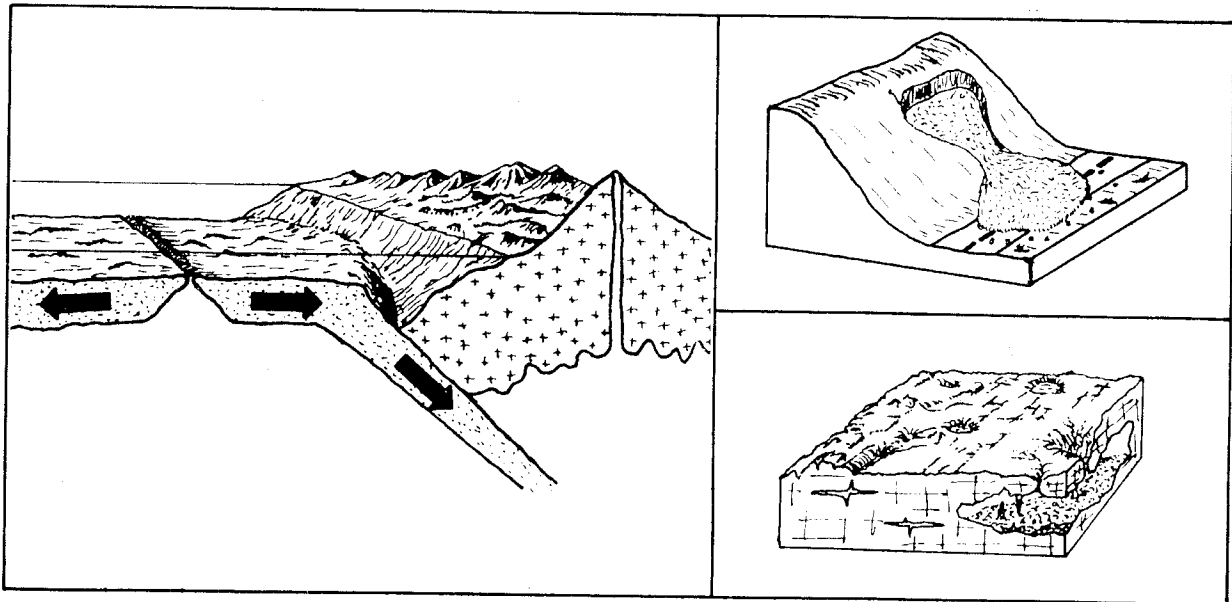


# RIESGOS GEOLOGICOS

GUIA DIDACTICA  
COLECCION DE DIAPOSITIVAS



SERIE: GEOLOGIA AMBIENTAL



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

00956

# LOS RIESGOS GEOLOGICOS

## GUIA DIDACTICA COLECCION DE DIAPOSITIVAS

### **& INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. (IGME)**

Rios Rosas, 23 (28003-Madrid)

Telf. (91) 441 65 00. Télex 48054

La propiedad de las diapositivas corresponde a sus autores.

Este trabajo ha sido realizado por el Instituto Geológico y Minero de España con la colaboración de Consulting de Ingenieros y Economistas, S. A. (CIECSA) dentro del marco del Proyecto de «Síntesis de Riesgos Geológicos». Su financiación ha corrido íntegramente a cargo del IGME.

### **EQUIPO DE TRABAJO:**

F. J. Ayala Carcedo. IGME. Director del Trabajo

J. J. Durán Valseo. IGME.

C. Gazapo Badiola. CIECSA.

F. Alfonso de Molina. CIECSA.

E. Pérez Boada. CIECSA.

E. Palomo García. CIECSA.

V. Laforet Zayas. (Asesora Pedagógica).

# INDICE

Riesgos ligados a la Geodinámica externa.....	8
Inundaciones .....	9
Desprendimientos y deslizamientos .....	14
Hundimiento y subsidencias del terreno. Karst .....	19
Dinamica litoral .....	24
Erosión .....	32
Riesgos ligados a la Geodinámica interna.....	36
Volcanes .....	37
Terremotos .....	40
Diapirismo .....	45

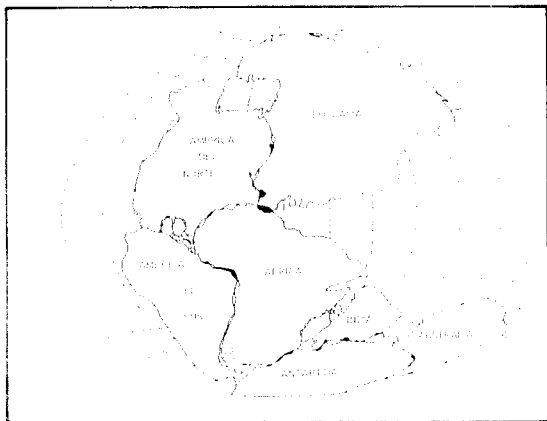
Al contemplar una montaña o un valle profundo es frecuente preguntarse cómo se pudieron formar. ¿Qué fuerzas imponentes, qué conjunto de fenómenos tuvieron lugar para levantar semejantes masas o desgarrar tan duras rocas?

Pero aunque podemos exponer teorías más o menos satisfactorias, sobre las causas y modo de actuar de los procesos responsables de las formas geológicas existentes, cabe aún formularse una última pregunta: ¿Pueden darse por terminados los procesos que modelan la corteza terrestre? ¿Siguen, por el contrario, con capacidad de actuación?, y lo que es más apasionante, ¿están *ahora mismo*, mientras contemplamos un paisaje, actuando y alterando ese mismo paisaje?

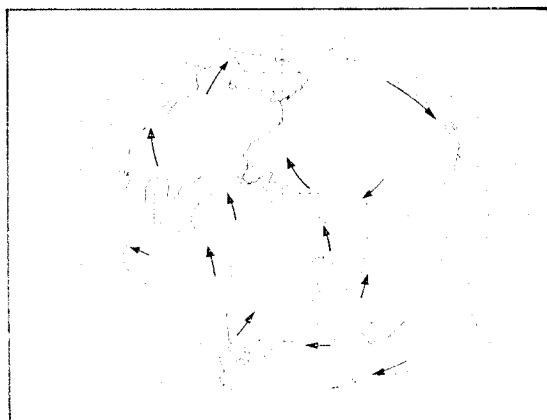
La respuesta es afirmativa: la Tierra está viva. Bajo un aspecto de aparente inmovilidad se desarrolla una actividad continua. Valles, montañas, acantilados, playas, etc., se están formando en la actualidad y se encuentran constantemente cambiando de forma en una búsqueda perenne de un equilibrio que están condenados a no alcanzar. En la figura 1 se muestra la evolución de los continentes en su

deriva a través del planeta según se ha demostrado en la *Teoría de la Tectónica de Placas* formulada hacia 1960. La figura 1a muestra la situación de los continentes tal como se supone que debieron estar en el período Pérmico, hace 200 millones de años, reconstruida en base a datos computerizados por sir E. BULLARD, J. E. EVERETT, A. G. SMITH y W. SPROLL. Después de 20 millones de años de deriva, a finales del Triásico, puede observarse (fig. 1b) la separación producida entre los continentes América del Norte-Eurasia y América del Sur-Africa, y entre este último y el conjunto Australia-Antártida. Es a finales del Jurásico y tras 65 millones de años de deriva (fig. 1c), cuando se inicia la separación de los continentes América del Norte y Eurasia. En este mismo período se ha desarrollado considerablemente la separación entre América del Sur y África. Tras 135 millones de años de deriva, a finales del período Cretácico, se hace patente la creación del hoy llamado Océano Atlántico como la separación entre África y la Antártida, que aún en este período permanece unida a Australia. Igualmente, se hace notable la presencia del mar Mediterráneo y la acentuación de la separación entre América del Norte y Eurasia (fig. 1d).

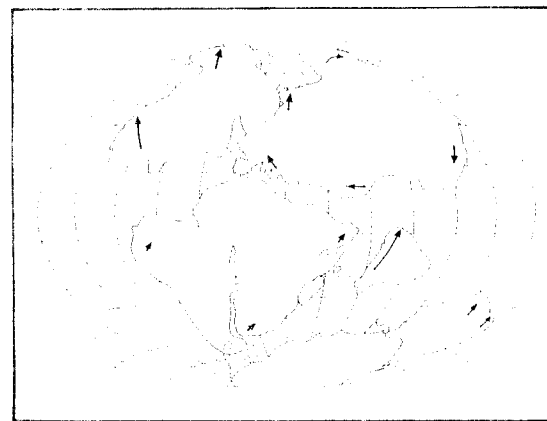
**Fig. 1.**—Movimiento de las Placas Continentales. Las flechas indican el vector movimiento de los continentes una vez iniciada la deriva. (Fuente: Scientific American. Deriva continental.)



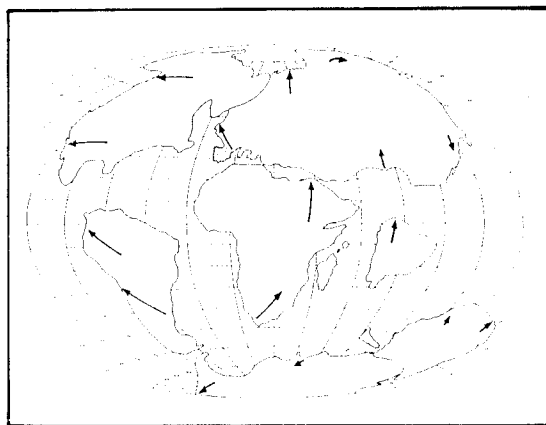
**Fig. 1a.**—Situación hace 200 millones de años.



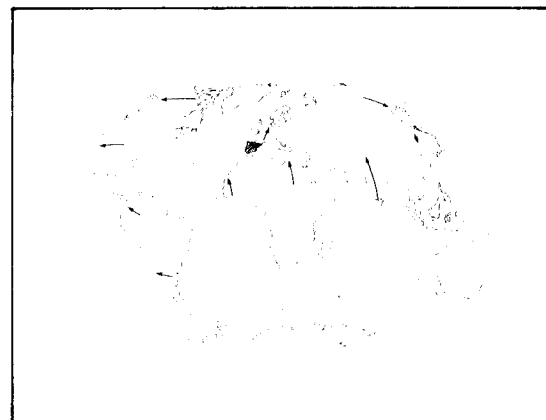
**Fig. 1b.**—Situación hace 180 millones de años.



**Fig. 1c.**—Situación hace 135 millones de años.



**Fig. 1d.**—Situación hace 65 millones de años.



**Fig. 1e.**—Movimiento de Placas Continentales. Situación actual. (Fuente: Scientific American. Deriva continental.)

En la figura 1e se muestra la situación de los continentes tal y como es hoy día, es decir, después de la evolución que han experimentado durante los últimos 65 millones de años, correspondientes al Cenozoico, destacando la unión de la India con Asia, la separación de los continentes América del Norte y Eurasia, como asimismo la separación de la Antártida del continente australiano.

Esta idea es el eje central del *Principio del Actualismo*, formulada por el inglés HUTTON en 1788, que se opone al pensamiento más antiguo del cataclismo como fenómeno generador de la forma de la corteza, que fue defendido por el paleontólogo CUVIER. El actualismo propone que los procesos y causas que

dieron lugar al relieve y forma de la superficie del globo, continúan actuando en la actualidad, sometiéndola a un cambio incesante. En la figura 2 se muestra el probable aspecto de los continentes dentro de 50 millones de años, obtenido extrapolando los movimientos de las placas, tal como se conocen hoy día.

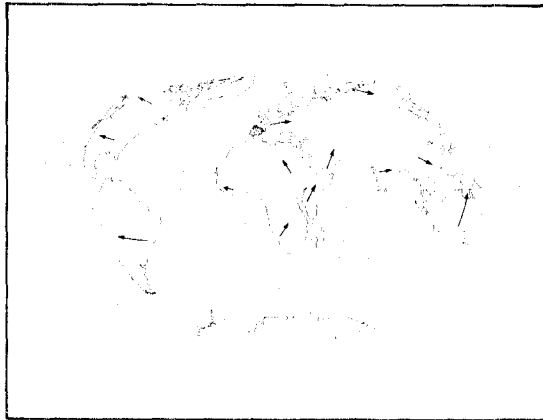


Fig. 2.—Movimiento de las Placas Continentales. Situación probable dentro de 50 millones de años. (Fuente: *Scientific American*. *Deriva continental*.)

