a formaciones calizas y dolomíticas de edad mesozoico-paleógenas; en el área de Málaga y Almería el karst se desarrolla en dolomitas y mármoles del Triás.

En las islas Baleares aparecen materiales carbonatados en las bandas noroeste y este de Mallorca, tanto en calizas y dolomías mesozoico-paleógenas como en calizas terciarias, y en varios afloramientos repartidos por las islas de Menorca e Ibiza, también con edades mesozoico y paleógenas.

— Materiales yesíferos.

Los yesos de las cuencas terciarias del Ebro y del Tajo han dado lugar al desarrollo de amplias zonas intensamente karstificadas en la región sureste de Madrid, afectando a las provincias de Toledo, Cuenca y Guadalajara, y en las provincias de Zaragoza, Navarra y Lérida.

Las áreas kársticas yesíferas del sur y este de la península se han desarrollado en materiales triásicos.

En la zona de Sorbas (Almería) se ha desarrollado un intenso karst yesífero en materiales de edad terciaria.

Quadrar,

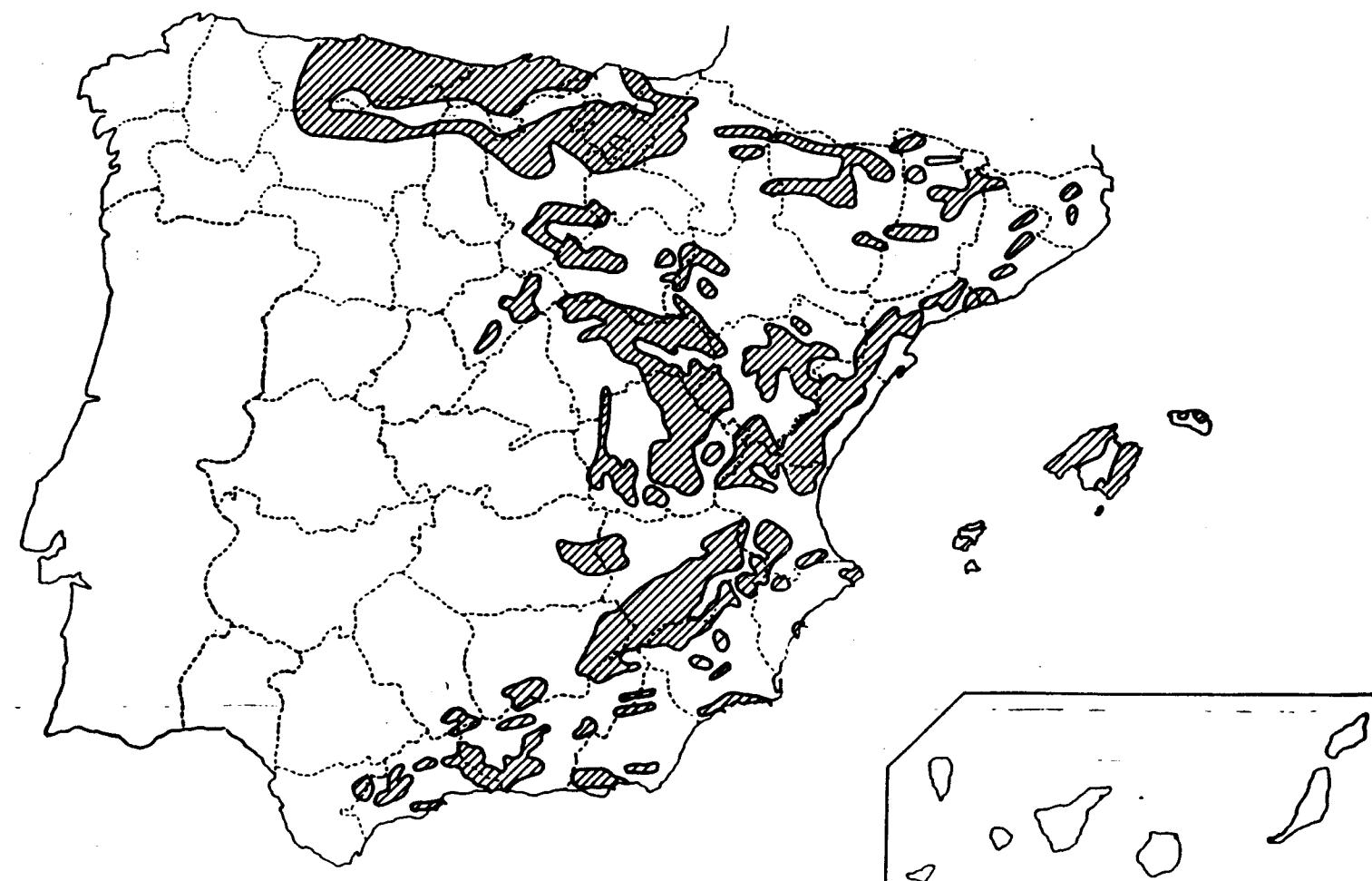
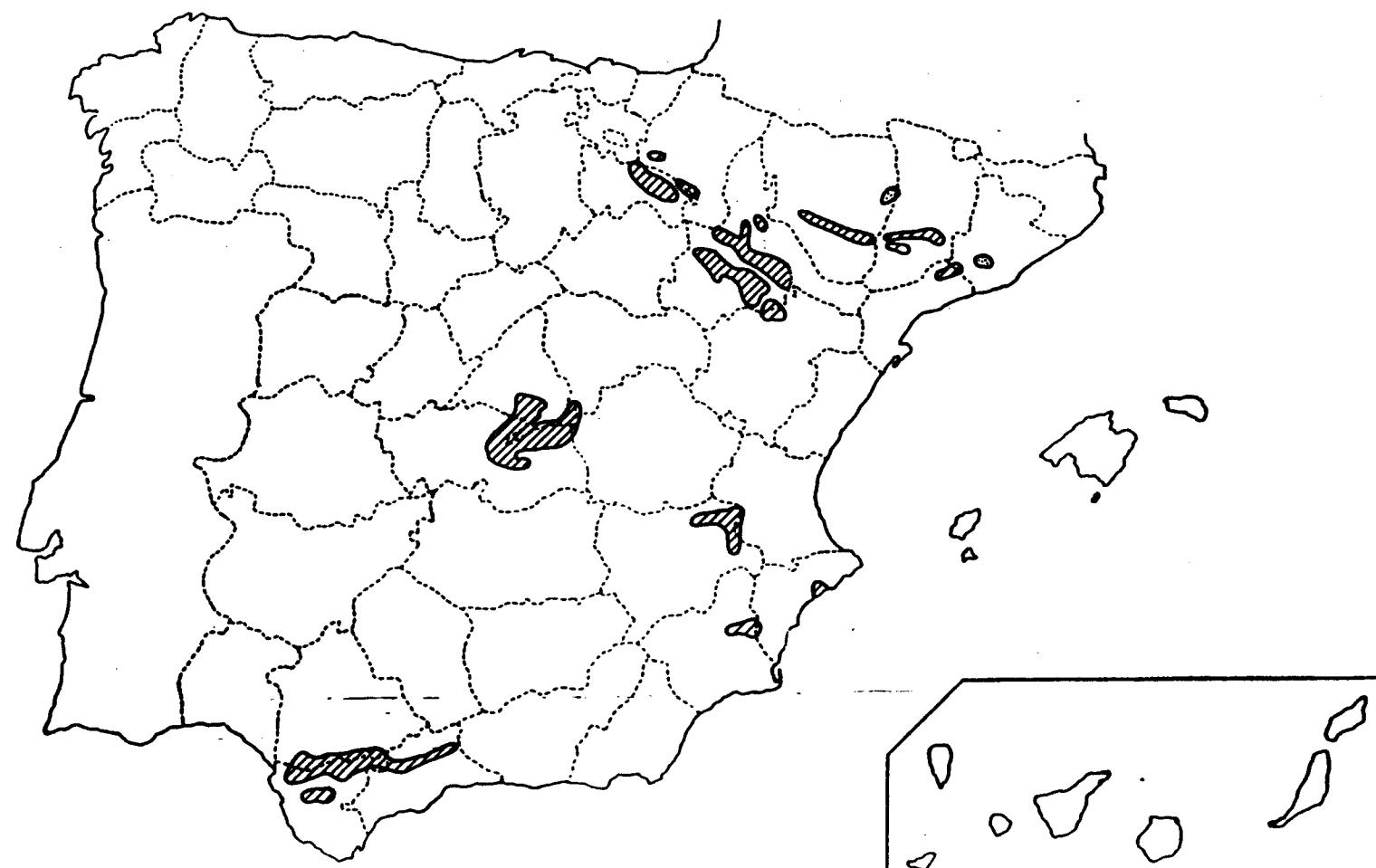
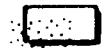


Figura 6.4. Principales zonas karstificadas en materiales carbonatados en España

Quadrat



Karst Yesífero



Karst Conglomerátilco

Figura 6.5. Principales zonas karstificadas en materiales yesíferos y congloméráticos en España



- Hundimientos Kársticos en yesos
- ▲ Hundimientos Kársticos en carbonatos

Figura 6.6. Hundimientos históricos registrados en terrenos kársticos (DURÁN, 1987).

— Materiales conglomeráticos.

Pobremente representados en España, los únicos pequeños afloramientos de materiales conglomeráticos karstificados que merecen mención son los situados al este de Lérida y al norte de Terrassa y Sabadell, en Barcelona.

Dentro del gran número de complejos kársticos carbonatados merecen especial atención por su alto grado de desarrollo los de la zonas de Cantabria y Asturias, el Pirineo Navarro-Aragonés, la Serranía de Ronda y algunos puntos aislados dentro de la Ibérica. En karst yesíferos destacan el del Trías de Antequera, el Túnel dels Sumidors en el Trías de Vallada, Valencia (que constituye la cavidad en yesos más profunda del mundo), el karst mioceno de Sorbas y el desarrollado en la Depresión del Ebro, en los alrededores de Zaragoza.

En cuanto a los hundimientos provocados por la karstificación, en la figura 6.6 se representan algunos de los más importantes que han tenido lugar en nuestro país, tanto en materiales carbonatados como yesíferos.

6.1.2. Hundimientos y Subsidencias mineras

Los huecos creados por las **explotaciones subterráneas** abandonadas o en activo, pueden provocar la rotura del material suprayacente de una forma lenta y progresiva (subsidiencia), o de una forma violenta y repentina (hundimiento) (figura 6.7).

- La pérdida de resistencia de los materiales superiores al hueco, como consecuencia de una concentración de tensiones originada por la excavación, puede producir la inestabilidad y el movimiento descendente, generalmente lento, sobre las cámaras de explotaciones subterráneas. Su reflejo en superficies es la presencia de hondonadas en el terreno, a veces muy ligeras, dependiendo su extensión del tamaño del hueco. También pueden tener lugar, en áreas minadas, colapsos repentinos que dan lugar a socavones en la superficie y que afectan a cualquier construcción asentada sobre ellas, aunque estos procesos son raros y muy puntuales.

En la figura 6.8 aparecen representadas las principales zonas con explotaciones subterráneas de España.