A escala humana esta actividad es por lo general apenas perceptible: una cordillera puede elevarse un centímetro por siglo. Este proceso pasará inadvertido para el hombre, sin embargo trasladándonos a la escala geológica, el cabo de un tiempo relativamente breve de diez millones de años, la cordillera se habrá elevado un kilómetro, lo que significa una variación considerable.

Por el contrario, otros fenómenos son perfectamente perceptibles en la escala humana de tiempos por desencadenarse de forma mucho más rápida, dejándose notar sus efectos dentro del periodo de tiempo que comprende el ciclo biológico del hombre: volcanes, terremotos, inundaciones...

Las fuerzas de deformación y modelado de la corteza terrestre pueden tener un origen interno o externo, cuyo estudio corresponde a la geodinámica interna o externa, respectivamente.

Este conjunto de procesos geológicos constituye un riesgo para el hombre cuando puede afectarle a él directamente o a sus obras o propiedades.

En general, el hombre convive con el riesgo geológico, ya sea por ignorancia de su existencia, ya sea porque se habitúa a su presencia: forma comunidades en zonas inundables, en las laderas de los volcanes, en zonas sísmicas activas, etc.

Otras veces es el hombre mismo con su actividad el causante de la situación de riesgo, desencadenando un fenómeno geológico donde antes existía una situación estable, al acelerar el proceso o al provocar un desequilibrio de las fuerzas presentes.

Los daños producidos por los procesos geológicos son cuantiosos y se pueden cifrar en términos de pérdidas económicas o de irreparables pérdidas humanas.

Los datos de la estadística son suficientemente elocuentes: en Estados Unidos, país de alto nivel en detección y prevención de riesgos, se registran a pesar de todo unas pérdidas anuales de más de ocho mil millones de dólares por desastres naturales.

En España en los últimos veinte años sólo por causa de las inundaciones han fallecido más de 2.000 personas, amén de las cuantiosas pérdidas sufridas. Estudios recientes realizados por el IGME sobre los riesgos que más comúnmente se dan en España, prevén pérdidas en los próximos treinta años de más de diez billones de pesetas de 1986 y más de 7.000 muertos en la hipótesis de terremotos máximos probables.

*¿Se encuentra el hombre indefenso ante esta situación? ¿Qué es lo que puede hacer para minimizar los efectos derivados del acontecer de los procesos geológicos?*

La respuesta a estas preguntas se encuentra en el estudio de los fenómenos implicados. Es necesario un conocimiento de los ries-

gos existentes de forma que se puedan establecer las medidas necesarias para evitarlos o aminorar sus efectos.

Uno de los medios de que se dispone para la previsión y prevención es la *cartografía de previsión de riesgos*, que permite una planificación y ordenación del territorio más correcta de forma que las actividades humanas sean las adecuadas y se puedan efectuar las obras de prevención necesarias para eliminar los riesgos en la medida de lo posible.

El *Instituto Geológico y Minero de España* viene actualmente confeccionando *Mapas Previsores de Riesgos* a escala 1:1.000.000 de todo el país, descendiendo a una cartografía de mayor detalle en las zonas más afectadas por cada uno de los riesgos geológicos que pueden existir en España.

Los riesgos más importantes a que se ve sometido nuestro país son principalmente los provocados por los fenómenos que se muestran en el cuadro adjunto:

**CUADRO GENERAL DE RIESGOS GEOLOGICOS**

	INUNDACIONES.	
LIGADOS A LA GEODINAMICA EXTERNA....	MOVIMIENTOS DEL TERRENO.....	MOVIMIENTOS DE LADERA. HUNDIMIENTOS. EXPANSIVIDAD.
	DINAMICA LITORAL. EROSION.	
LIGADOS A LA GEODINAMICA INTERNA .....		VOLCANES. TERREMOTOS Y TSUNAMIS. DIAPIRISMO.

**RIESGOS  
LIGADOS A LA  
GEODINAMICA  
EXTERNA**





## Inundaciones

Uno de los riesgos más comunes en nuestra geografía es el de las inundaciones, provocadas por la acción de las aguas que, prácticamente cada año, aumentan su nivel anegando terrenos que se encuentran en áreas potencialmente inundables.

Las causas de este aumento repentino del nivel de las aguas hay que buscarlas en factores climatológicos y morfológicos.

La «gota fría» es un ejemplo de factor climatológico que provoca abundantes precipitaciones repentinas en áreas muy localizadas, con el consiguiente riesgo de inundación. Gotas frías que son el producto de la acumulación de nubes cargadas de vapor de agua sobre una zona concreta cercana al litoral, generalmente. Se condensan bruscamente y son las causantes de importantes inundaciones, como las del País Vasco del verano de 1983 o las de Alcoy de 1986.

Este fenómeno se ve favorecido por los factores topográficos, morfológicos y de vegetación. Las fuertes pendientes en las cabeceras

de los ríos españoles, unido a la existencia de zonas erosionadas (producto de la deforestación y de las tendencias seculares hacia climas más áridos), no retienen las aguas de precipitación, aumentando la escorrentía y favoreciendo la erosión y el arrastre de sedimentos hacia la llanura con una enorme violencia. Resultan de ello grandes zonas erosionadas en las que las lluvias torrenciales provocan una avalancha de una *pulpa de agua y barro que puede alcanzar hasta un 65-75% de sólidos en suspensión* en zonas como las «ramblas» mediterráneas, con lo que aumenta la capacidad destructiva de las aguas.

La configuración plana y subhorizontal de las desembocaduras de los ríos, hacen de ellas lugares ideales para las inundaciones. Así, las planas del Levante español son escenario asiduo de este tipo de catástrofes. Basta un ligero aumento del nivel de las aguas para que enormes extensiones de tierra resulten anegadas (fig. I-1).

Las favorables condiciones que tienen las zonas potencialmente inundables para los asentamientos humanos hacen que los efectos destructivos de las avenidas se incremen-

ten notablemente. Las riberas de los ríos, las llanuras y las zonas costeras, por su fertilidad y la abundancia de agua potable, superficial o subterránea, y por sus buenas condiciones para la construcción y para las comunicaciones, han llevado al hombre a elegir las con preferencia sobre otras zonas, para instalar en ellas su vivienda y hacerlas centro de su actividad. De esta forma *se desafía al riesgo*, a veces simplemente por ignorancia, y muchas otras a sabiendas de su existencia, decidiendo consciente o inconscientemente aceptarlo como una parte inevitable de sus condiciones

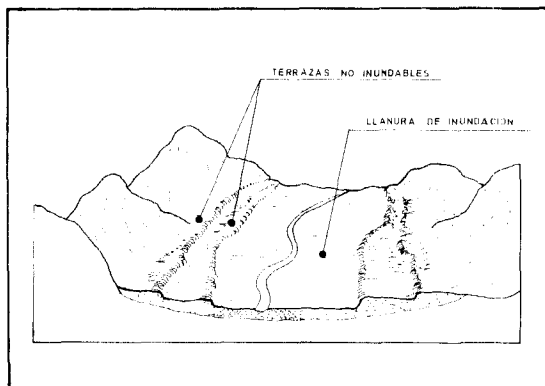


Fig. I-1.—Llanura de inundación.

de vida. Un buen ejemplo lo constituyen las ramblas o cauces secos la mayor parte del año convertidos en épocas de intensas precipitaciones en cursos torrenciales de régimen estacional, que son muy frecuentes en el Levante y sur de España (fig. I-2). Las ramblas

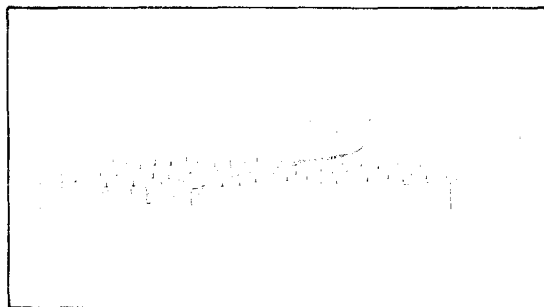


Fig. I-2.—Rambla.

permanecen secas la mayor parte del año, e incluso durante largos años, por lo que tienden a ser ocupadas con el consiguiente riesgo, dado que las inundaciones se producen de forma súbita y en su recorrido arrasan todo lo que encuentran a su paso en un torbellino de agua y barro. Ramblas de Albuñol, Almería, Puerto Lumbreras, De la Viuda, son nombres trágicamente ligados a las inundaciones.

Cifras desorbitadas son las que se manejan a la hora de evaluar los daños materiales causados por las frecuentes inundaciones que soportan puntos de España, sin embargo, el balance es más trágico a la hora de referirse a la pérdida de vidas humanas.

No hace falta remontarse mucho en el tiempo para recordar la inundación provocada por los ríos Ripoll y Besós, en la comarca catalana del Vallés, en 1962: 723 personas perdieron la vida y otras 250 se dieron por desaparecidas.

En 1973, el sureste español, Granada, Almería y Murcia, registró precipitaciones torrenciales de 600 litros por metro cuadrado en menos de veinticuatro horas: 300 personas resultaron muertas. Especialmente trágico fue el caso de la localidad de La Rábida, en el límite entre las provincias de Granada y Almería, donde la Rambla de Albuñol, un torrente habitualmente seco, se convirtió en una espesa avalancha de agua y barro que arrastró, en su huida hacia el mar, casas, puentes, animales y casi 150 personas.

La riada destruyó campos cultivados, invernaderos y carreteras, sin embargo tras el alarde de poderío destructivo, mostró su labor constructora natural al crear un extenso delta producto de la sedimentación en la playa de los materiales que transportó el agua por la cuenca hidrográfica de este torrente. Actualmente el delta se ha ocupado con nuevas construcciones, cultivos, con lo que se ha regenerado la situación de riesgo.

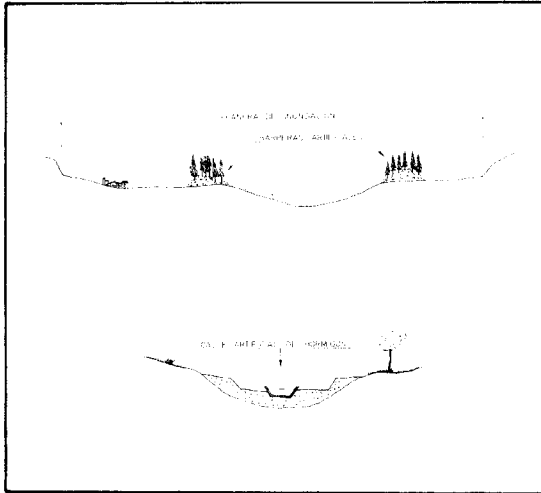
Se pueden citar decenas de otros casos, la

mayoría increíblemente próximos en el tiempo, y en todos ellos se encuentran representados los efectos más frecuentes de las inundaciones:

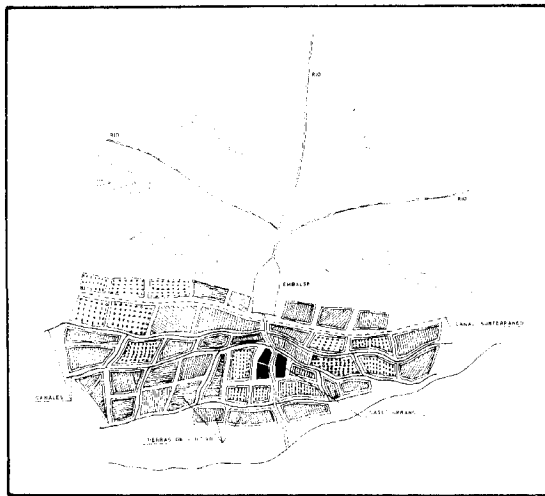
- pérdidas de vidas humanas,
- daños en las vías de comunicación,
- daños en la infraestructura de abastecimiento y saneamiento de aguas,
- daños en la infraestructura urbana,
- daños en el suministro de energía,

- daños en la infraestructura de riego y drenaje,
- daños en las telecomunicaciones,
- daños en las industrias y
- daños en las áreas agropecuarias.

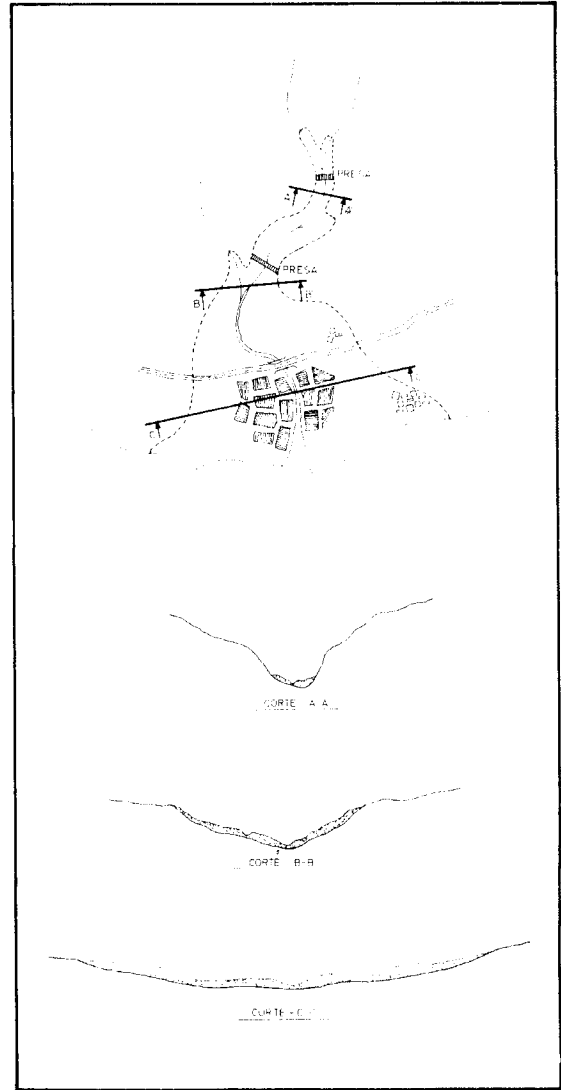
Hay dos formas de actuación para la prevención y lucha contra las inundaciones: *medidas estructurales* y *medidas no estructurales*.



**Fig. 1-3.**—Prevención de daños con malecones y canalización.



**Fig. 1-4.**—Prevención de avenidas mediante embalses y la desviación del cauce por canales.



**Fig. 1-5.**—Prevención de inundaciones mediante represas.

Entre las primeras se encuentran *la construcción de defensas contra las aguas: diques, muros de contención, encauzamientos* y, las más importantes, *presas de regulación*. Todas estas obras pretenden el almacenamiento, confinamiento y ordenación de la circulación de los caudales extraordinarios producidos en las crecidas (figs. I-3, I-4 e I-5).

No obstante, a veces las *previsiones técnicas resultan inútiles*, como ocurrió en la presa de Tous, desbordada y semidestruida por la crecida del río Júcar, por problemas electromecánicos en la apertura de aliviaderos, con el habitual balance de pérdidas económicas y de vidas humanas.

*Las medidas no estructurales intentan abor-*

<i>Cuenca hidrográfica</i>	<i>Total</i>
Norte .....	300
Duero .....	72
Tajo .....	25
Guadiana.....	66
Guadalquivir.....	177
Sur.....	121
Segura.....	9
Júcar .....	173
Ebro .....	221
Pirineo Oriental .....	172
Islas Canarias .....	29
Islas Baleares.....	33

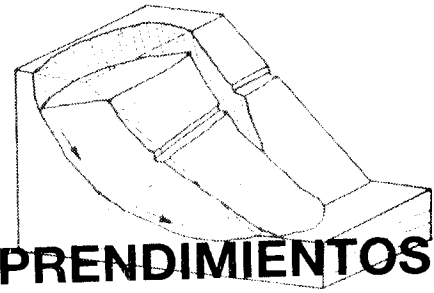
Fig. I-6.—Inundaciones: puntos conflictivos.

dar el problema desde la prevención, siempre más económica y con otros potenciales de riqueza añadidos. Van en este sentido las *repoblaciones forestales y las prácticas agronómicas de laboreo no erosivo y la ordenación del territorio a partir de mapas de riesgos*.

En España se han catalogado por la Comisión Técnica de Inundaciones de Protección Civil 1.400 puntos negros con alto índice de riesgos y pérdidas sufridas en vidas y bienes (fig. I-6).

Con esta imprescindible fuente de información, el paso siguiente para reducir los efectos es proceder a una ordenación racional del territorio, al objeto de «*guardar las distancias*» convenientemente entre la actividad humana y la actividad hidrológica natural.

En este mismo apartado de protección no estructural debe incluirse en el *Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH)*, que se ha implantado en varias cuencas hidrográficas españolas con fines predictivos en tiempo real. El sistema está formado por una red de sensores instalados en pluviógrafos, estaciones de aforo y embalses, que transmiten de modo automático y en tiempo real datos de interés a una central, donde se procesan informáticamente para evaluar la situación pluviométrica, y así poder tomar con toda rapidez las decisiones oportunas para prevenir las avenidas y reducir sus efectos.



**DESPRENDIMIENTOS  
Y DESLIZAMIENTOS**

### **Desprendimientos y deslizamientos**

En su forma más general los movimientos de laderas son cambios en la forma geométrica externa de la superficie terrestre en zonas localizadas, debido a las fuerzas gravitatorias.

El tipo y forma de desarrollarse el fenómeno están en función de una gran variedad de parámetros y su clasificación depende de la naturaleza de la roca, cinemática y velocidad del movimiento, causas, edad y tiempo de la rotura, profundidad de las capas afectadas, forma de la rotura y otros factores.

Los principales tipos de movimiento de laderas son:

- Caídas.
- Deslizamientos.
- Fluencias lentas y rápidas.

Además de estos, los movimientos del terreno engloban los hundimientos kársticos y levantamientos producidos por las arcillas expansivas y por fenómenos de diapirismo, si

bien estos no son considerados dentro de este grupo por tratarse de fenómenos ligados a la geodinámica interna.

En el cuadro de la figura D-1 se recogen las diferentes clases en que se subdividen los tipos anteriores.

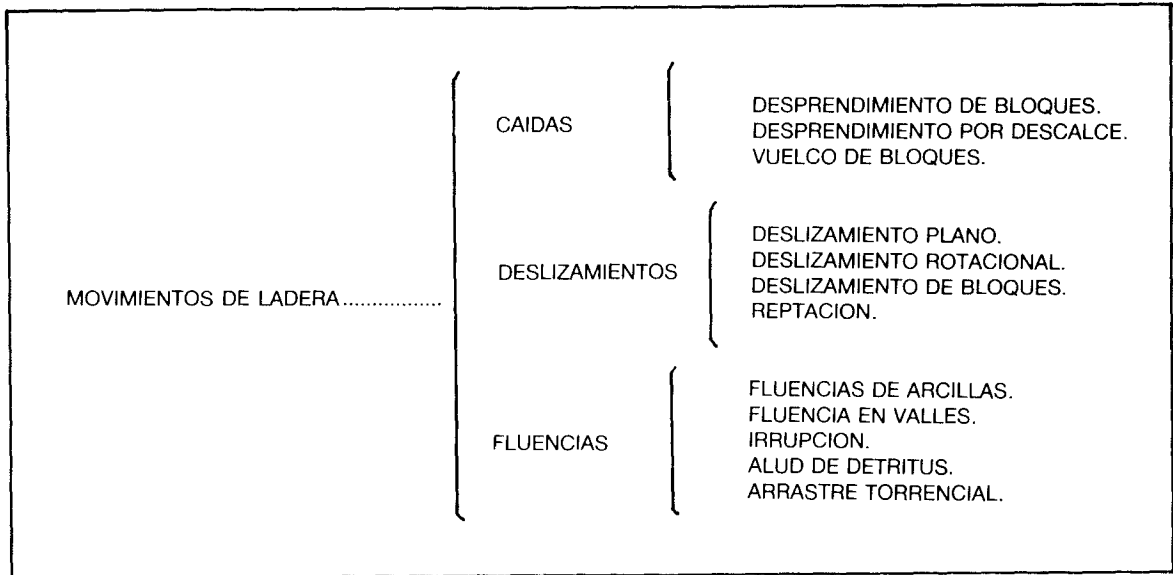
#### *Caídas*

Es un tipo de movimiento de laderas en el que los materiales siguen una trayectoria total o parcialmente aérea, cayendo sobre las laderas o suelos a más o menos distancia del punto de partida. Se conocen como *desprendimiento de bloques* (fig. D-2).

En el caso de que los bloques caigan en vertical por el desarrollo de grietas subverticales en un fenómeno puesto en marcha por la erosión de capas inferiores, se produce el desplome de los bloques en un proceso que se conoce como *desprendimiento por descalce* (fig. D-3).

Cuando en los acantilados o grandes escarpes los materiales pétreos se apoyan en capas inferiores menos consistentes, las cuales se erosionan o fluyen de forma que el centro

CUADRO D-1.—TIPOS DE MOVIMIENTOS DE LADERA



de gravedad queda fuera de la base de sustentación del bloque, éste bascula produciéndose la consiguiente caída. Este fenómeno se conoce como *vuelco de bloques* (fig. D-4). Existen también *vuelcos de estratos*.

*Deslizamientos*

Por el contrario los deslizamientos son procesos en que la trayectoria seguida por los materiales en movimiento no es aérea, sino que se produce por resbalamientos o despla-

zamientos, pudiendo afectar a materiales menos consistentes y a capas más profundas (fig. D-5).

Cuando los materiales rocosos resbalan según un plano de discontinuidad sobre materiales blandos interpuestos entre el estrato que se mueve y el yacente, se llama *deslizamiento plano* (fig. D-6).

Cuando la superficie de deslizamiento es curva se produce un basculamiento del terre-

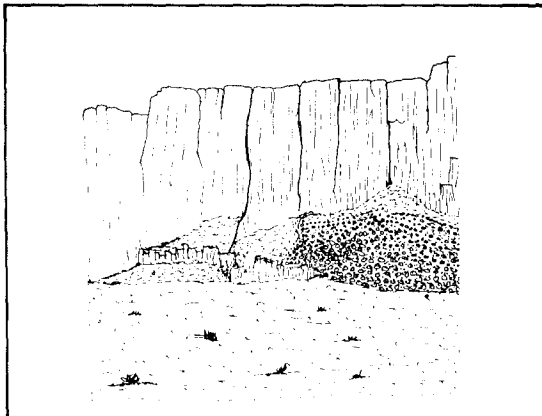


Fig. D-2.—Desprendimiento de bloques.

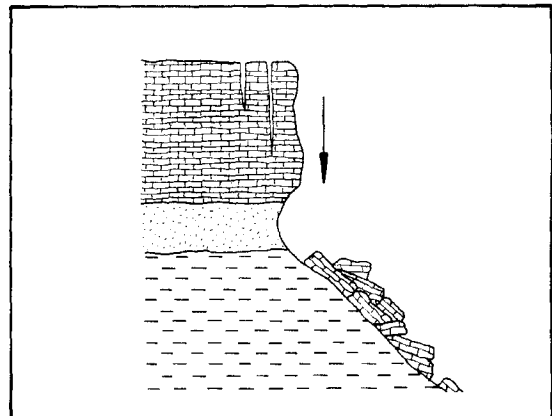


Fig. D-3.—Desprendimiento por descálce.



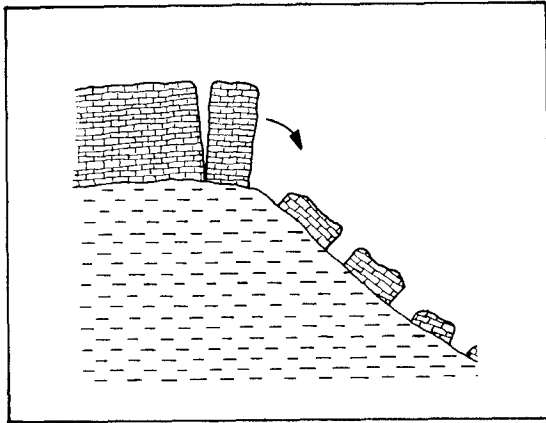


Fig. D-4.—Vuelco de bloques.

no a lo largo de esta superficie. El fenómeno se denomina entonces *deslizamiento rotacional* (fig. D-7). Es el tipo más frecuente, pudiendo presentar diversas combinaciones dando lugar a deslizamientos complejos en los que la superficie de rotura no es circular más que a gran escala, como es el caso de los deslizamientos en escalones.