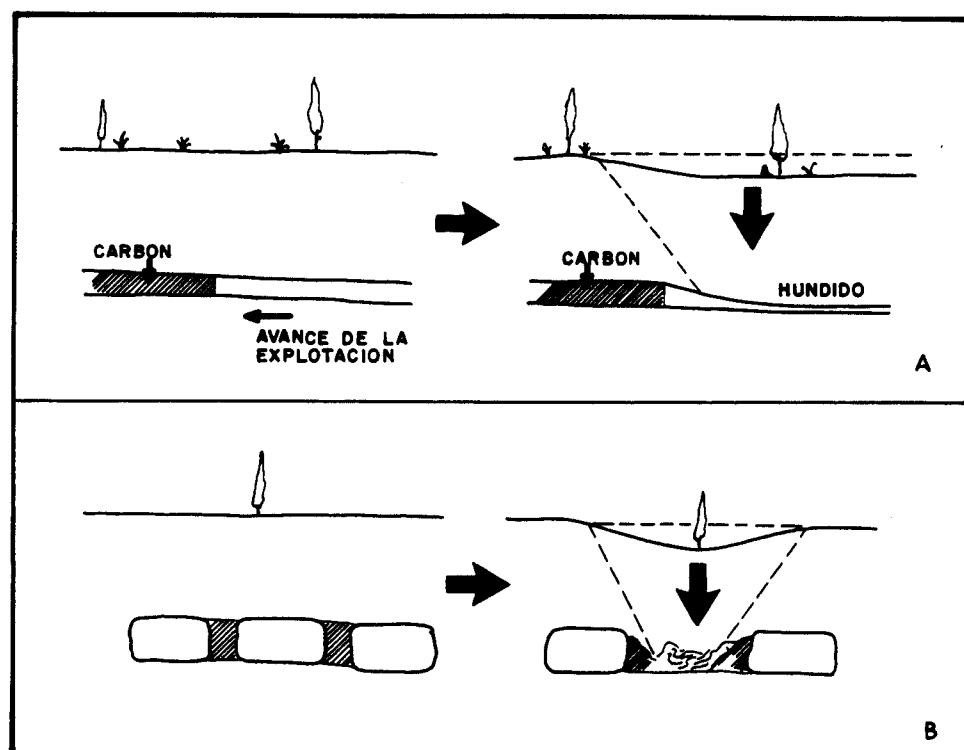
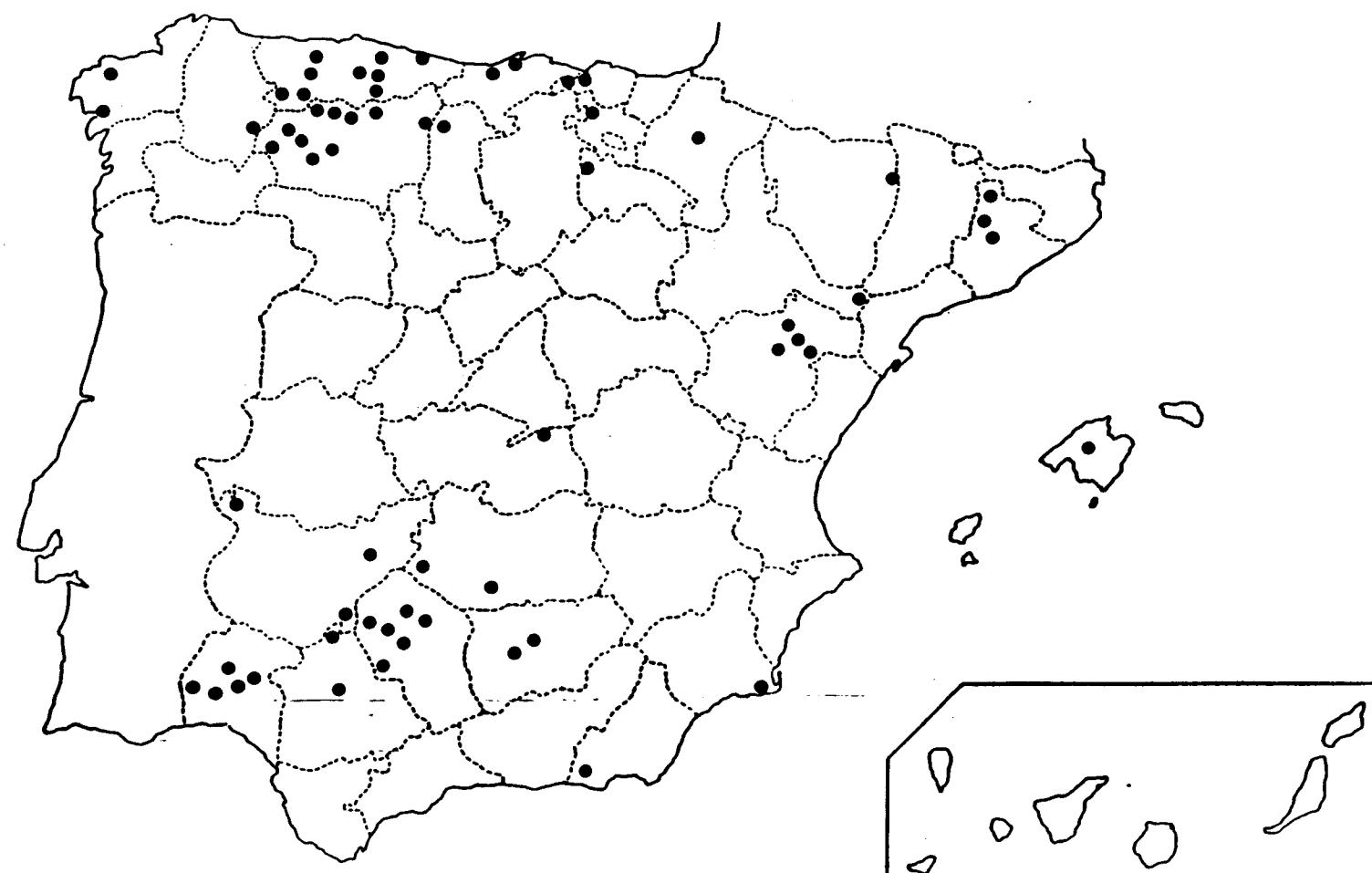


Figura 6.7. Subsidiencia minera en una explotación de tajo largo (A) y hundimiento en una explotación por cámaras y pilares (B).

ña, que llevan asociado un riesgo actual y/o potencial de subsidencia, localizadas en las cuencas y zonas mineras españolas. Las principales agrupaciones de explotaciones subterráneas corresponden a la zona de León-Palencia-Asturias, con explotaciones de carbón; las minas de lignito de la zona de Teruel; las explotaciones de mineral metálico en Santander y Vizcaya; la zona norte de la provincia de Córdoba, con minería

del carbón y otros minerales no energéticos; la región minera de Huelva, con explotaciones de pirita; las explotaciones de sal por disolución constituyen, por sus características, un tipo especial de minería que también puede provocar hundimientos y colapsos en superficies. Dos ejemplos de esta minería se dan en España en las explotaciones de los diapiros de Cabezón de la Sal (Santander) y Pinoso (Alicante).



55
61

Figura 6.8. Localización de las principales explotaciones subterráneas en España.

6.2. Expansividad por arcillas

6.2.1. El fenómeno

La presencia de arcillas expansivas en los suelos puede dar lugar a su **cambio de volumen** bajo unas determinadas condiciones, provocando movimientos no uniformes, en sentido vertical, en los terrenos afectados.

Si bien la capacidad expansiva de las arcillas depende de sus propias características intrínsecas, ésta está controlada por numerosos fenómenos externos que dan lugar a modificaciones en su estado natural, y que implican en definitiva el que la expansividad se pueda o no desarrollar.

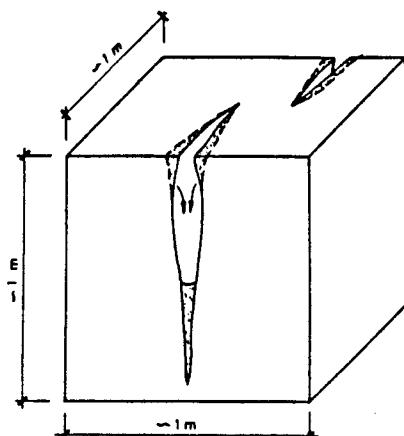
Así pues, considerando a la litología en un primer lugar (con aspectos mineralógicos, texturales y estructurales), el factor climático será el que determine en una zona la capacidad expansiva específica de una formación determinada conteniendo arcillas ex-

pansivas (con montmorillonita, fundamentalmente). En la figura 4.2 aparece un esquema de España con la representación de los índices climáticos correspondientes a las diferentes zonas del país.

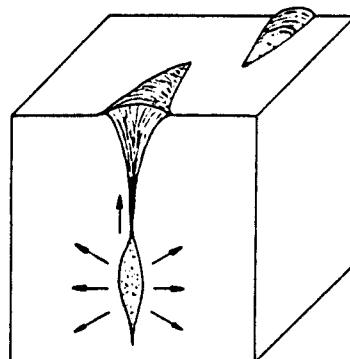
Para la manifestación de movimientos ligados a la expansividad en un suelo deben cumplirse, pues, dos condiciones:

- presencia de minerales arcillosos capaces de experimentar cambios de volumen;
- cambios en la humedad del material que permita el desarrollo del potencial expansivo.

Los efectos de la expansividad en el terreno (figura 6.9), la expansividad o contracción, se manifiestan sobre los edificios y construcciones en la zona afectada, en mayor grado si éstos han sido cimentados directamente sobre arcillas expansivas. Los movimientos desiguales ascendentes y descendentes dan lugar al agrietamiento y rotura de construcciones y de cimientos.



ESTACION SECA · AGRIETAMIENTO Y
CAIDA DE ARCILLA



ESTACION HUMEDA · CIERRE DE GRIETAS Y
EMPUJE DE LA ARCILLA BLANDA HINCHADA

Figura 6.9. Esquema del movimiento vertical del suelo producido por los ciclos. Humectación-desecación de las arcillas expansivas (IGME, 1986).

La expansividad del terreno no se limita sólo a las arcillas. En las anhidritas (SO_4Ca), presentes en las áreas evaporíticas de las grandes Cuencas Territoriales (Ebro, Duero y Tajo principalmente), la hidratación con el paso a yeso ($\text{SO}_4\text{Ca } 2\text{H}_2\text{O}$) supone un aumento de volumen del 60%. El proceso es más lento que en las arcillas, pero también causa grandes daños a construcciones, obras lineales, etc. DEL VALLE (1987), ha expuesto diversos casos en Navarra.

6.2.2. Distribución geográfica

En la figura 6.10 se ha representado un mapa de España con la cartografía de las áreas con movimientos por expansividad, provocada por arcillas, actuales y/o potenciales. Se han incluido las zonas caracterizadas por:

- presencia de niveles arcillosos continuos predominantes;
- mineralogía altamente o globalmente montmorillonítica;
- climatología seca-árida o subhúmeda-semiárida;
- plasticidades máximas de medias a altas.

La contemplación de estos criterios ha dado lugar a la representación de las zonas con riesgo de expansividad de moderado a muy alto que aparecen en la figura. No se han contemplado las áreas con expansividad actual y/o potencial nula y baja, que constituyen aproximadamente el 70% de las formaciones arcillosas aflorantes en nuestro país.