En el caso de producirse un movimiento sobre terrenos blandos valiéndose del efecto lubricante de determinadas arcillas húmedas situadas en la base de los bloques, el fenómeno se conoce como *deslizamiento de bloques* (fig. D-8). Estos movimientos pueden ser con-

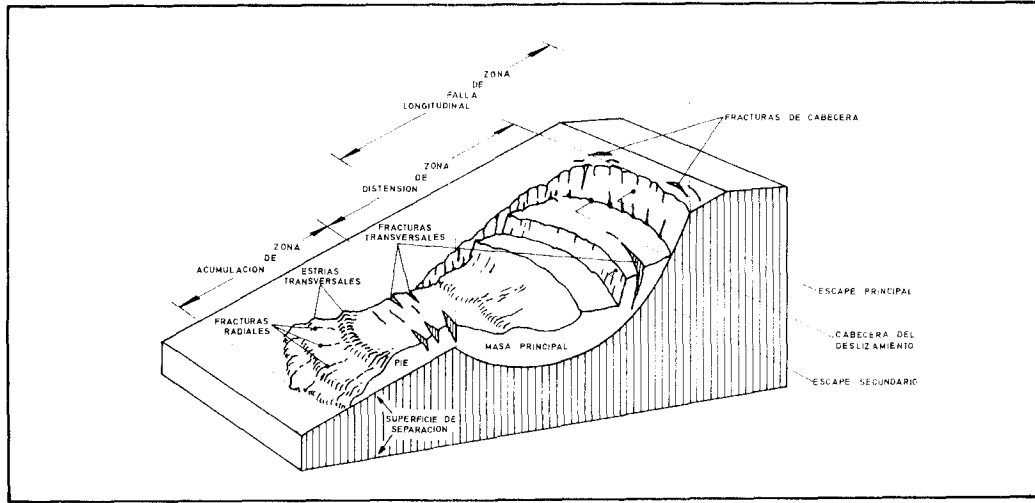


Fig. D-5.—Deslizamiento. Esquema general. Fuente: *Environmental Geology* Lundgren.

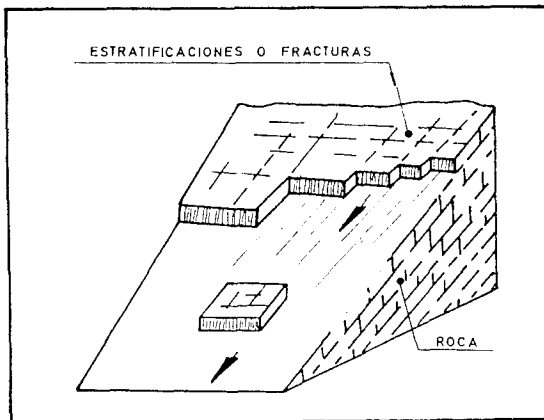


Fig. D-6.—Deslizamiento plano.

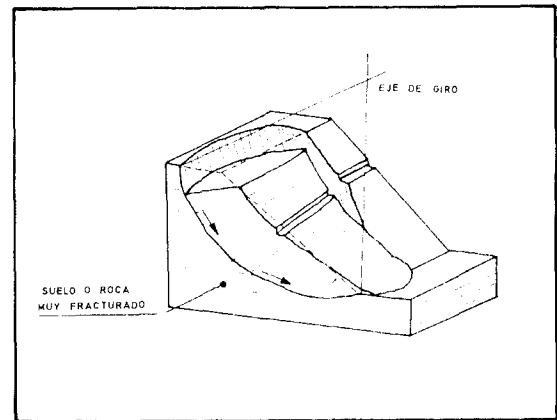


Fig. D-7.—Deslizamiento rotacional.

cordantes o discordantes, según que la parte inferior coincida o no estratigráficamente con el terreno subyacente.

Por último, se conoce como *reptación del terreno* al deslizamiento que afecta a las ca-

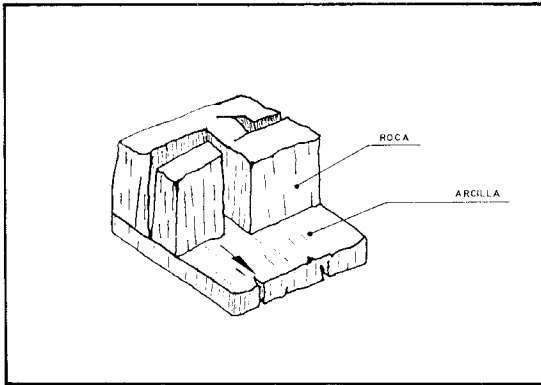


Fig. D-8.—Deslizamiento de bloques.

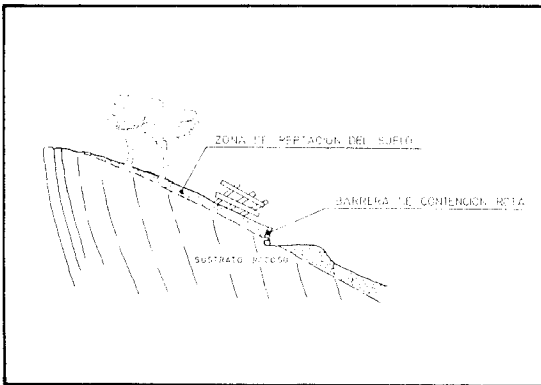


Fig. D-9.—Reptación.

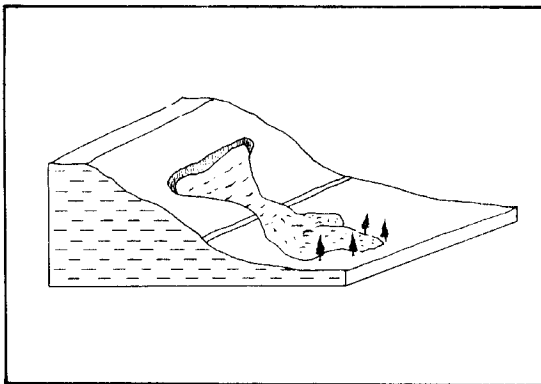


Fig. D-10.—Fluencia de arcilla.

pas más exteriores y alteradas de las laderas arcillosas. Por lo general se encuentra ligado a ciclos estacionales. Se detecta fácilmente por la incurbación de la base de los troncos de los árboles y arbustos (fig. D-9).

*Fluencias lentas y rápidas*

La fluencia es un tipo de movimiento caracterizado por un desplazamiento de los terrenos a velocidades muy variables que dependen del tipo de material afectado. En las fluencias lentas el movimiento se produce sin causas aparentes que lo provoquen según superficies de rotura definidas.

Las fluencias de arcillas afectan a materiales arcillosos con alto contenido en humedad (fig. D-10). Si las arcillas son especialmente sensibles, muy plásticas, la fluencia puede producirse de forma muy rápida. En conjunto las fluencias lentas son movimientos muy parecidos a los deslizamientos externos y poco profundos, de los cuales se diferencia porque la masa removida se desorganiza a lo largo de la ladera. Una variante muy frecuente de este tipo es la fluencia en manto, en estratos de poco espesor, que desborda los muros de contención como una masa viscosa.

La fluencia en valles se produce en vaguadas de alta pendiente en cursos torrenciales en las que se han acumulado detritus de laderas con altos contenidos en agua. El movimiento del terreno se produce lenta o rápidamente valle abajo (fig. D-11).

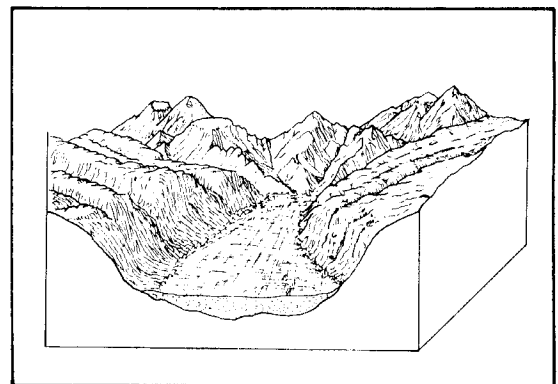


Fig. D-11.—Fluencia en valle.

Las fluencias pueden ser movimientos muy rápidos si los materiales afectados son granulares de tamaño apreciable. *La irrupción* consiste en el desprendimiento de grandes bloques que se desplazan por valles angostos y de fuertes pendientes a gran velocidad, disgregándose en su recorrido. Pueden alcanzar velocidades del orden de varios metros por segundo (fig. D-12).

Cuando el material suelto que tapiza las laderas de las montañas con poca vegetación arbórea se ve afectado por variaciones en la humedad, puede ponerse en movimiento rápido provocando un *alud de detritus* (fig. D-13).

Las rocas sueltas y materiales poco cohesionados que ocupan las vaguadas y cauces de ríos y torrenteras pueden ser desplazados por la acción de las avenidas de agua provocadas por fuertes lluvias. Es un fenómeno estacional y estrechamente relacionado con las inundaciones que se denomina *arrastre torrencial* (fig. D-14).

Las fuerzas y mecanismos que rigen estos procesos pertenecen al dominio de la *geodinámica externa*. Esta dinámica es permanente y a ella se debe el continuo cambio del relieve de la corteza, el cual por ello se encuentra en constante evolución bajo el efecto del clima.

Cuando los efectos de esta dinámica pueden afectar al hombre o a sus realizaciones aparece el riesgo. Riesgo que se traduce en pérdidas económicas anuales. Afectan principalmente a la red de carreteras, ferrocarriles y otras obras de ingeniería. En caso de producirse en zonas próximas a núcleos urbanos puede inclusive acarrear pérdida de vidas humanas.

En España se conocen espectaculares casos de movimientos de ladera con consecuencias desastrosas de todo tipo.

Un caso muy reciente lo constituye el des-

lizamiento de Olivares en la provincia de Granada, que tuvo una gran repercusión y fue seguido con atención por el público en general

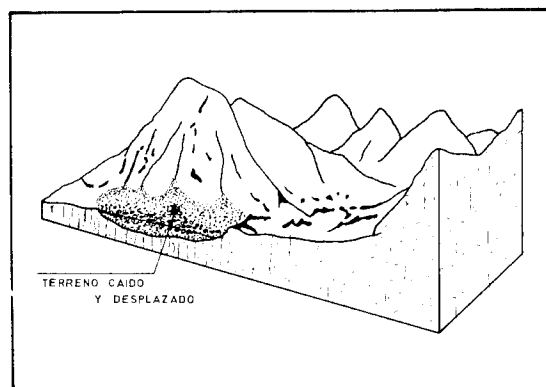


Fig. D-12.—Irrupción.

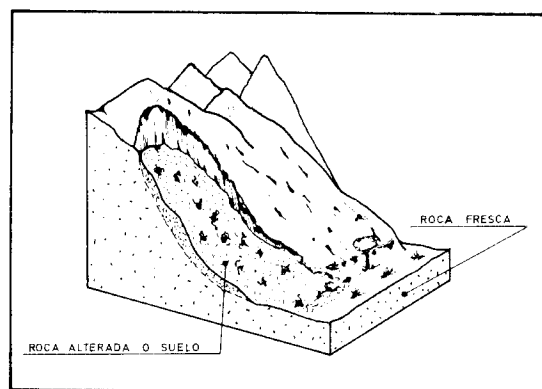


Fig. D-13.—Alud de detritus.

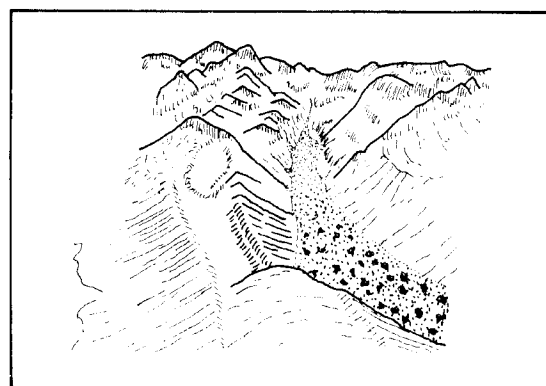


Fig. D-14.—Arrastre torrencial.

a través de los medios de comunicación y especialmente la televisión que ofreció espectaculares imágenes del suceso y sus efectos. Fue estudiado detalladamente por investigadores y expertos en el tema, que trazaron las líneas a seguir para la reparación de los daños causados y prevenir los efectos de una posible renovación del proceso (fig. D-15).

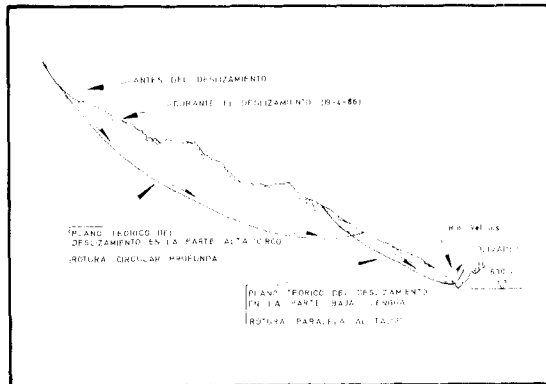


Fig. D-15.—Deslizamiento de Olivares (Granada). Corte longitudinal (E-W). J. J. Durán, 1986.

El deslizamiento movilizó casi 4 millones de metros cúbicos de material arcilloso, que alcanzó una velocidad de más de 2 m/h., amenazando con sus 18 hectáreas de terreno en movimiento represar el río Velillos y destruir parte de la localidad de Olivares.

Factores importantes como activadores o aceleradores de los desprendimientos son los derivados de la acción de las aguas al helarse, aumentando su volumen en las grietas en las que actúa como verdaderas cuñas, agrandándolas y provocando la descohesión de los bloques. En su estado líquido el agua socava los apoyos, disuelve y arrastra materiales y, en fin, juega un papel determinante en el proceso. Los terremotos y movimientos tectónicos e isostáticos de la corteza pueden también ser una de sus causas.

Sin embargo, es muy importante señalar que no sólo la naturaleza es responsable del desencadenamiento de estos fenómenos. En numerosas ocasiones es el hombre el único culpable no considerando los efectos que tie-

nen sus obras sobre el medio que las soporta.

Así, entre las causas de numerosos deslizamientos y desprendimientos que se producen cotidianamente se cuentan los socavamientos de bases de pendiente, modificaciones de perfiles por apertura de taludes, labores mineras, acumulación de materiales en escombreras, terraplenados, desmontes, etc. En general, una gran parte de las obras públicas acompañadas de grandes movimientos de tierra afectan seriamente al equilibrio estático existente o a la red de drenaje y circulación de las aguas, causando la puesta en marcha del fenómeno.

Las medidas más eficaces a adoptar ante los movimientos del terreno son las de carácter preventivo. El conocimiento previo del tipo y alcance del fenómeno es fundamental. La realización de mapas de riesgos a escala nacional o locales, como los que actualmente confecciona el IGME y otras instituciones, permite conocer la existencia de dichos riesgos, y por tanto facilita la adopción de medidas para su prevención y ayuda a definir las directrices para una adecuada ordenación del territorio.

Ante la inminencia de un movimiento de tierras, o una vez comenzado éste, se pueden tomar una serie de medidas correctivas destinadas a detener el proceso y a disminuir sus efectos. La naturaleza de las medidas a adoptar depende del tipo de fenómeno que tiene lugar. Aunque en cada caso concreto debe realizarse un estudio detallado, las normas generales que se suelen tomar consisten en la construcción de *muros de contención* y *contrafuertes*, destinados a prevenir el desmoronamiento de los taludes (fig. D-16); en caso necesario se forman *escolleras* acumulando grandes piedras en la base de los taludes con el mismo propósito (fig. D-17). La caída de piedras se puede prevenir con el tendido de redes metálicas sobre la superficie del escarpe; en ocasiones se procede al fijado de los bloques inestables con *bulonado* y *anclado* de forma que quedan literalmente cosidos a la

parte interna más sana del terreno (fig. D-18).

*El hormigón* se emplea para crear apoyos a bloques sueltos, calzándolos por medio de pilares, uniéndolos a las partes sanas, sellando grietas, etc. *El gunitado* (mortero proyectado sobre las superficies o grietas) es otra medida destinada a impedir o dificultar una nueva activación del proceso en el futuro. Dado el papel central que el agua subterránea juega en los deslizamientos, las *medidas de drenaje* son siempre necesarias.

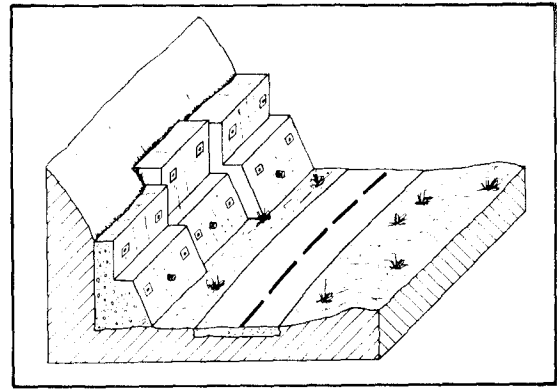


Fig. D-16.—Muro de contención con anclajes.

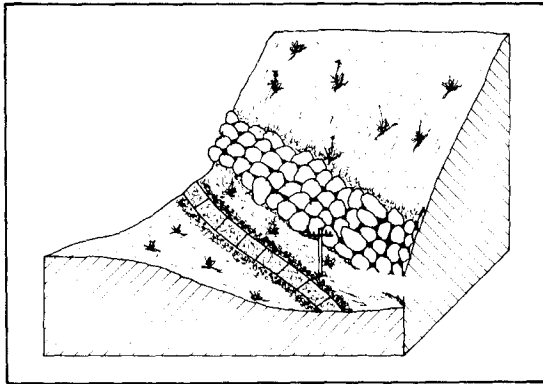


Fig. D-17.—Barrera de piedras.

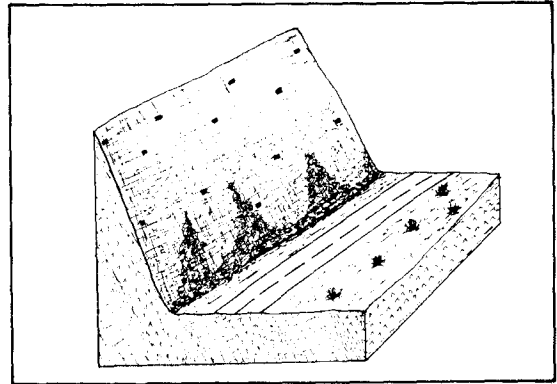
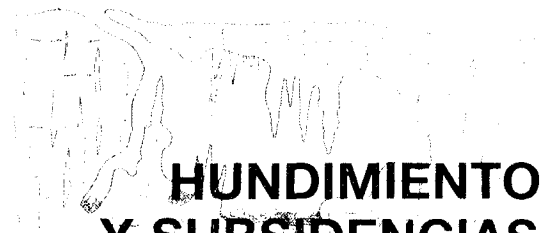


Fig. D-18.—Red metálica de guiado de pequeñas caídas.

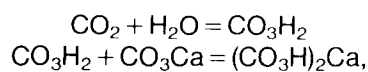


**HUNDIMIENTO  
Y SUBSIDENCIAS  
DEL TERRENO.  
KARST**

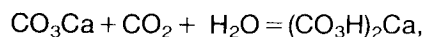
### Hundimientos y subsidencias del terreno. Karst

El fenómeno *kárstico* o *karst* toma su nombre de la altiplanicie de Karst en Istria (Yugoslavia), en donde estos fenómenos son típicos.

Las rocas calcáreas constituidas por carbonato cálcico más o menos puro, resultan insolubles en agua. No obstante como el agua de lluvia arrastra anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) que se pone en contacto con dichas rocas, se produce un ataque del carbonato que pasa a bicarbonato soluble en agua, verificándose la disolución de la roca y su transporte: la reacción que tiene lugar es la siguiente:



las dos reacciones se suman y dan lugar a:



bicarbonato cálcico inestable y particularmente soluble en agua.

De este modo se produce la eliminación de la caliza dando lugar a grietas, grutas y cavidades que caracterizan a los terrenos que han sufrido proceso de karstificación.

El fenómeno es reversible. Cuando por una

disminución de la presión atmosférica el agua pierde parte del anhídrido carbónico, parte del bicarbonato disuelto pasa a carbonato precipitándose en forma de tobas superficiales, caliches, travertinos, estalactitas y estalagmitas.

El vaciado provocado por el fenómeno puede llegar a producir el colapso del hueco. Cuando el hundimiento se refleja en superficie se tiene los rasgos morfológicos, típicos de un paisaje *kárstico* (fig. C-1).

Las formas *kársticas* más conocidas son: cañones y desfiladeros, lapiaz, simas, dolinas, úvalas y poljes.

Los *cañones* y *desfiladeros* son valles estrechos de paredes abruptas, que se abren cortando capas, generalmente de gran potencia. Son consecuencia principalmente de procesos subaéreos, aunque a veces pueden producirse al hundirse la bóveda de un río subterráneo. Es una forma *kárstica* de grandes dimensiones: Garganta de Cares (Asturias), cañones de los ríos Lobos (Soria), Escavas (Cuenca), y Duratón (Segovia), desfiladero de la Hermida (Cantabria), La Yecla (Burgos), El Chorro (Málaga), etc. (fig. C-2).

El *lapiaz* es una forma superficial labrada por erosión-disolución en rocas karstificables.

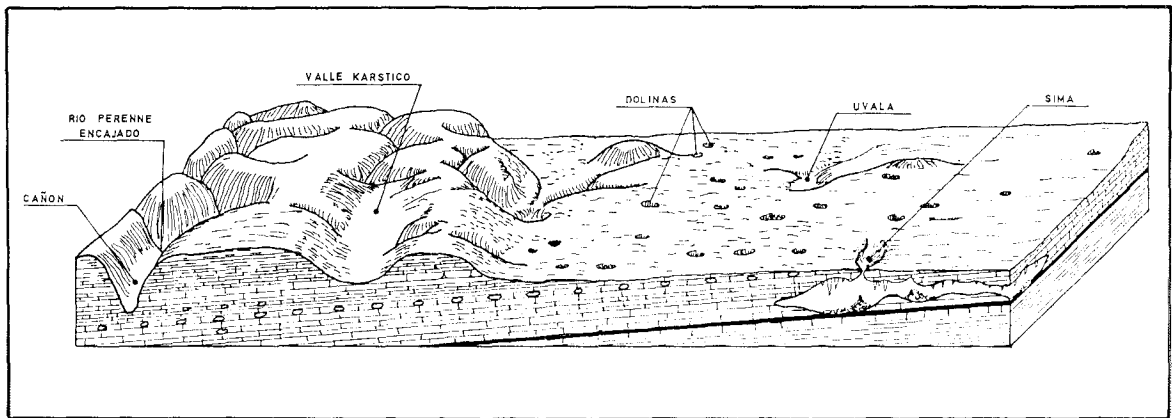


Fig. C-1.—Esquema teórico de una región kárstica.

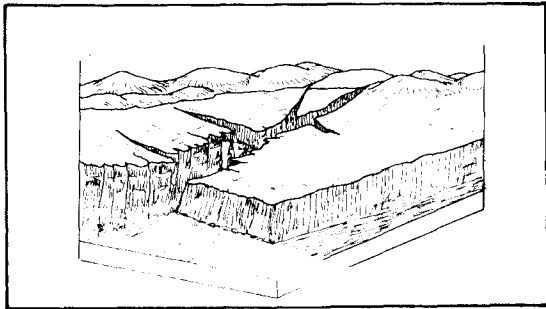


Fig. C-2.—Cañón.