Cinco áreas principales aparecen representadas en el mapa:

- la mitad Sur, debido principalmente a unas condiciones climáticas deficitarias en humedad

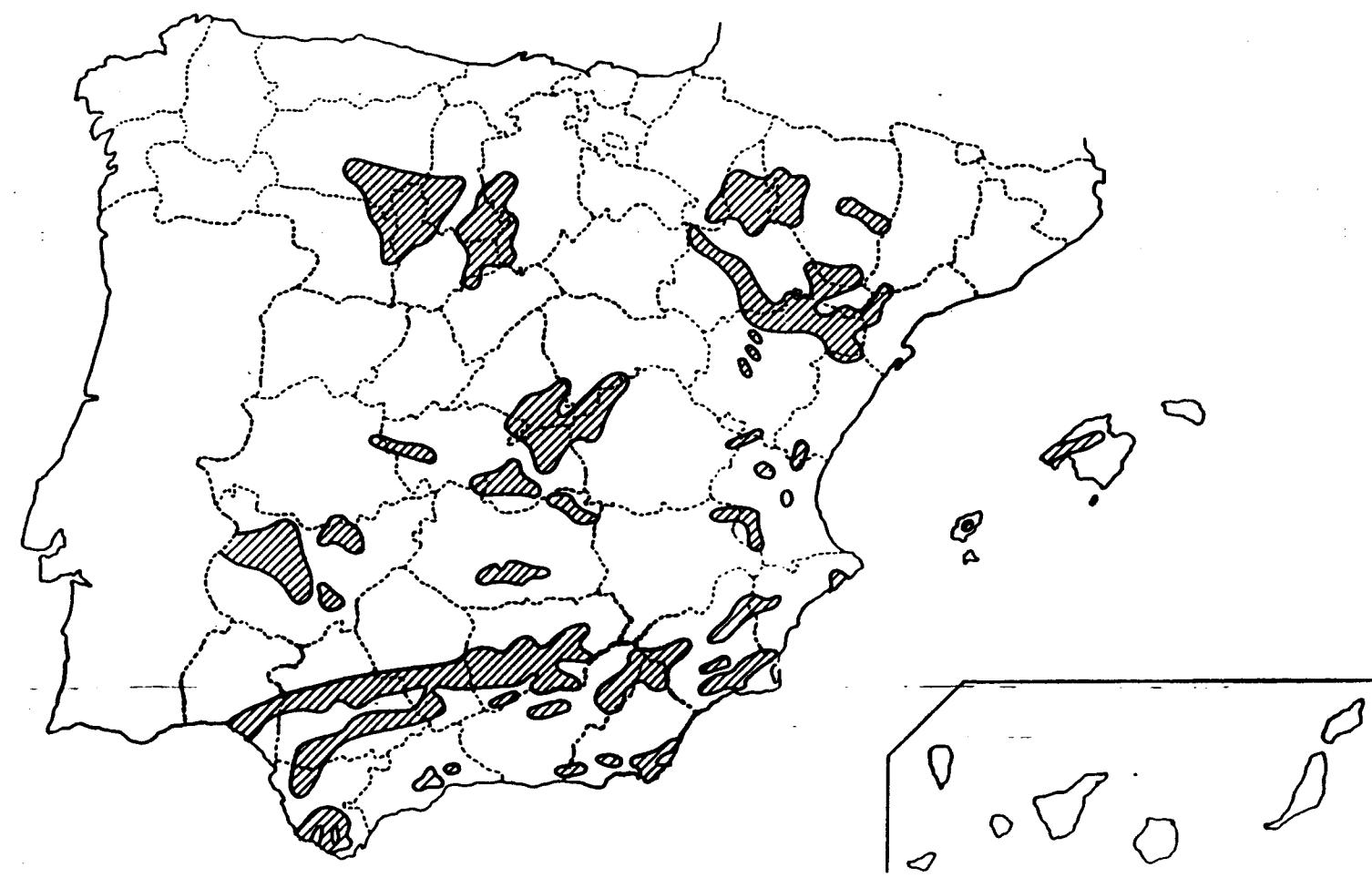


Figura 6.10. Zonas con presencia predominante de arcillas expansivas.

y a la presencia de litologías arcillosas geológicamente recientes (con frecuencia muy montmorilloníticas, como las llamadas margas azules del Guadalquivir), resulta una zona con ocurrencia y posibilidad de ocurrencia de movimientos causados por expansividad;

- la zona situada al sureste de Madrid, con presencia predominante de arcillas con yesos y carbonatos;
- la región de Tierra de Campos, con predominancia de materiales arcillo-arenosos con yesos o carbonatos;
- la región del Noreste español, en la depresión del Ebro, con presencia de materiales arcillo-arenosos con carbonatos y yesos;

— la zona oeste de la provincia de Badajoz, con predominancia de arcillas limo-arenosas.

En todas estas zonas los depósitos arcillosos son Neógenos, fundamentalmente; en sedimentos arcillosos más antiguos es difícil que se produzcan fenómenos expansivos significativos. Las regiones del sur y centro de España son las que presentan riesgo de expansividad más elevado. En la zona del oeste de Badajoz aparecen también depósitos arcillosos expansivos de edad paleógena.

La expansividad de anhidritas puede esperarse, en principio, en todas las áreas evaporíticas de las grandes Cuencas Terciarias, que coinciden en gran medida con las áreas karstificadas en yesos.

7. LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO LIGADOS A LA GEODINAMICA INTERNA

7.1. El vulcanismo

7.1.1. El fenómeno

El vulcanismo constituye una de las mayores manifestaciones superficiales de los procesos de liberación de la energía interna de la Tierra. La expulsión de

materiales y gases a que da lugar una erupción volcánica puede causar daños catastróficos a poblaciones cercanas, así como asolar enormes extensiones de terreno. La ascensión de **magma** hacia la superficie y su acumulación alrededor de los conductos y en las zonas cercanas a los volcanes crean los conos y morfologías típicas de los paisajes volcánicos.

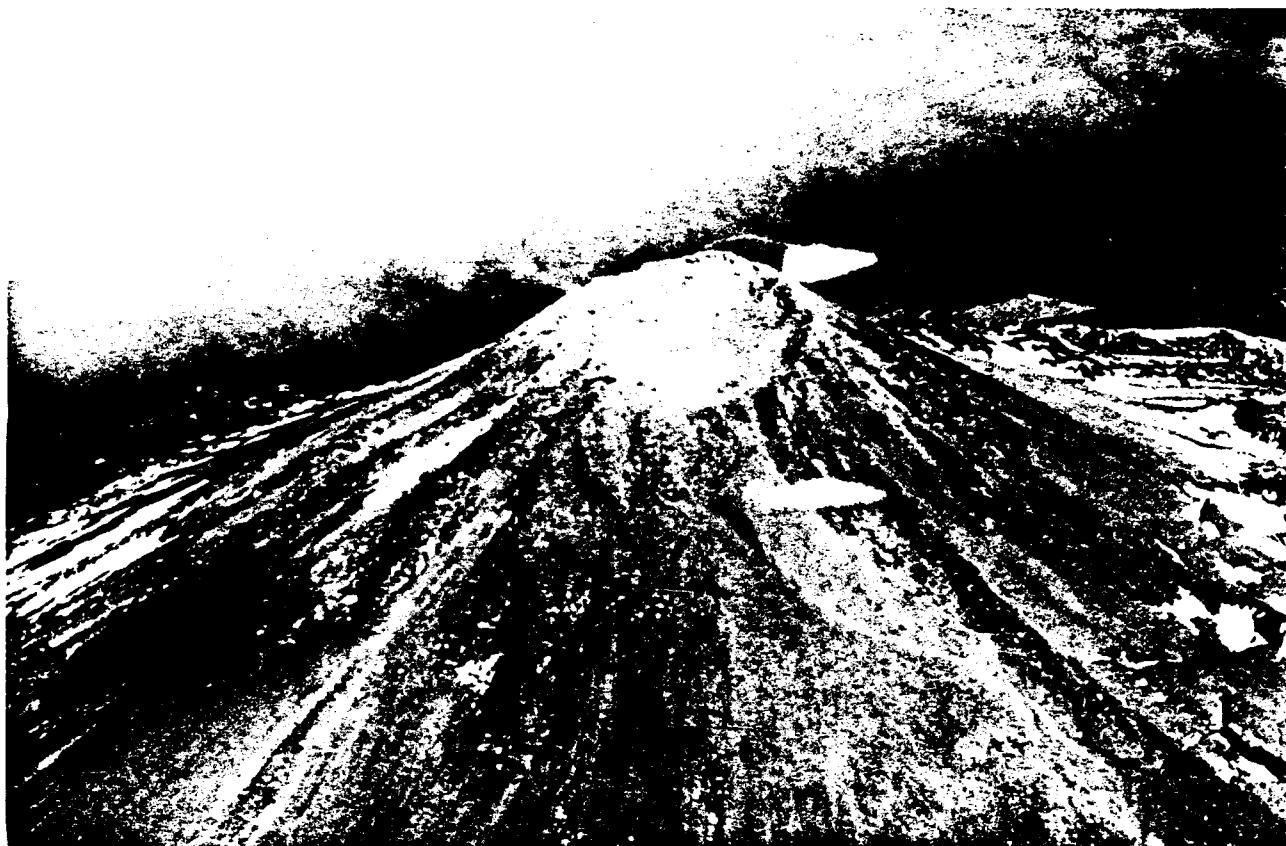


Figura 7.1. Vista aérea del gran cráter central del volcán Teide, en Tenerife.

La naturaleza y distribución de los procesos volcánicos están íntimamente relacionados con la tectónica de una zona determinada. A partir del descubrimiento de la Tectónica de Placas se ha podido establecer la relación entre zonas activas y vulcanismo; los bordes de placa, de creación de corteza o de subducción, son los principales lugares de ascensión de materiales magmáticos (figura 7.2), así co-

mo zonas de sismicidad importante, apareciendo ambos fenómenos relacionados.

El grado de explosividad, función del contenido en volátiles y de la viscosidad del magma, es el criterio utilizado para la clasificación de los volcanes. Así, las erupciones reciben el nombre de peleanas, vulcanianas, estrombolianas o hawaianas según su grado de explosividad, de mayor a menor respectivamente;

la foto está al revés
(giroada) 59
65

en función también de los mismos parámetros se clasifican las erupciones como explosivas, extrusivas, efusivas y mixtas (figura 7.3).

Los volcanes tipo hawaiano se caracterizan por la poca viscosidad del magma (básico) y por el rápido y fácil desprendimiento de volátiles, dando lugar

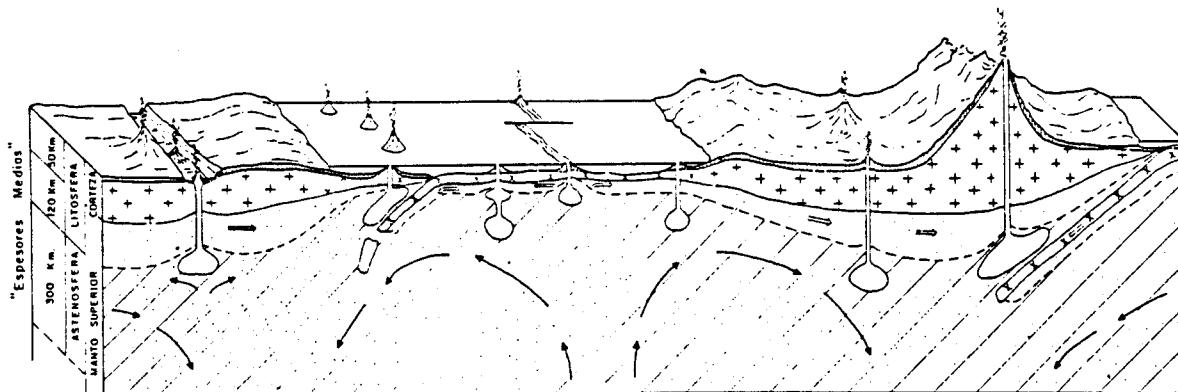


Figura 7.2. Esquema de los procesos geodinámicos actuantes en las capas superiores de la tierra (ARAÑA y ORTIZ, 1984).

a erupciones poco explosivas y a la formación de coladas de lava. Por el contrario, si el magma es viscoso (ácido), este taponará los conductos de salida cau-

sando acumulaciones de materiales volcánicos que provocarán explosiones violentas, tipo peleano.