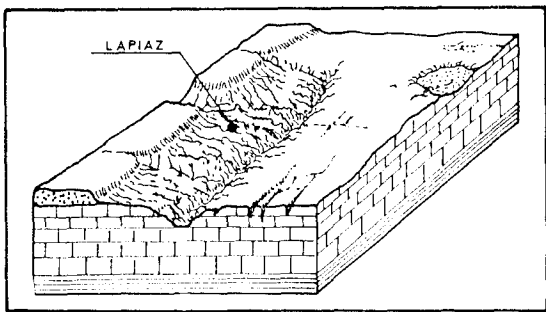


Fig. C-3.—Lapiaz.

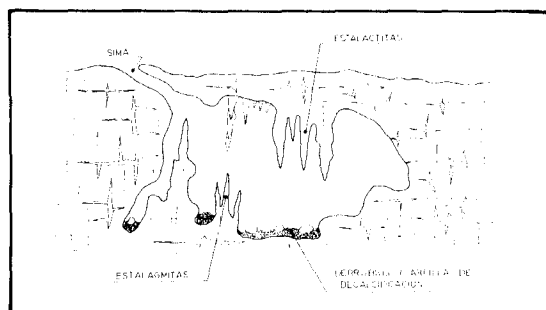


Fig. C-4.—Sima y gruta kárstica.

Su forma, muy característica de estos paisajes kársticos, depende de la estructura de la roca y del mecanismo de disolución. Sus dimensiones pueden ser centimétricas o llegar a alcanzar varios metros de profundidad (fig. C-3).

Las *simas* son grietas o fracturas ensanchadas que se abren en la superficie y que conducen generalmente a una cueva o gruta que puede alcanzar grandes dimensiones. Las aguas de infiltración que llegan a la gruta a través de las fisuras, precipitan la calcita dando lugar a formas características como las *estalactitas* y *estalagmitas*, además de otras menos conocidas como las columnas, cortinas, rampas, etc. (fig. C-4).

La *dolina* es una depresión de forma ovalada, circular o elíptica con contornos sinuosos no angulosos que se forma en la superficie de terrenos afectados por fenómenos kársticos de hundimiento de oquedades. Sus dimensiones pueden variar de orden métrico a hectométrico. Atendiendo a su morfología se clasifican en dolinas en artesa, embudo y ventana, de acuerdo con la relación entre diámetro y profundidad y la pendiente de las paredes. Por su génesis se pueden clasificar en dolinas aluviales, de colapso o hundimiento, de subsistencia o de disolución. Cuando se presentan dolinas agrupadas, se conoce el terreno como campo de dolinas. La unión de varias dolinas da lugar a la formación conocida con el nombre de *úvala* (fig. C-5).



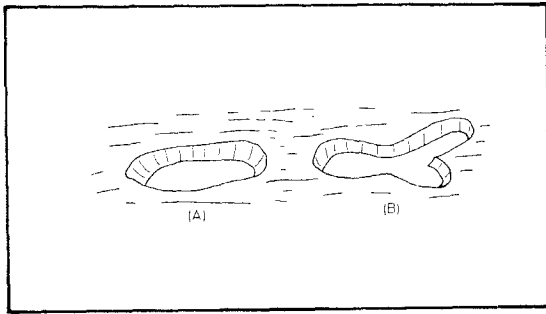


Fig. C-5.—Dolina (A) y úvala (B).

Los *poljes* son depresiones cerradas de grandes dimensiones y poca profundidad, con fondo más o menos plano y horizontal cuyo origen tiene un fuerte componente tectónico. Su desagüe es subterráneo, encontrándose localizado en uno o más sumideros (*ponor*). Puede inundarse parcial o totalmente durante ciertos períodos relacionados con las variaciones del nivel freático. En ocasiones la inundación es permanente dando lugar a un lago. En muchos *poljes* (por ejemplo el de Zafarriya, en Granada) la población dispone de barcas para hacer frente a estas inundaciones periódicas (fig. C-6).

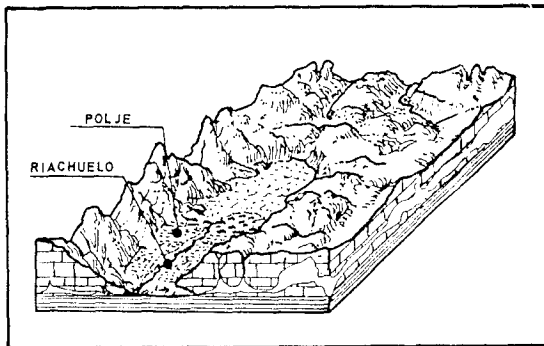


Fig. C-6.—*Polje*.

Por extensión, otros procesos de disolución de materiales no calcáreos, como las sales y yesos, que producen formas semejantes, se denominan igualmente fenómenos kársticos.

En España los karst están abundantemente representados tanto en calizas como en otros materiales. Cabe destacar el karst de Ojo

Guareña (Burgos), el de Larra en Navarra, el Torcal de Antequera (Málaga), cuevas de Nerja (Málaga), las Maravillas de Aracena (Huelva), cuevas del Drach (Mallorca), Ibor en Cáceres, Altamira y Puente Viesgo en Santander, complejo Hundidero-Gato en Montejaque (Málaga), etc. En yesos merece especial mención el karst de Sorbas en Almería, que presenta un gran desarrollo de dolinas y simas.

Los riesgos para el hombre debidos a estos fenómenos se derivan de los fallos del terreno donde se asientan sus obras de ingeniería y sus edificaciones (fig. C-7). En el caso

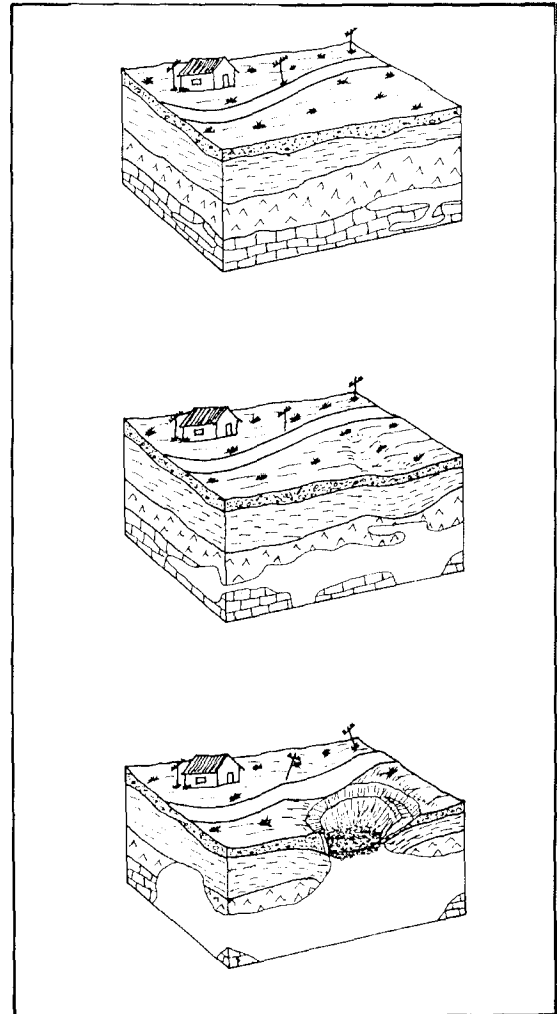


Fig. C-7.—Generación de un socavón por karstificación.

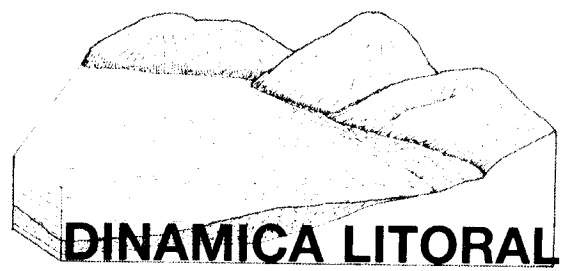
especial de los poljes, el riesgo se produce al invadir el hombre con sus actividades las posibles zonas inundables que pueden darse como consecuencia de este proceso kárstico.

Un caso notable de karstificación lo constituye la presa de los Caballeros o de Montejaque, en la serranía de Ronda. El vaso de la presa se encuentra emplazado en un terreno calizo muy karstificado y resulta incapaz de retener el agua procedente de la sierra de Grazalema, que registra la pluviometría más elevada de España. El agua se filtra a través de

la caliza hacia el sistema kárstico subterráneo de Hundiadero-Gato de más de 8 km. de recorrido.

Las medidas contra el riesgo derivado de estos fenómenos estriban fundamentalmente en su conocimiento, por lo que se deben confeccionar mapas a nivel nacional y local que constituyan la base sobre la que asentar la ordenación territorial de las zonas afectadas.

A nivel puntual, la detección de cavidades, por geofísica y sondeos, es un complejo problema que aporta elementos útiles.



### **Dinámica Litoral**

La costa, frontera entre los continentes y los mares no es una línea, sino una franja de tierra comprendida entre los límites alcanzados por el agua entre pleamar y la bajamar máximas que constituye el litoral. Este está sometido a una de las dinámicas más activas de cuantas modelan la superficie de la corteza terrestre, por lo que cambia constantemente el aspecto, encontrándose en continua evolución.

Las principales fuerzas que participan en la acción de remodelado de la costa son las corrientes marinas, las mareas y el oleaje. El viento y la acción de los ríos con su aporte de agua y sedimentos juegan también un papel de importancia.

Aunque en algunas zonas del planeta tiene mayor incidencia la acción erosiva debida a las mareas, son las corrientes y el oleaje los que presentan una mayor actividad sobre las rocas y sedimentos costeros.

Las olas al romper contra la costa la golpean y producen un efecto erosivo que pue-

de verse multiplicado si, debido a la fuerza del oleaje, el agua es capaz de arrastrar escombros arrancados previamente y arrojarlos sobre la costa actuando como un ariete, produciendo su desmoronamiento.

La capacidad destructora del oleaje depende de la morfología de la costa, del tipo de roca y de la disposición que presente. Así, los estratos que presentan una pendiente poco acentuada hacia el mar hacen que el agua se deslice con suavidad sobre ellos, perdiendo su energía lentamente, por lo que tiene muy poca capacidad erosiva. Si la pendiente es contraria al mar, el choque es más violento y se favorece la excavación de la roca por el agua, de forma que al cabo del tiempo la parte alta pierde sustentación y se desmorona, produciéndose un aporte de material susceptible de ser arrojado una y otra vez sobre tierra. En este caso, el retroceso de la costa es muy rápido y se genera un acantilado.

Si el material arrancado a la costa no se transporta a otro lugar, se deposita al pie del acantilado y va formando una playa (fig. L-1). Se llega a un momento en que la extensión de

la playa es tal que el agua no alcanza a la pared rocosa, con lo que este se convierte en un acantilado muerto y la dinámica litoral se transforma.

En una playa los materiales no se disponen al azar, sino que se ordenan granulométricamente, dando lugar a *barras*, *cordones litorales* y *dunas costeras*. La disposición de los sedimentos depende de la acción de la corriente local, de la marea y de la acción del oleaje. En algunas zonas se produce un efecto erosivo. El mar arranca los materiales de una playa para depositarlos en otro lugar que puede

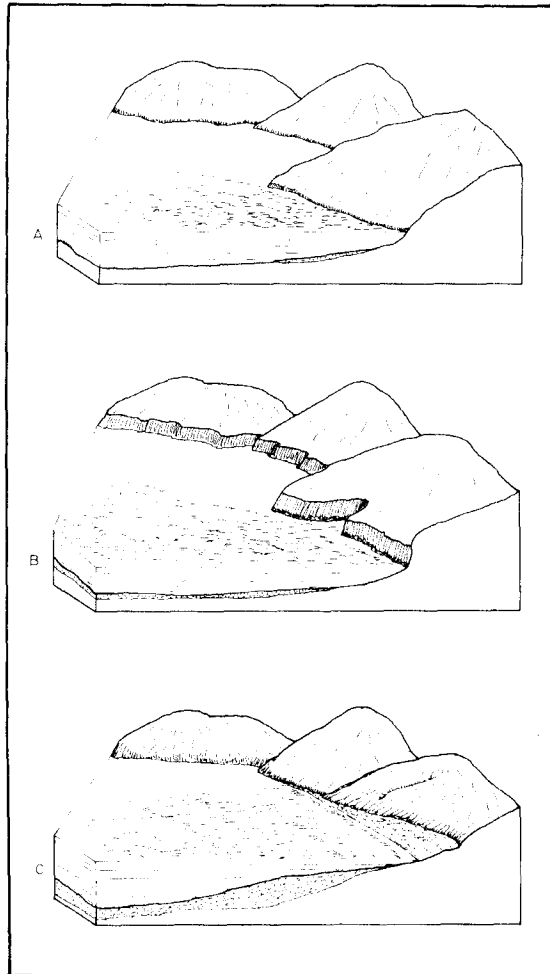


Fig. L-1.—Evolución litoral: A, fase inicial; B, formación acantilado, y C, formación playa.

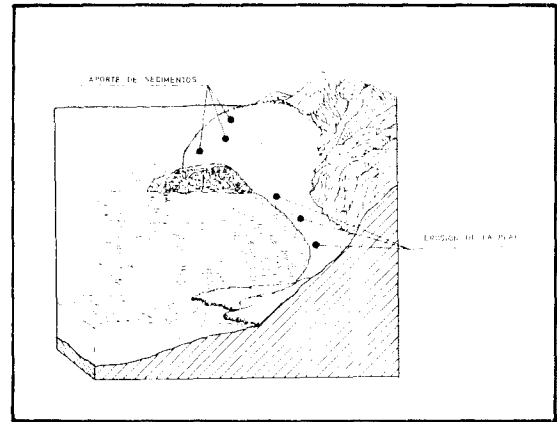


Fig. L-2.—Dinámica de playas.

estar muy alejado de su origen. En otras playas se produce una acción de signo contrario, existiendo un aporte de materiales, que pueden hacer ganar terreno a la playa respecto a mar (fig. L-2).

El objetivo final de todas estas fuerzas es un litoral uniforme sin entrantes ni salientes, conformados por playas bajas, suaves, con amplios senos, en la cual se puede hablar de un equilibrio. Esta sería una costa de tipo denominado *Pacífico*, que se da frecuentemente en la costa oeste de Estados Unidos, de donde recibe su nombre. Los procesos *epirogenéticos* de elevación y hundimiento de determinadas zonas de los continentes tiene el efecto de alterar el curso de los fenómenos en desarrollo, mitigándolos o acelerándolos. Este es el caso de las rías, en zonas donde se produce un hundimiento del continente o una elevación del nivel del mar, como el producido por la fusión del hielo hace unos 10.000 años y el mar invade los cauces de los ríos ocupando los valles fluviales. En el caso contrario, el levantamiento del litoral produce playas colgadas y puede reproducir el juego erosivo de los acantilados. En ambos casos la *epirogénesis* tiene el efecto de alterar el equilibrio alcanzado, cuando éste ha sido alcanzado.

La sedimentación de los materiales arrastrados por los ríos tiene un gran importancia en la configuración costera. El principal rasgo

es el del delta, que se forma en la desembocadura de algunos ríos donde se depositan los derrubios transportados por éstos y que no tienen energía para alejarse de la costa ni son movilizados por las corrientes litorales en mayor cantidad que la aportada por el río.

Cuando los sedimentos de los ríos o los arrancados de la costa por el oleaje son arrastrados, acaban depositándose en otras zonas de la costa, formando las barras y cordones litorales ya citados, o bien se depositan mar adentro en los fondos marinos más o menos alejados de la costa (fig. L-3).

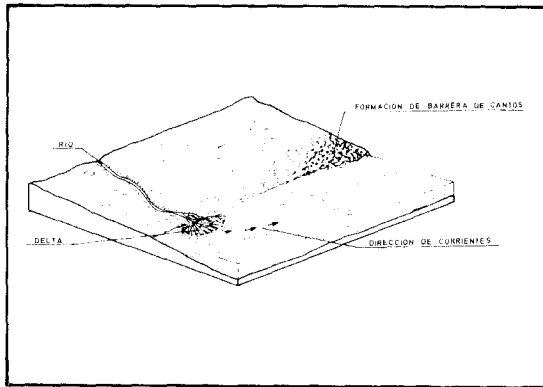


Fig. L-3.—Actividad costera en la desembocadura de un río.

En todo caso, lo que es evidente es la existencia de una intensa actividad en una estrecha faja de la corteza que sufre continuos cambios, lentos en ocasiones, pero muy evidentes en otras.

Las dunas son un fenómeno ligado a la acción del litoral. La abundancia de arenas de playa en ciertas zonas en donde además existe un viento dominante de mar a tierra, hace posible la generación de dunas costeras, cuya falta de consolidación hace que cambien constantemente de forma y emplazamiento dando origen a dunas vivas. Su movilidad es tal que los cambios se producen día a día, afectando a edificaciones y vías de comunicación a pesar de que las dunas en algunas ocasiones pueden ser retenidas por obstáculos

en su camino, fundamentalmente ciertas plantas arbóreas que son capaces de fijarlas (fig. L-4).



Fig. L-4.—Formación de dunas costeras.

En la España peninsular las zonas de dunas son escasas y presentan un gran interés ecológico. No constituyen un verdadero riesgo y su protección se hace imprescindible, por su integración en los parajes en que se encuentran: Doñana, Cabo de Gata y contados puntos de Cantabria, Málaga y Murcia.

La zona litoral es un área de enorme atractivo para el hombre, debido a su importancia económica ya que desde siempre ha sido una importante fuente de riqueza fundamentada en la pesca y el comercio.

Actualmente y para ciertos países como el nuestro, esta importancia se acrecienta debido al empleo recreacional de las costas. El clima benigno del litoral, atemperado por la acción reguladora del mar, le convierte en lugar privilegiado para el turismo. El desarrollo de la civilización del ocio ha hecho que el riesgo inherente a la dinámica litoral sea susceptible de alcanzar a más personas y a un conjunto de obras e infraestructura incomparablemente mayor que en el pasado. Por otro lado, la ocupación del litoral se basaba entonces exclusivamente en aspectos prácticos, por lo que se trataba de situar las obras y poblaciones en los lugares de menor riesgo.

En la actualidad, el espectacular aumento

de la población y el desarrollo de la industria turística han llevado a una escasez de espacio en la costa y a emplear criterios comerciales y económicos para el emplazamiento de obras y edificaciones, sin tener en cuenta los factores de riesgo. Por otro lado el aumento de obras que se adentran en el mar, puertos, rompeolas, diques y escolleras designados en ocasiones a favorecer la creación de nuevas playas o el mantenimiento de playas artificiales tienen el efecto de alterar el curso natural de los procesos geológicos en desarrollo añadiendo a veces nuevos riesgos artificialmente creados a los naturales (fig. L-5).

La construcción de grandes edificios en cabeceiras de acantilados vivos o en zonas de dunas activas son ejemplos de una aceptación de este riesgo, que se realiza a veces de forma inconsciente por el simple desconocimiento de su existencia.

Es difícil eliminar el riesgo debido a la presión de los intereses creados. Como en otros casos la mejor forma de actuar sería la prevención, no ocupando las zonas eventualmen-

te amenazadas, guardando *zonas de seguridad* y estudiando detenidamente el efecto de las construcciones en la dinámica en marcha, así como tratando de predecir los efectos de ésta sobre la obra realizada y sobre las pre-existentes.

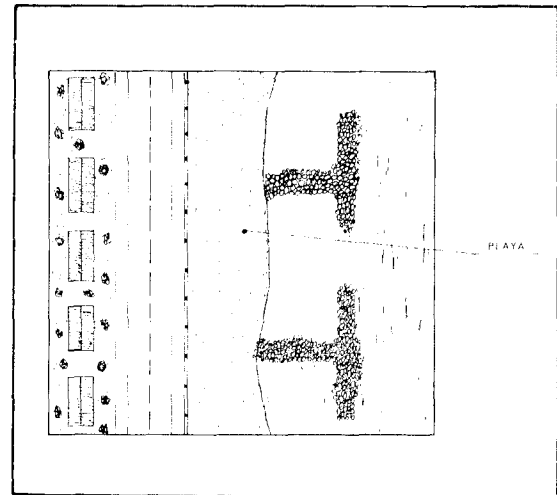
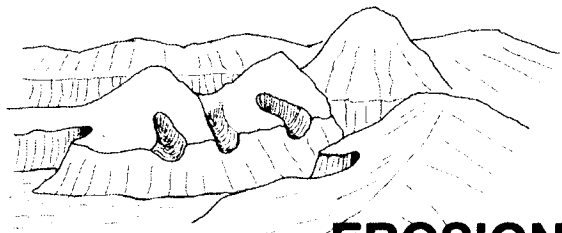


Fig. L-5.—Barreras artificiales.



**EROSION**



## Erosión

Las rocas emergidas están sometidas a un continuo ataque por agentes exteriores que las destruye y disgrega, según un proceso denominado erosión. La intensidad con que cada uno de los agentes actúa depende del clima.

Los fenómenos erosivos pueden ser físicos o químicos, de acuerdo con el tipo de proceso con que se produce el ataque a la roca.

La *erosión física* está determinada por la acción mecánica ejercida por sustancias o elementos que entran en contacto con los materiales rocosos. El polvo suspendido en el aire, dependiendo de su abrasividad y de la fuerza del viento desarrolla una acción de desgaste de las rocas. Las variaciones de temperatura producen un choque térmico capaz de destruir las rocas, al someterlas a sucesivos ciclos de calentamiento y enfriamiento.

El agua produce una fuerte acción erosiva de los materiales de la corteza actuando en cualquiera de sus tres estados.

El agua que ocupa las grietas aumenta su volumen al congelarse y provoca un efecto de

cuña que las agranda llegando a producir la destrucción de la roca. El efecto erosivo de los *glaciares* es uno de los más intensos y espectaculares que se conocen. Los hielos que fluyen por gravedad formando verdaderos ríos sólidos son capaces de arrancar enormes rocas y excavar profundos valles con un característico perfil en «U» (fig. E-1).

La acción mecánica de la lluvia al caer se produce al golpear las gotas contra la superficie del terreno arrancando partículas que posteriormente serán arrastradas pendiente abajo. Las aguas de escorrentía tienen una gran capacidad erosiva en todas las fases del desarrollo de los ríos, pero particularmente en sus primeras etapas en las que la energía cinética del agua es mayor y es capaz de arrastrar partículas sólidas que colaboran en la agresión de los terrenos. Los efectos erosivos del agua en estado líquido dependen de la intensidad de las precipitaciones, de la dureza de la roca y de la pendiente. También tiene importancia la existencia y clase de vegetación, que puede impedir o aminorar el efecto erosivo (fig. E-2).

La *erosión química* se produce por el ataque de ciertas sustancias contenidas en la at-

mósfera y en el agua y que reaccionan con los materiales expuestos, disolviéndolos o transformándolos en materiales disgregados. La acción más importante se debe al dióxido de carbono, al agua y al oxígeno.

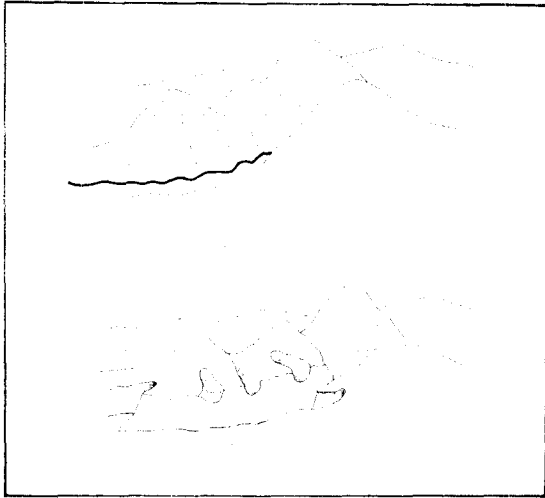


Fig. E-1.—Erosión glacial: A, etapa inicial; B, etapa final.