Los productos que expulsan los volcanes son ga-

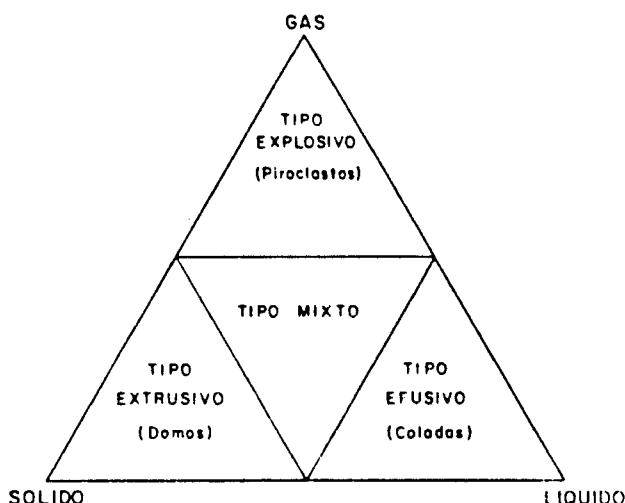


Figura 7.3. Triángulo simplificado de Geze. En los vértices aparecen las reacciones del magma que condicionan el proceso eruptivo (ARAÑA y ORTIZ, 1984).

seosos, viscosos (coladas) y sólidos (piroclastos).

Las coladas de lava pueden tener distinto grado de viscosidad y estar compuestas por material fluido y piroclastos. Su recorrido, generalmente, es a favor de los valles o zonas deprimidas que circundan los volcanes.

Los piroclastos son los fragmentos sólidos que expulsa el volcán: bombas, lapilli, cenizas... En función de su tamaño caen a tierra, en las proximidades de la erupción, o permanecen en la atmósfera pudiendo causar graves daños en ambos casos (figura 7.4).

Las coladas y los piroclastos, junto con el propio edificio volcánico, son los fenómenos que modifican la morfología del terreno, pudiendo inducir a otro tipo de movimientos como desprendimientos, desli-

amientos, avalanchas, coladas de barro (lahares) y hundimientos. La creación del edificio volcánico, que en el caso de erupciones marinas puede formar islas de extensión considerable, constituye una importante alteración del relieve. Así mismo hay que considerar los movimientos sísmicos (terremotos y maremotos o tsunamis) que las erupciones pueden llevar asociadas, y la considerable ascensión del terreno previa, en algunas ocasiones, a las erupciones.

7.1.2. Distribución geográfica

En nuestro país existen zonas importantes de vulcanismo reciente no activo en las regiones del Sureste (Murcia-Almería), de Campos de Calatrava (Ciud-

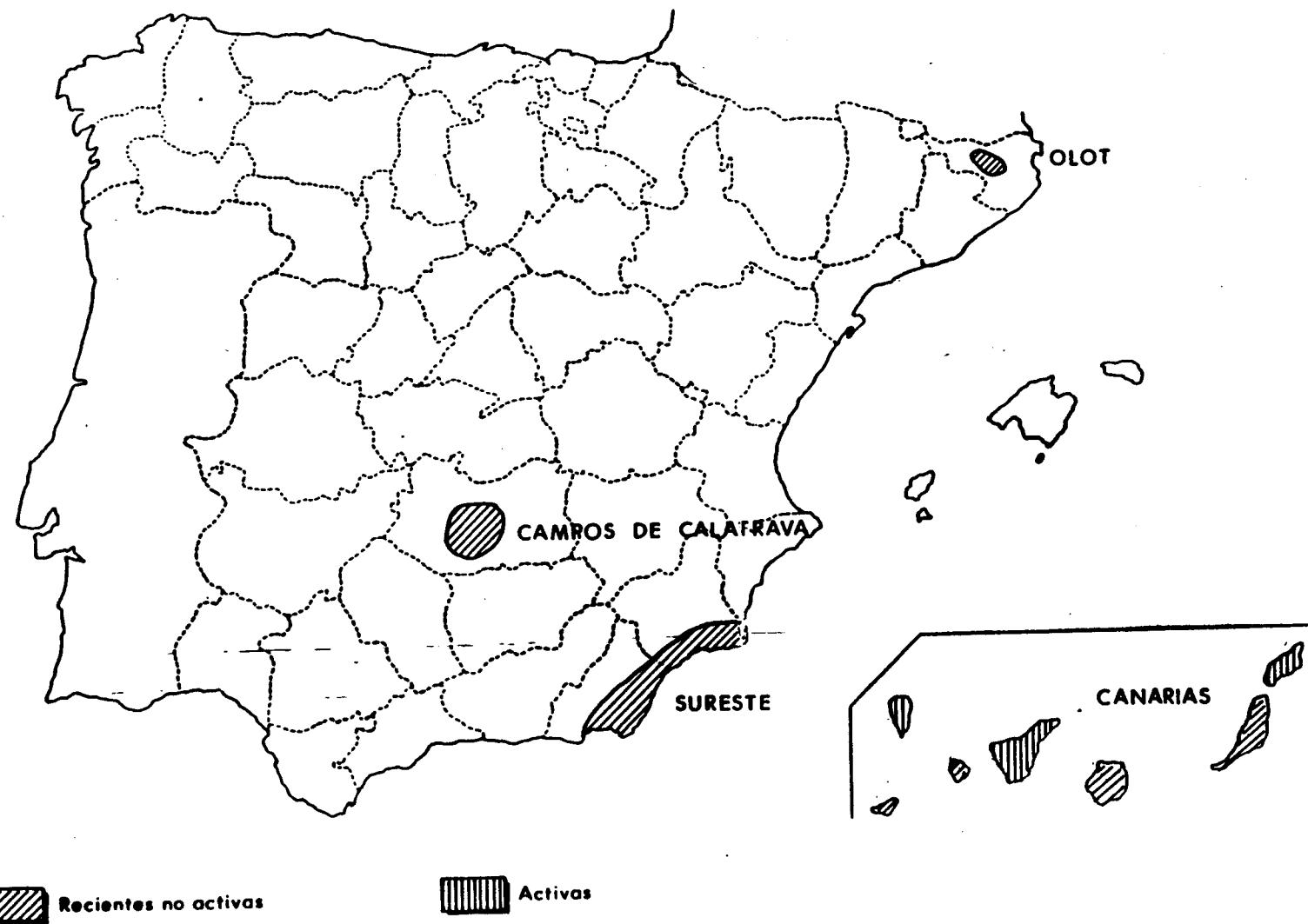


Figura 7.5. Áreas volcánicas recientes no activas y activas más importantes en España.

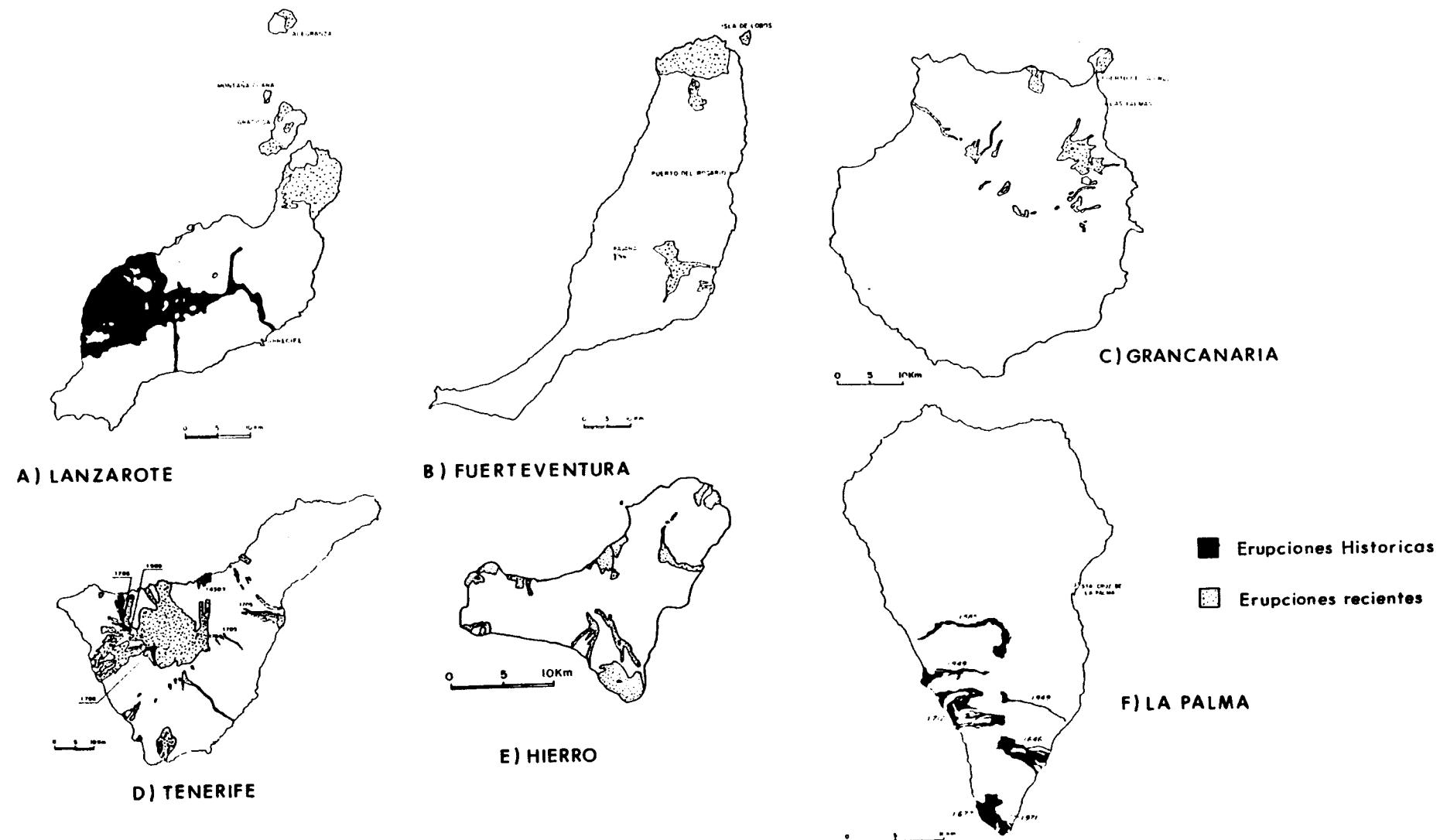


Figura 7.6. Eruptiones históricas y recientes en las Islas Canarias (A,B,C,D: FUSTER y otros, 1968; E: PELLICER, 1977; F: ALFONSO, 1974, en ANCOCHEA y HERNÁN, 1981).

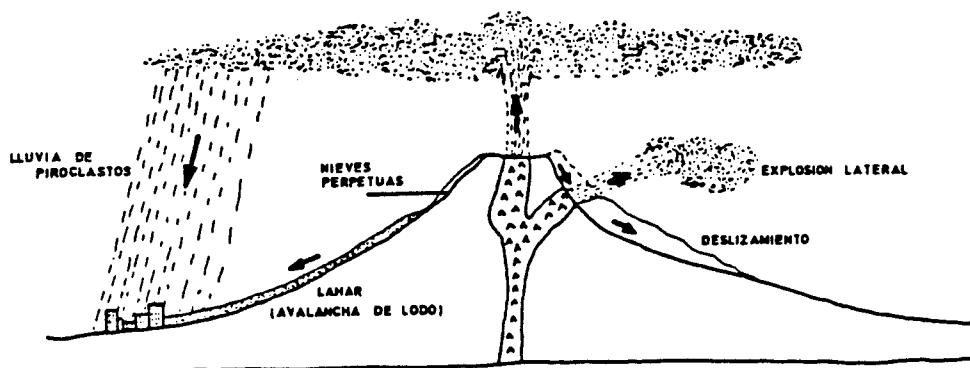


Figura 7.4. *Tipos de riesgos y movimientos del terreno asociados a las erupciones explosivas (AYALA, 1987).*

dad Real) y de Olot (Gerona), y de **vulcanismo activo** en las Islas Canarias, donde tuvo lugar la última erupción registrada en España (Teneguía, 1971, en la isla de La Palma).

En el Mapa de Movimientos del Terrero no se ha representado el vulcanismo debido a su localización muy concreta y puntual, que queda representada en el mapa en la figura 7.5.

Las islas del **Archipiélago Canario** constituyen la mayor región volcánica de España, con numerosas erupciones durante los últimos 500 años en las islas de Tenerife y La Palma, y algunas en las de Lanzarote y Hierro. En general, estas erupciones han dado lugar a coladas de lava fluida y expulsión de gran

cantidad de gases. Estas islas pueden ser consideradas como la parte emergida de un importante conjunto eruptivo situado en el borde centro-oriental del Atlántico, relacionado posiblemente con la elevación de bloques corticales. Por acumulación de emisiones volcánicas se acaba edificando un voluminoso conjunto que rebasa el nivel del mar formando las islas. La distribución espacial de las islas responde a lineaciones predominantes.

En la figura 7.6 se han representado las erupciones históricas y recientes acaecidas en las islas Canarias. Los máximos del vulcanismo se sitúan en Tenerife, la isla más elevada, y concretamente en la zona de Las Cañadas y el Teide.

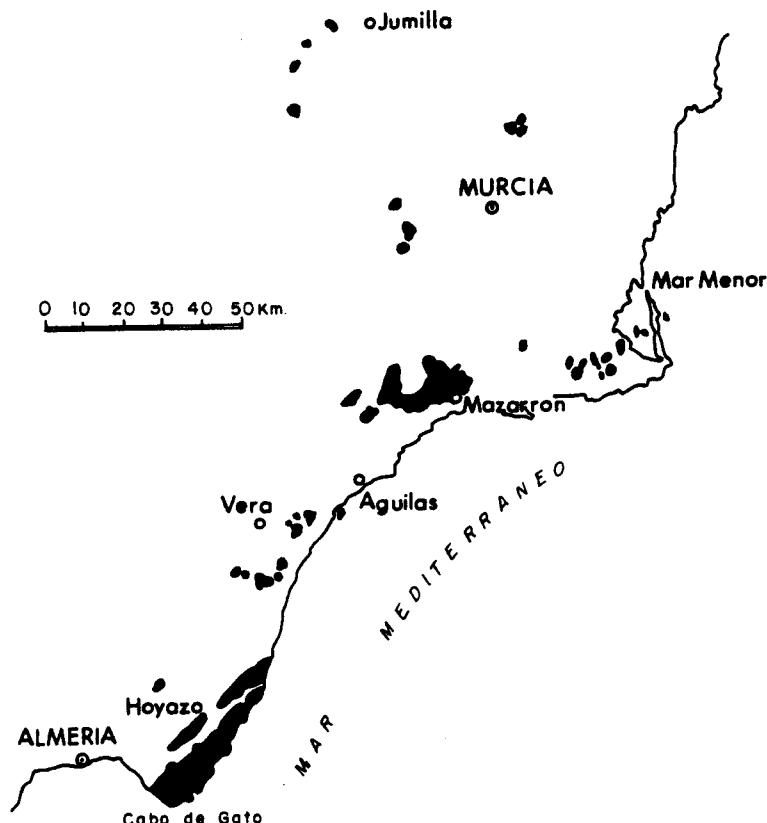


Figura 7.7. *Distribución de los afloramientos de rocas volcánicas en la zona del sureste español (basado en RODRÍGUEZ BADIOLA, en ARAÑA y ORTIZ, 1984).*

La región volcánica del sureste español presenta gran variedad de materiales y morfologías volcánicas. Su actividad se desarrolló entre los períodos Mioceno y Cuaternario, siguiendo una banda NE-SW relacionada con fracturas de igual dirección. Actualmente casi no son reconocibles los edificios volcánicos, aunque sí las coladas y depósitos de piroclastos procedentes de las erupciones (figura 7.7).

La región de Campos de Calatrava conserva algunos edificios volcánicos pequeños, y depresiones originadas por grandes explosiones en materiales Paleozoicos, actualmente ocupadas por lagunas. Su período de actividad fue del Mioceno Superior al Pleistoceno Inferior (figura 7.8). X minúscu

El vulcanismo de la zona de Olot es de edad Terciario Superior-Cuaternario, conservándose gran nú-



Figura 7.8. Distribución de los principales afloramientos volcánicos en la región de Campos de Calatrava (basado en ANCOCHEA, en ARAÑA y ORTIZ, 1984).

mero de conos y coladas en las cercanías de Olot. Su relación con una tectónica con fallas de dirección predominante NW-SE ha dado lugar también a la

existencia de terremotos importantes en la zona (figura 7.9).

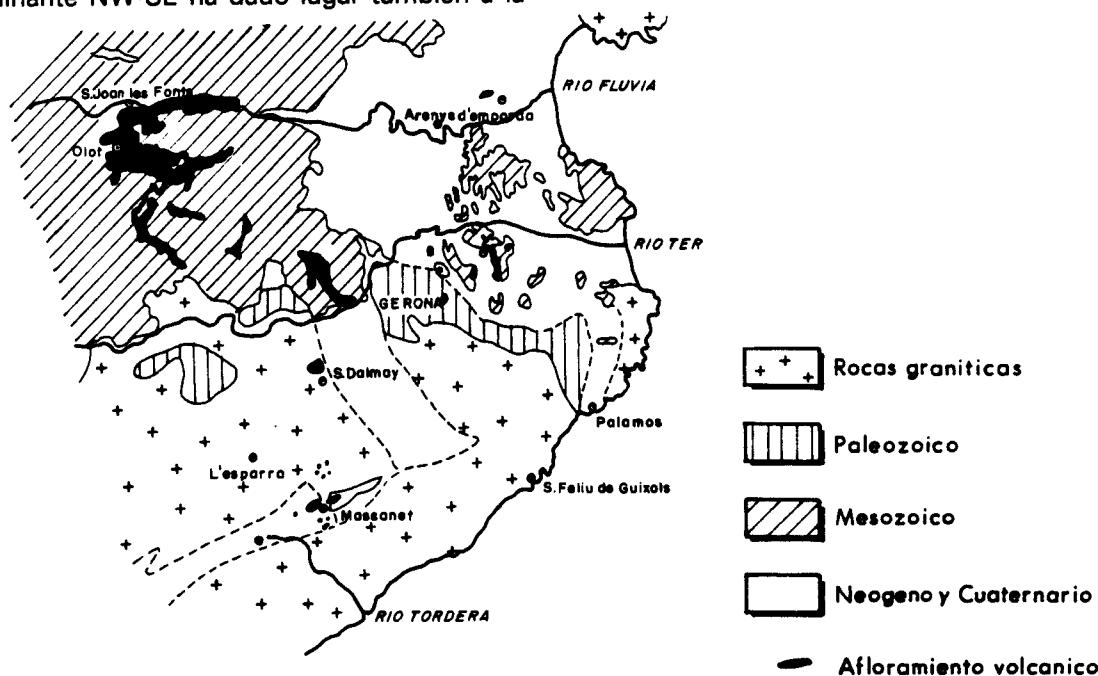


Figura 7.9. Distribución de los principales afloramientos de la región volcánica de Olot, Gerona (Basado en SOLE, en ARAÑA y ORTIZ, 1984).

7.2. Sismicidad

7.2.1. El fenómeno

Los movimientos sísmicos o terremotos constituyen, tras las inundaciones, los fenómenos geológicos que mayor destrucción y pérdidas de vidas humanas han llegado a ocasionar en diversos puntos

del planeta. Consisten en **movimientos vibratorios** de la corteza terrestre originados por la liberación repentina de energía en zonas tectónicamente activas de la corteza o del manto superior; el punto en el que se produce este fenómeno, foco del que parten las ondas sísmicas, recibe el nombre de **hipocentro**, siendo el **epicentro** la proyección vertical de este foco en superficie (figura 7.10).

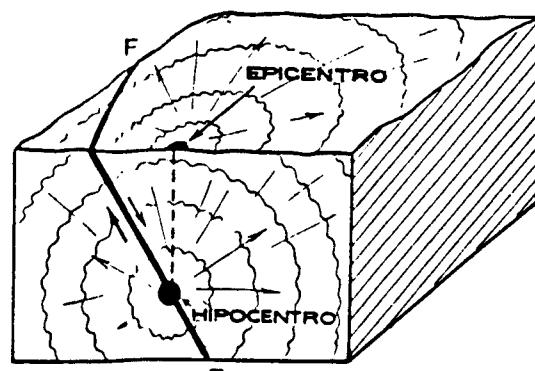


Figura 7.10. Representación de la situación del hipocentro en relación a una falla y del epicentro (MELÉNDEZ FUSTER, 1975).

Esta liberación de energía en **fallas activas** ocasiona, en general, los terremotos de mayor magnitud y más catastróficos, pero existen otras causas que pueden ocasionar sismicidad, como los movimientos de magma asociados a los procesos eruptivos en

zonas volcánicas. También pueden originar pequeños terremotos inducidos las grandes explotaciones mineras, las variaciones repentinas del nivel de agua de los embalses, y los deslizamientos súbitos.

La localización espacial de los terremotos sigue

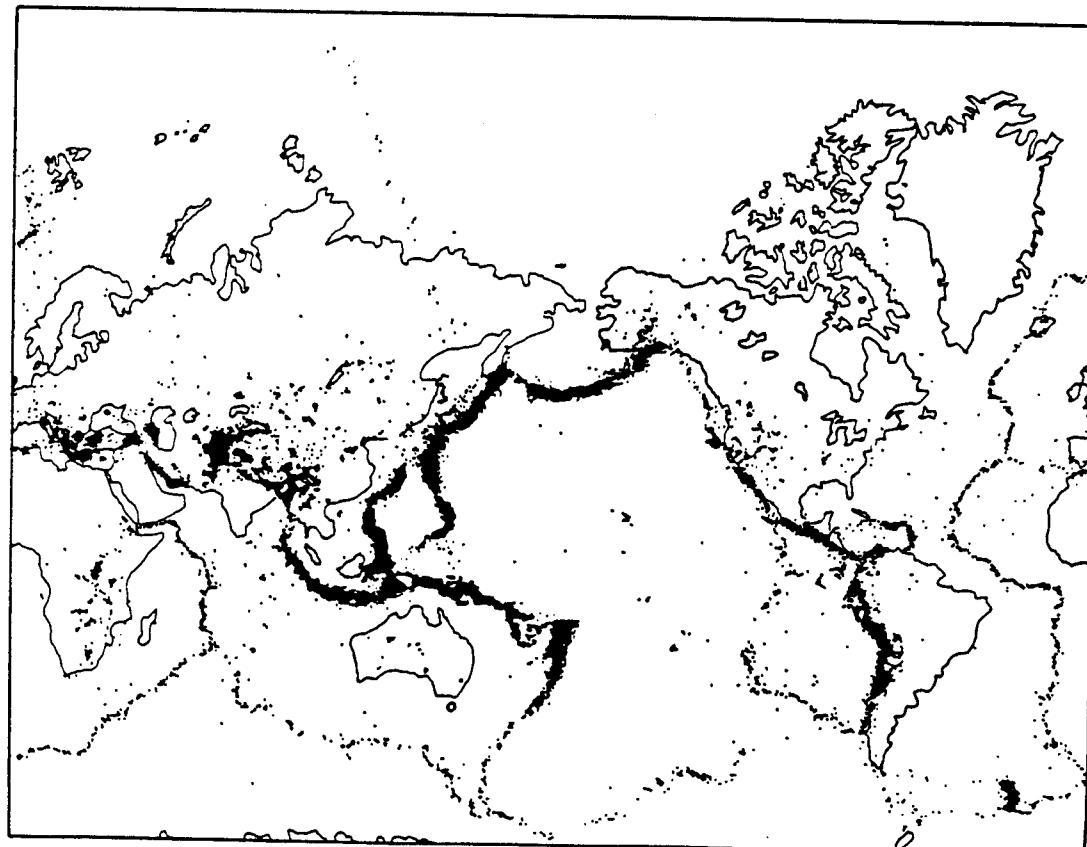


Figura 7.11. Representación de la sismicidad mundial.

una distribución determinada en el planeta, explicada actualmente por la teoría de la Tectónica de Placas. En la figura 7.11 se observan las zonas de sismicidad más importantes, que aparecen alineadas a lo largo de los bordes constructivos (de acreción) o destructivos (de subducción); asociados a estas zonas se producen la mayoría de los terremotos. En el primer caso, el aporte de material del manto provoca vulcanismo y movimientos sísmicos, en el segundo caso la fricción entre las placas da lugar al almacenamiento de energía que se libera mediante los terremotos (figura 7.12). También existe sismicidad en algunas zonas intraplacas.

Los cinturones sísmicos (nombre con el que se conoce a estas alineaciones) se extienden principalmente alrededor del Pacífico y a través de Asia central y el Mediterráneo; aproximadamente dos tercios de los mayores terremotos ocurridos en el mundo han tenido lugar en el cinturón circum-Pacífico, aunque los mayores daños y pérdidas humanas (sobre el 75% de los totales), entre 1950 y 1970, han ocurrido en la zona de Asia y el Mediterráneo debido a la mayor población existente en estas áreas (WALTHAN, 1978).

Las ondas que generan un movimiento sísmico son de varios tipos: las ondas P (longitudinales), de alta frecuencia y longitud de onda corta, generan un mo-

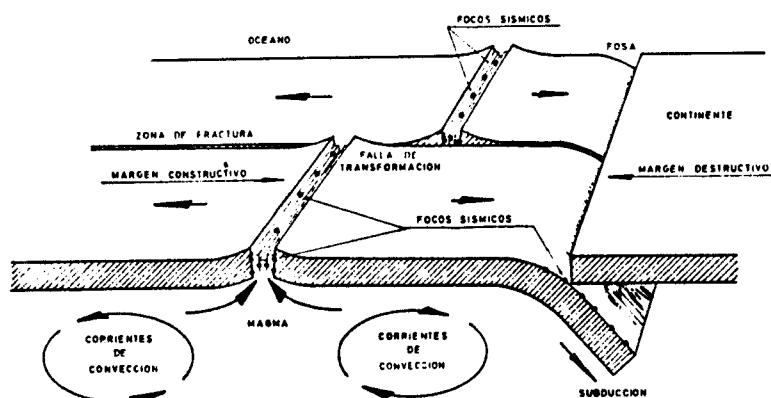


Figura 7.12. Zonas sísmicamente activas asociadas a bordes de placas.

vimiento en la misma dirección de su propagación; las ondas S (de cizalla) lo hacen en sentido perpendicular al de propagación, siendo su velocidad de propagación menor que la de las ondas P; las ondas L y las Rayleigh son ondas superficiales que producen movimientos horizontales en el terreno y que, debido a su gran amplitud y superficialidad, causan los mayores daños.

Todo este conjunto de ondas de propagación da lugar a **movimientos ondulatorios** en el terreno que, a causa de sus diferentes frecuencias, provoca el agrietamiento del mismo y la rotura de todo tipo de construcciones situadas en la zona de influencia de los sismos según las características del movimiento.

Un determinante del tipo de daños producido por un terremoto es la clase de material afectado. En función de la litología de que se trate los efectos del sismo se traducirán con mayor o menor intensidad, atenuando la sacudida algunos materiales y acentuándola otros; los materiales blandos son propensos al colapso, flujo o licuefacción. En zonas litorales los terremotos originados en el mar pueden provocar enormes olas, llamadas **tsunamis**, que llegan a destruir ciudades costeras.

Otro de los efectos de los movimientos sísmicos es la ocurrencia de deslizamientos, desprendimientos y flujos en el terreno como consecuencia del desplazamiento a que se ve sometido el material, provocando graves daños adicionales en las zonas afectadas.

Como ya se ha comentado, la localización espacial de las zonas sísmicas está controlada en general, pero no así su predicción temporal. El impredecible comportamiento de las zonas sísmicamente activas hace que las labores de predicción no sean muy efectivas a no ser en lo referente a los posibles emplazamientos de los terremotos; la prevención se puede abordar en la normativa respecto a las construcciones en estas zonas.

En función de la situación del **hipocentro** los terremotos se pueden clasificar en profundos (foco a más de 300 km. de profundidad), medios (entre 300 y 70 km. de profundidad) y superficiales (a menos de 70 km.). Los superficiales afectan a menos extensión, pero sus efectos pueden ser más devastadores por la cercanía del foco. También, y según sea la distancia del **epicentro** a una zona determinada, se habla de terremoto lejano (a más de 1.000 km. de distancia) y cercano (a menos de 1.000 km.).

Los daños causados por los terremotos se miden por su **intensidad**, mientras que el grado de movimiento registrado, independientemente de los daños, se mide por su **magnitud** (a través de instrumentos de registro). La escala de intensidad de MERCALLI contiene doce grados que van desde el sismo que no llega a ser percibido por personas hasta aquel que da lugar a la destrucción total de una zona. La escala de magnitudes de RITCHER comprende diez grados que están relacionados con la de MERCALLI.

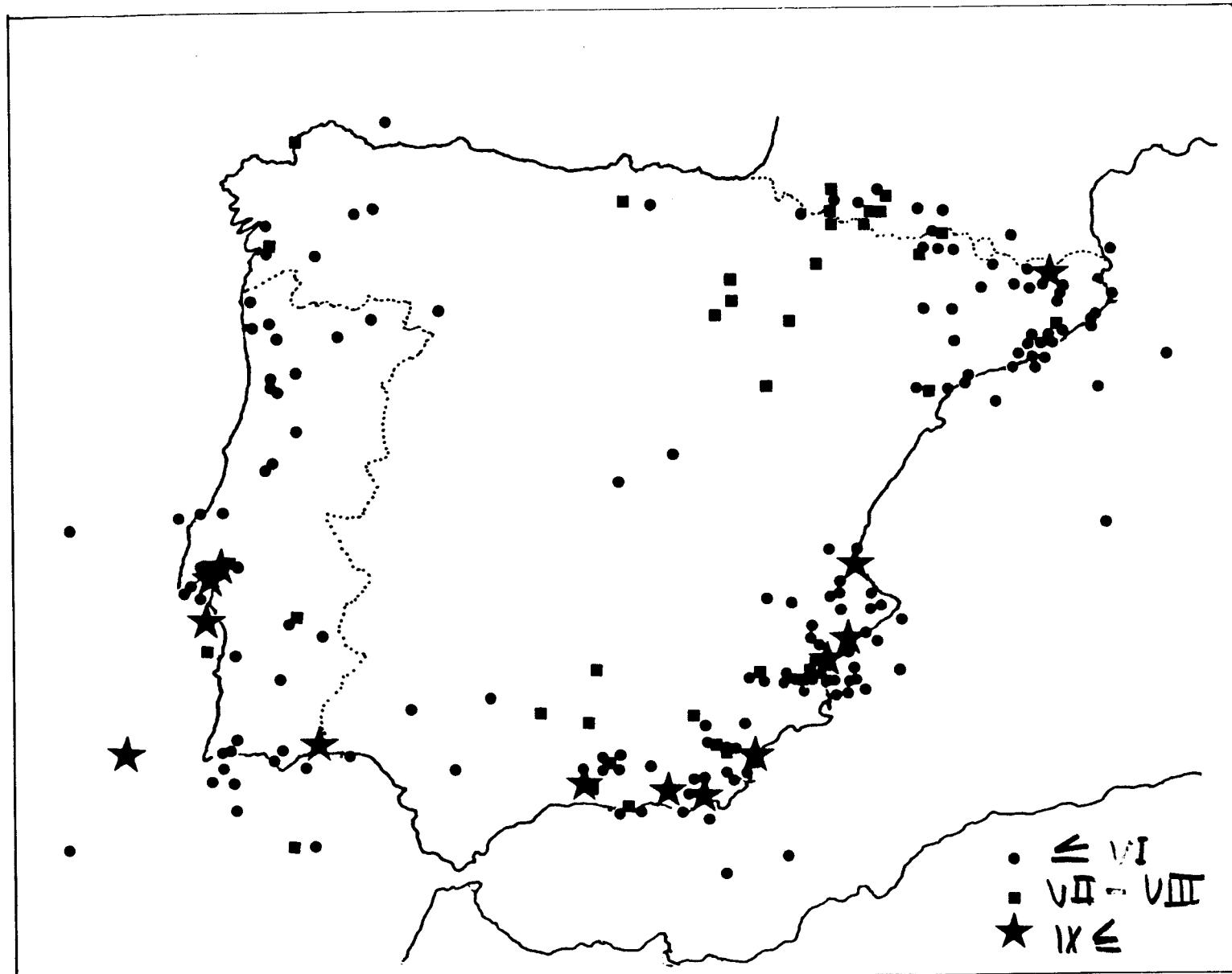


Figura 7.13. Representación de los epicentros de los terremotos del catálogo de Isosistas de la península Ibérica con diferente grado de intensidad (IGN, 1982).

7.2.2. Distribución geográfica

A escala planetaria, suelen coincidir las áreas de actividad sísmica y volcánica (por ejemplo, en el Cinturón de Fuego del Pacífico); aunque no existe una dependencia genética entre ambos fenómenos, los dos son consecuencia de los mismos procesos dinámicos, existiendo una relación espacial entre las zonas de generación de magma y la profundidad de los focos sísmicos (AGUEDA y otros, 1977).

La península Ibérica se encuentra situada en el área mediterránea, una de las dos grandes bandas sísmicas mundiales, lo que ha dado lugar a la existencia de terremotos importantes. En España existen dos zonas sísmicas importantes en el área del SE (Andalucía-Alborán) y Pirineos; el resto presenta una actividad sísmica de baja a moderada (figura 7.13). Además, la zona SW está sometida a la posible influencia de terremotos lejanos originados en el área de la falla de las Azores.

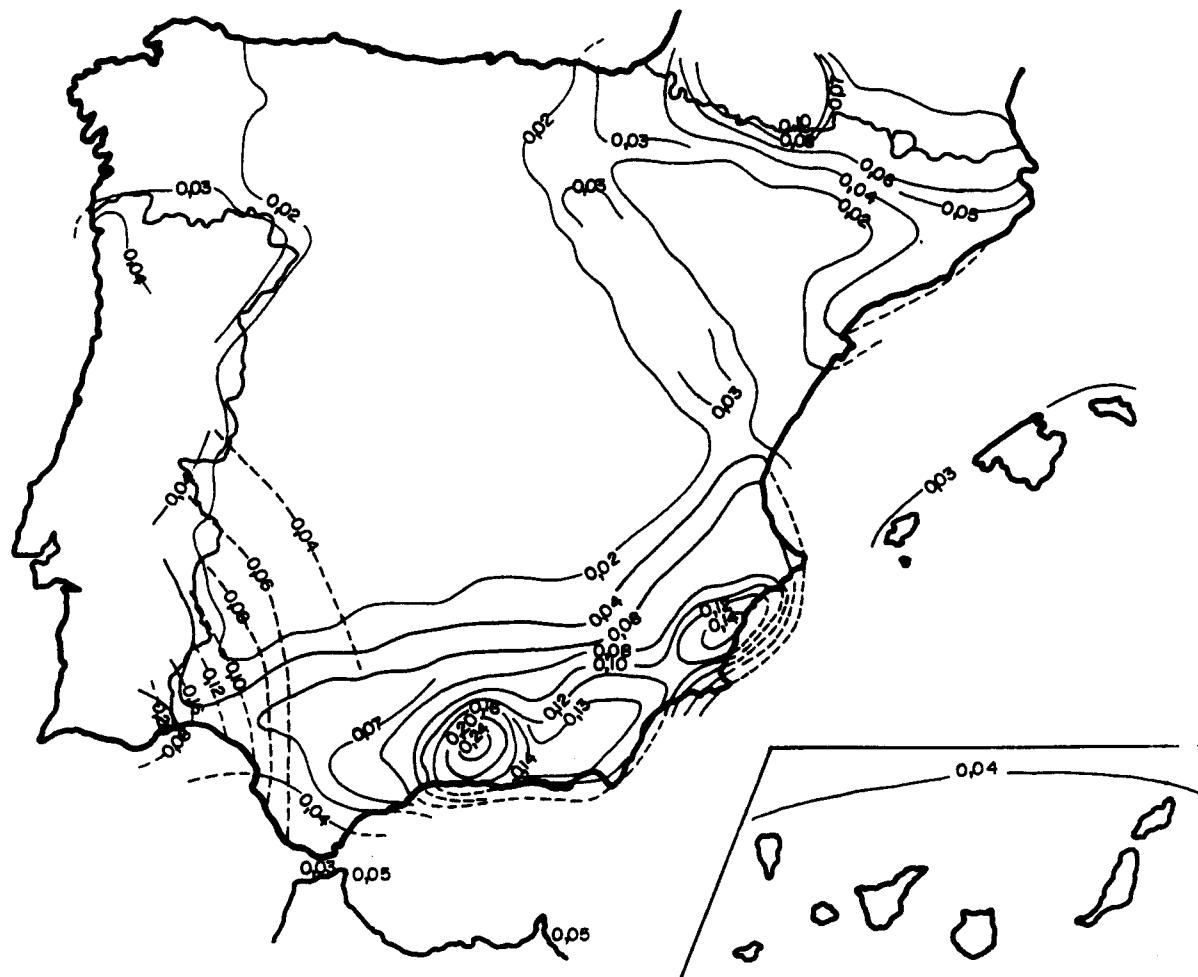
Los terremotos más graves de que se tienen noti-

cias ocurrieron en Olot (Gerona) en 1428, Carmona (Sevilla) en 1504, en Almería en los años 1804, 1860 y 1863, en Murcia en 1828, y el llamado terremoto de Andalucía en 1884 (BELES y otros, 1975).

El terremoto de Lisboa (1755) también dejó sentir efectos importantes en la zona del SW español, provocando tsunamis que ocasionaron la mayor parte de las víctimas en las poblaciones litorales.

El riesgo de **tsunamis** en nuestro litoral, aparte de en las costas atlánticas donde aparecen ligados a la zona sísmica de las Azores, puede ser importante en menor medida en el Mediterráneo, provocados por terremotos con epicentros en el área de Alborán.

En las Islas Canarias existe una actividad sísmica, asociada al vulcanismo activo del archipiélago, cuyos máximos tienen lugar durante las erupciones volcánicas. Durante el período comprendido entre 1825 y 1978 ha habido una historia importante de terremotos sentidos (algunos de ellos registrados) principalmente en las islas de Tenerife, La Palma y Fuerteventura (MONGE, 1981).



0,02 Probabilidad anual

— Terremoto proximo

- - - Terremoto lejano

Figura 7.14. Mapa de España con representación de las líneas de aceleración sísmica básica expresada en unidades de aceleración de la gravedad (COMISION DE NORMAS SISMORRESISTENTES, 1987).

Con vistas a evitar en lo posible los daños ocasionados por terremotos, en España existe, desde el año 1974, una normativa referente a construcciones en áreas de diferente grado de intensidad sísmica. Actualmente, se está revisando esta normativa a cargo de la Comisión de Normas Sismorresistentes, variando los criterios en base a los cuales se establecen las normas.

En la figura 7.14 aparece un mapa de España, con representación de las líneas de aceleración sísmica básica expresada en unidades de aceleración de la gravedad, propuesto por la Comisión de Normas Sismorresistentes. El mapa representa los valores de aceleración sísmica correspondiente a la probabilidad anual de 0.002 (Período de Retorno de 500 años) para terremotos cercanos y lejanos (en puntos del SW de la península) que pueden tener influencia significativa en un determinado tipo de estructuras (MEZCUA, 1986). Según esta propuesta, no es obligatoria la consideración de acción sísmica para las construcciones de moderada importancia cuando el correspondiente valor de la aceleración sísmica sea inferior a 0.16 g.

El objetivo último de la Norma Sismorresistente actualmente en estudio, es el evitar la pérdida de vidas humanas y reducir, en lo posible, las pérdidas económicas que futuros terremotos pudieran occasionar. Para ello se clasifican las construcciones según su importancia y se establecen diversos criterios para la aplicación de la Norma, en función también del tipo de terreno de cimentación.

7.3. Diapirismo

7.3.1. El fenómeno

El diapirismo es un proceso ligado a **materiales salinos y evaporíticos**, que consiste en la extrusión del material en forma de domo debido a las presiones litostáticas ejercidas por los terrenos circundantes y suprayacentes. Las **estructuras halocinéticas** son las producidas por el desplazamiento y acumulación de las rocas plásticas que levantan o perforan la superficie, dando lugar a los domos o diapiros respectivamente (DEL VALLE, 1987) (figura 7.15).

El ascenso del material puede producirse a favor de fracturas preexistentes, creándose los diapiros laminares si se produce una extensión lateral a favor de planos de discontinuidad.

La actividad del diapiro perturba la sedimentación en superficie, provocando un adelgazamiento de las capas al adaptarse a la nueva morfología; durante el ascenso se produce también la fractura de las rocas circundantes.

En el caso de materiales yesíferos, los movimientos inducidos en superficie pueden ser debidos al propio ascenso del material o a procesos de hidratación. Los diapiros y domos son los relacionados con su ascenso a superficie y con los cambios de volumen por disolución o por hidratación en el caso de la anhidrita. En general, los diapiros suelen llevar asociados manantiales salinos.

(*)

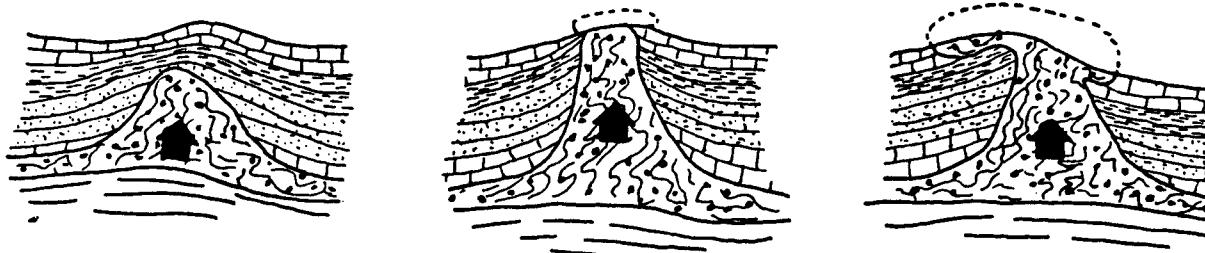


Figura 7.15. Formación de un diapiro salino (MELÉNDEZ FUSTER, 1975).

7.3.2. Distribución geográfica

En la figura 7.16 se ha representado un mapa de España con los diapiros y zonas con procesos halocinéticos más significativos.

Excepto los diapiros salinos del W de Barcelona (donde destacan los de Suria y Cardona) y algunos domos anticlinales en la Cuenca del Ebro, el resto corresponden a materiales del Keuper, sales, anhidritas y arcillas plásticas, en zonas tectonizadas.

En las zonas de Navarra y Vasco-Cantábrica, los diapiros aparecen asociados a fracturas con direcciones ONO-ESE o NNE-SSO (DEL VALLE, 1987), des-

tacando el de Cabezón de la Sal (Santander) que sufre explotación por disolución. A lo largo del río Cinca, en la provincia de Huesca, aparecen también algunos diapiros en materiales evaporíticos.

En las Béticas, a lo largo de una banda desde Alicante al Trías de Antequera, existen diapiros y zonas con procesos halocinéticos ligados siempre a los materiales del Keuper y a zonas tectónicamente activas; en concreto, en la provincia de Alicante son abundantes este tipo de fenómenos, destacando el diapiro de Pinoso, que también sufre explotación por disolución. Un par de estructuras diapiricas aparecen en la zona Norte de la provincia de Valencia, en su límite con la de Teruel.

→(*) Igual falta una linea:
Así pues, los movimientos a que pueden darse las diapiros

Cedrarr /

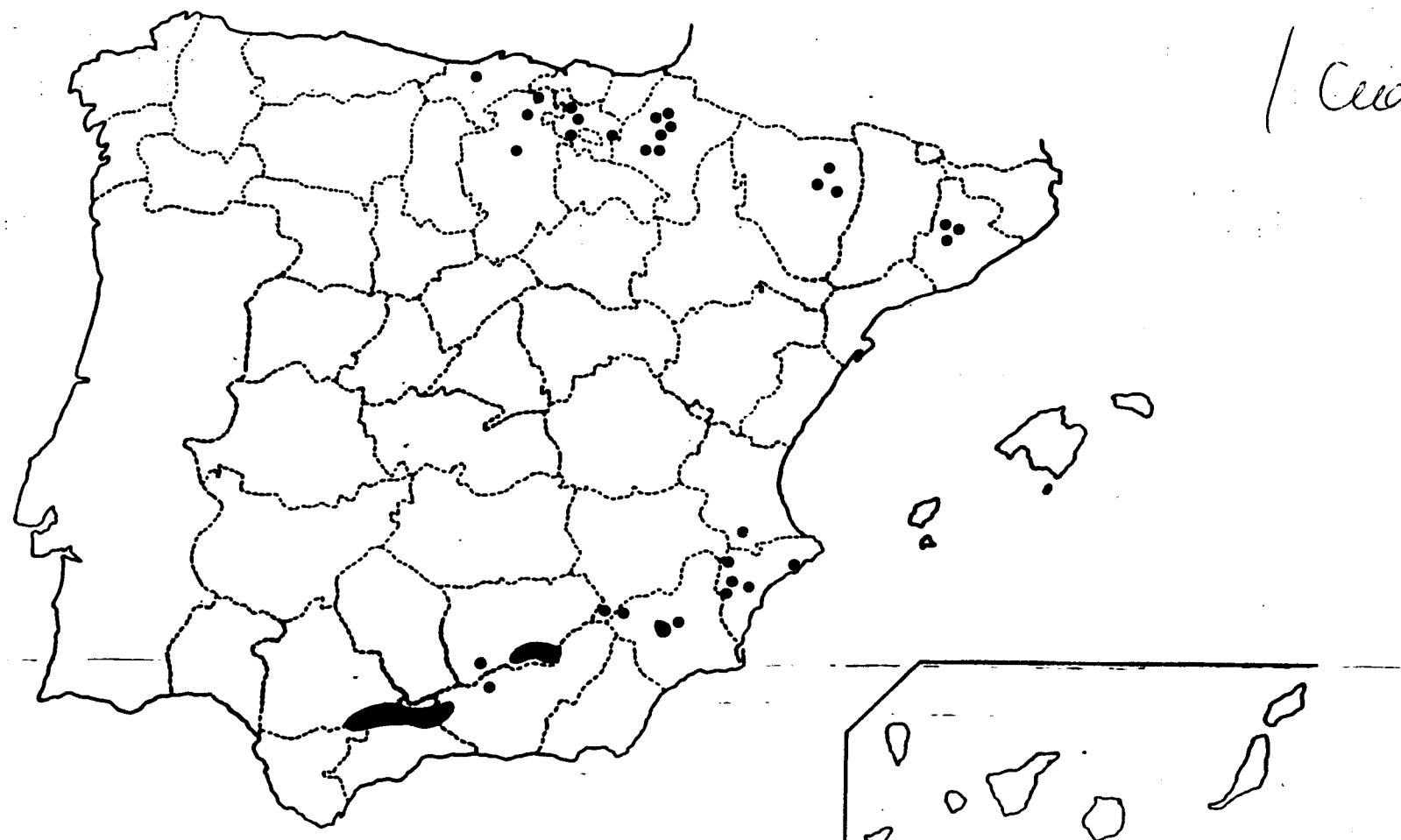


Figura 7.16. Principales diapiros y zonas con procesos halocinéticos en España.

8. BIBLIOGRAFIA

- AGUEDA, J.; ANGUITA, F.; ARAÑA, V.; LÓPEZ, J.; SÁNCHEZ DE LA TORRE, L. (1977): *Geología*. Ed. Rueda, cap. 9.
- ALFORS, J.; BURNETT, J. L.; GAYTE (1973): «Urban Geology, Master Plan for California», *Bull. of Calif. Div. of Mines and Geology*, n.º 198.
- ALONSO, E. (1986): «Movimientos del terreno. Roturas en Suelos. Casos reales», *Riesgos Naturales en Ingeniería Civil*, pp. 45-98, U.P. de Cataluña. Barcelona, 1986.
- ALVARADO, M. (1980): «Introducción a la Geología General de España», *26 Congreso Geológico Internacional*. Publicaciones especiales del Boletín Geológico y Minero. Madrid, 1986.
- ANCOECHEA, E.; HERNÁN, F. (1981): «Riesgo Volcánico», *Geología y Medio Ambiente*. M.O.P.U. Serie Monografías, 11. CEOTMA, cap. VI. 1.
- ARAÑA, V.; ORTIZ, R. (1984): *Volcanología*. Ed. Rueda, cap. 1.5 y 2.1.
- ASENSIO AMOR, J. (1983): «Fenómenos Litorales en la Costa oriental Lucense: su incidencia en la defensa de costas», *Cuadernos del Laboratorio Geológico de Laxe*, ~~Homme~~, Madrid, 1983.
- BELES, A.; IFRIM, M.; GARCÍA YAGÜE, A. (1975): *Elementos de Ingeniería Sísmica*. Ed. Omega, cap. 1.
- B.R.G.M. (1983): «Carte des zones exposées à des glissements, écoulements, effondrements et affaissements de terrain en France», *Echelle 1/1.000.000. Mémoire du B.R.G.M.*, n.º 124.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1981): *Los climas de España*. Oikos. Tan, ed. cap. II.
- CARRACEDO, J. C. (1987): «El Riesgo Volcánico», *I Curso de Riesgos Geológicos*. I.G.M.E. Madrid, 1987.
- COLMENAR, E. (1987): «Sin arena no hay playa», *Revista del M.O.P.U.*, n.º 343, pp. 34-40.
- COMISION DE NORMAS SISMORRESISTENTES (1987): Borrador provisional. Inédito.
- COPEIRO DEL VILLAR, E. (1978): «Los Ritmos Naturales de nuestras playas», *Revista de Obras Públicas*. Mayo, Madrid.
- COROMINAS, J. (1984): «Sobre la formación de coladas de barro en el Pirineo Catalán», *Inestabilidad de Laderas en el Pirineo, ponencias y comunicaciones*. E.T.S.I.C.C.P., U.P. de Barcelona, 1984; pp. I-9.1 a I-9.10.
- COROMINAS, J.; ALONSO, E. (1984): «Inestabilidad de laderas en el Pirineo Catalán. Tipología y Causas», *Inestabilidad de laderas en el Pirineo, Ponencias y Comunicaciones*. E.T.S.I.C.C.P., U.P. de Barcelona, 1984; pp. C-1 a C-53.
- DABRIO, C. J.; GOY, J. L.; ZAZO, C. (1984): «Dinámica Litoral y ambientes sedimentarios en el Golfo de Almería desde el Tirreniense a la actualidad», *I Congreso español de Geología*, tomo I, pp. 507-522.
- DABRIO, C. J.; ZAZO, C. (1987): «Riesgos Geológicos en zonas litorales», *V Curso de Riesgos Geológicos*. I.G.M.E. Madrid, 1987.
- DEL VAL, J. (1987): «Factores que controlan los procesos de erosión-sedimentación», *I Curso de Riesgos Geológicos*. I.G.M.E. Madrid, 1987.
- DEL VALLE, J. (1987): «Estructuras halocinéticas y Riesgos Geológicos», *I Curso de Riesgos Geológicos*. I.G.M.E. Madrid, 1987.
- DURÁN, J. J. (1987): «Riesgos asociados al Karst», *I Curso de Riesgos Geológicos*. I.G.M.E. Madrid, 1987.
- FERRER, M. (1987): «Deslizamientos, desprendimientos, flujos y avalanchas», *I Curso de Riesgos Geológicos*. I.G.M.E. Madrid, 1987.
- FLOR, G. (1985): «El perfil costero del NO de la península Ibérica», *Actas de la I Reunión del Cuaternario Ibérico*, pp. 205-218. Lisboa, 1985.
- FONT TULLOT, I. (1983): *Climatología en España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología, cap. 1 y 5.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. I. (1982): «Criterios Geológicos y Geotécnicos para el diseño de cortas a cielo abierto», *Simposio sobre obras de superficie en Mecánica de Rocas. Tomo de Ponencias*.
- I.G.M.E.: Colección de Mapas Geológicos, escala 1/200.000.
- I.G.M.E.: Colección de Mapas Geotécnicos Generales, escala 1/200.000.
- I.G.M.E.: Colección de Mapas de Rocas Industriales, escala 1/200.000.
- I.G.M.E.: Colección de Mapas Geotécnicos y de Riesgos Geológicos para ordenación urbana de ciudades a escala 1/25.000.
- I.G.M.E. (1972): Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares, escala 1/1.000.000.
- I.G.M.E. (1977): Memoria del Mapa Tectónico de España.
- I.G.M.E. (1980): Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias, escala 1/1.000.000.
- I.G.M.E. (1980): Mapa Geotécnico de España, escala 1/1.000.000.
- I.G.M.E. (1985): *Informe sobre riesgos de desprendimientos en Salas Altas y Tamarite de Litera (Huesca)*. Inédito.
- I.G.M.E. (1986): Mapa Previsor de Riesgos por Arcillas Expanativas, escala 1/1.000.000.
- I.G.M.E. (1986): Mapa de Karst de España, escala 1/1.000.000.
- I.G.M.E. (1987): *Riesgos Geológicos. Guía Didáctica. Colección de Diapositivas*.
- I.G.M.E. (1987): *Manual de Taludes*, cap. II.
- I.G.M.E. (1987): *Impacto económico y social de los Riesgos Geológicos en España*.
- I.G.N. (1982): *Catálogo General de Isosistas de la Península Ibérica*.
- JARAMILLO, A. (1986): «Las dunas del Litoral al capricho del viento», *Revista del M.O.P.U.*, n.º 336, pp. 18-24.
- JEREZ MIR, I. (1979): «Contribución a una nueva síntesis de las Cordilleras Béticas», *Boletín Geológico y Minero*, t. 90, fasc. VI, pp. 1-53.
- JULIVERT, M.; FONTBOTE, J. M.; RIEBEIRO, A.; CONDE, L.

- (1974): Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares, escala 1/1.000.000.
- LÓPEZ CADENAS, F. (1987): «La erosión en España», *I Curso de Riesgos Geológicos*. I.G.M.E. Madrid, 1987.
- MARTÍNEZ, E.; TELLO, B. (1986): *Atlas de Geomorfología*. Alianza Editorial.
- MELÉNDEZ, B.; FUSTER, J. M. (1975): *Geología*. Ed. Paraninfo, cap. X y XV.
- MEZCUA, J. (1986): Mapas de Aceleración sísmica básica. Comisión de Normas Sismorresistentes. I.G.N. Inédito.
- MONGE, F. (1981): *Catálogo sísmico preliminar del Archipiélago Canario*. U.C. de Madrid. Cátedra de Geofísica. Publicación, n.º 165.
- M.O.P.U.: Mapas geotécnicos de la colección de informes sobre Estudios Previos del Terreno. Dirección General de Carreteras.
- M.O.P.U. (1985): *Medio ambiente en España*. Monografías de la Dirección General del Medio Ambiente.
- M.O.P.U. (1986): *Ecosistemas vegetales del litoral mediterráneo español*. Monografías de la Dirección General del Medio Ambiente.
- M.O.P.U. (1987): *Acciones para la protección de la zona del Mediterráneo, 1975-1985*. Monografías de la Dirección General del Medio Ambiente.
- PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1979): «El Cuaternario de la región central de la Cuenca del Duero y sus principales rasgos geomorfológicos», *I Reunión sobre la Geología de la Cuenca del Duero*, t. II, pp. 717-740.
- PÉREZ GONZÁLEZ, A.; ALEIXANDRE, T.; PINILLA, A.; GALLARDO, J. (1983): «El paisaje eólico de la llanura aluvial de S. Juan (llanura manchega Central)», *VI Reunión del grupo español de trabajo del Cuaternario. Cuadernos del Laboratorio Geológico de Laxe*, 5, pp. 631-656.
- RAHN, P. H. (1986): *Engineering Geology, an environmental approach*. Elsevier, cap. 9 y 10.
- RECUERO, A. (1987): «Dunas, cotos y marismas», *Revista del M.O.P.U.*, n.º 343, pp. 68-73.
- STRAHLER, A. N. (1984): *Geografía física*. Ed. Omega, cap. IV.
- TERÁN, M.; SOLE, L.; VILLA, J. (1987): *Geografía Regional de España*, 5.ª edición. Ed. Ariel Geografía, pp. 456-462 y 479-483.
- VARNES, D. J. (1958): «Landslides types and processes», *Landslide and Engineering Practice. Highway Research Board Special Report*, 29, pp. 20-47.
- VÁZQUEZ, F. (1983): *Depósitos Minerales de España*. I.G.M.E.
- WALTHAN, T. (1978): *Catastrophe, the violent earth*. McMillan. London, Ltd, cap. 1.

earth
Highway