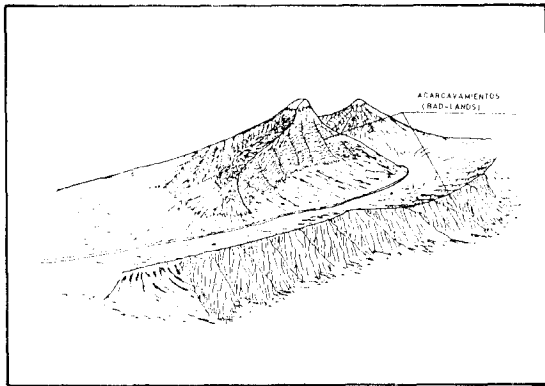


Fig. E-2.—Acción erosiva de la esorrentia.

Los fenómenos erosivos se ven completados por el transporte y acarreo de los materiales liberados, que por la acción del viento y principalmente del agua, son trasladados a distancias a veces enormes y depositadas al fin en cuencas de recepción de los sedimentos, donde daran lugar a la formación de nuevas rocas, completando así este ciclo geológico.

El principal efecto de la erosión es la *deser-*

*tización del territorio*, por la completa desaparición del suelo y cubierta vegetal que lleva consigo que acaba casi eliminando la fauna. En general el proceso suele estar equilibrado, pero en ocasiones se autoalimenta. La desaparición de parte del suelo hace cambiar la vegetación y disminuir la resistencia a la erosión, lo que provoca nuevas pérdidas de la calidad de la vegetación, aumentando la capacidad de acción de los agentes erosivos y comenzando a afectar al clima. El resultado final del proceso es la desaparición completa del suelo y, por tanto de la vegetación que soportaba, produciéndose drásticos cambios en el clima, alcanzándose la desertización irreversible del territorio, configurándose el atormentado paisaje característico (fig. E-3). Los daños debidos a las inundaciones son notablemente acrecentados por la erosión debida a

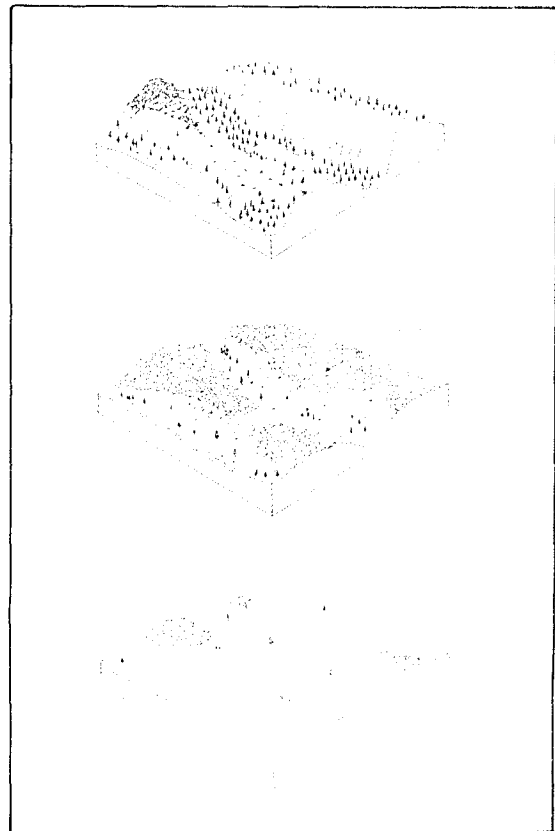


Fig. E-3.—Evolucion del relieve en zonas semidesiertas.

dos fenómenos: a) aumento de la escorrentía no detenida por la cubierta vegetal, y b) aumento del daño directo de la riada por la elevación del contenido en sólidos del agua que inutiliza aparatos, construcciones y servicios.

Es un proceso natural en el que la acción del hombre (impacto) puede jugar un papel decisivo. Desgraciadamente, hasta ahora la mayoría de las veces ha actuado en el sentido de acelerar la desertización, talando los bosques, cambiando el curso de las aguas, represándolas y agotando los acuíferos y las fuentes, con cultivos inadecuados. Una causa muy importante en el desarrollo del proceso es el producido por los incendios, ya sean espontáneos o provocados.

Este proceso se traduce en la actualidad por un alarmante ritmo de desertización que alcanza los 21 millones de hectáreas anuales en todo el mundo, lo que significa casi la mitad de la superficie de España, la cual junto con Estados Unidos y Australia presenta la mayor velocidad de desertización de todos los países desarrollados.

La desertización es uno de los problemas más preocupantes que afecta al suelo español. La superficie total del mismo es de 50.471.000 ha. De ellas, 20.507.700 corresponden a tierras de cultivo, 6.645.300 a prados y pastizales, 15.566.100 a bosques y el resto a eriales, terrenos improductivos, ríos, lagos o superficies urbanas. Según datos del ICONA, en España se pierden cada año aproximadamente un millón de hectáreas de terreno por efecto de la desertización.

La causa principal es, como ya se ha dicho, la erosión. En la figura E-4 se representa, mediante histogramas, el grado de erosión (en tanto por ciento) que sufren actualmente las diecisiete comunidades autónomas españolas, diferenciando dos niveles: erosión leve y erosión grave. Murcia y Andalucía son las regiones que sufren este problema en mayor medida, con un 69,4% de su superficie en es-

tado grave de erosión. En Andalucía, Almería es la provincia más afectada, ya que aproximadamente el 70% de su territorio presenta un alto índice de desertización. Según datos recientes de ADENA, en España se erosionan aproximadamente *mil millones* de toneladas de terreno anualmente.

La lucha contra la desertización exige medidas paliativas, y sobre todo preventivas, dirigidas a detener e incluso invertir el proceso.

En climas áridos en los que la evaporación es mayor que la precipitación, los suelos permanecen secos durante largos períodos de tiempo, dando lugar a la ascensión por capilaridad del agua freática que precipita lentamente en superficie las sales que lleva disueltas. Se forman de este modo las costras calcáreas (caliches), yesos y otras sales que salinizan el terreno, esterilizándolo.

En el Levante español este fenómeno es frecuente, formando costras de carbonatos al situarse sobre un sustrato, fundamentalmente calcáreo.

Las principales medidas a tomar contra la erosión son:

- Repoblación forestal, reintroduciendo progresivamente las especies vegetales autóctonas.
- Acondicionamiento de pendientes.
- Construcción de barreras vegetales que impidan los efectos de la escorrentía. Construcción de desagües y canalizaciones.
- Realización de labores agrícolas de manera racional de acuerdo con las características climáticas.
- Prevención de incendios y restauración de las zonas quemadas.
- Construcción de presas de retención de sedimentos.

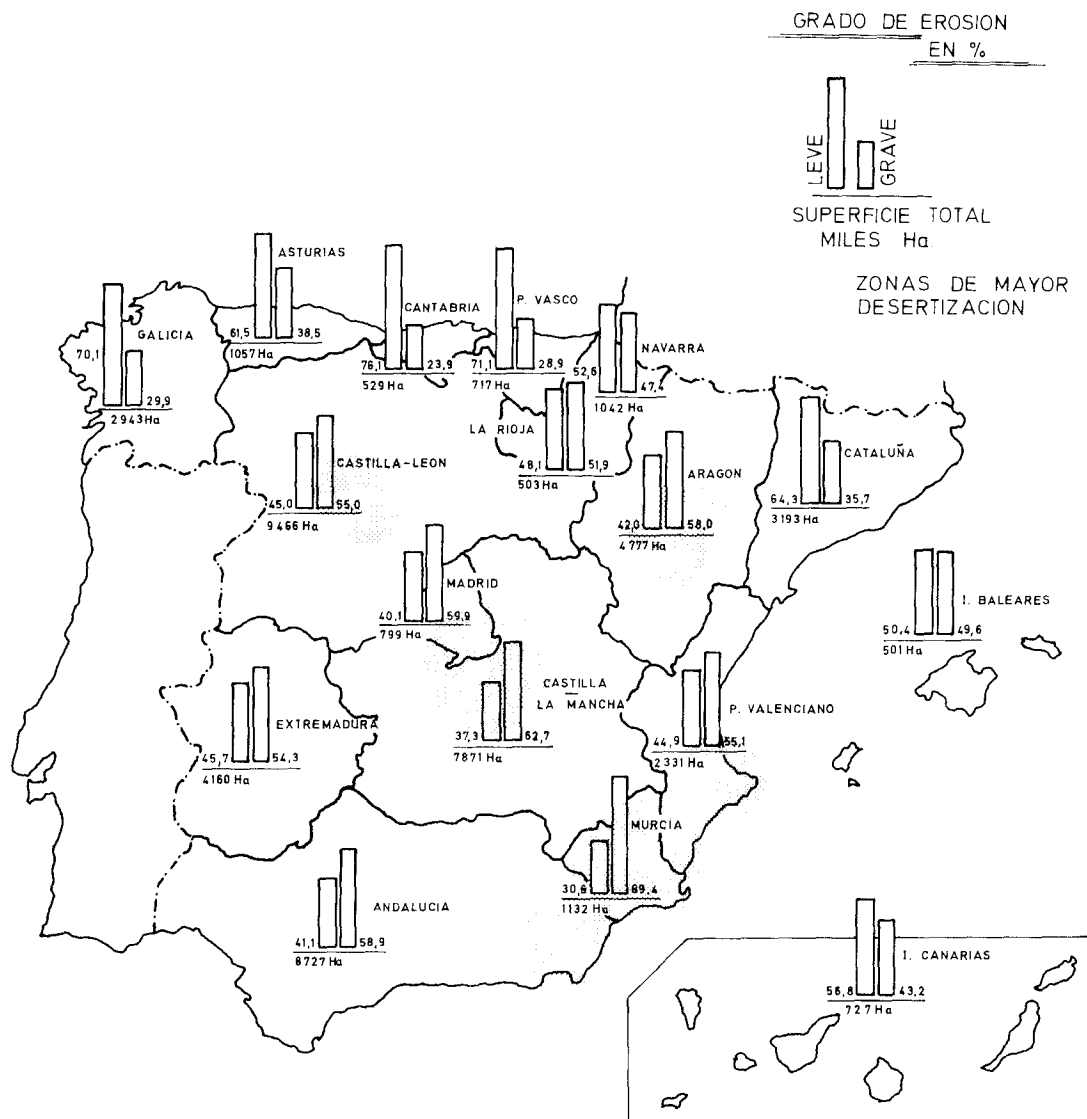


Fig. E-4.—Grado de erosión en España. (Fuente: revista «Natura».)

**RIESGOS  
LIGADOS A LA  
GEODINAMICA  
INTERNA**



**VOLCANES**

## Volcanes

Las erupciones volcánicas constituyen una de las formas más espectaculares de la actividad mostrada por la Tierra, manifestando en superficie la energía interna y proporcionando testimonio de procesos que tienen lugar en niveles de la corteza inaccesibles al ser humano.

En su forma más sencilla, un volcán puede definirse como una fisura de la corteza terrestre a través de la cual ascienden masas rocosas en fusión (*magmas*) y gases procedentes de zonas más profundas, liberándose durante el proceso enormes cantidades de energía.

A consecuencia de las sucesivas erupciones, las lavas acompañadas de *materiales piroclásticos* se acumulan alrededor de la fisura formando un *cono volcánico* atravesado por un *cráter* central (fig. V-1).

El mecanismo de una erupción volcánica depende del tipo de magma y fundamentalmente de su viscosidad (la cual está regida por su composición y más concretamente por su contenido en sílice), de su densidad y de la tensión de vapor de la fase gaseosa.

Los magmas fuertemente básicos (poco silíceos) dan lugar a erupciones tranquilas, emitiendo lavas fluidas que discurren suavemente por la ladera produciéndose un rápido y fácil desprendimiento de los *volátiles*. Este tipo de manifestación se denomina *hawaiano*, y forma aparatos con laderas de poca pendiente y gran extensión.

En el extremo opuesto se encuentran las erupciones de tipo *peleano*. Los magmas son ácidos, con altos contenidos en sílice, se caracterizan por tener una gran viscosidad. La lava fluye con dificultad, se enfría rápidamente obstruyendo las *chimeneas volcánicas* e impide la liberación de los volátiles, que al estar sometidos a enormes presiones se liberan en procesos explosivos de gran violencia, y generalmente en forma de *nubes ardientes* enormemente peligrosas debido a la gran velocidad con que se desplazan (fig. V-2).

Entre ambos tipos de erupciones puede presentarse toda una gama de manifestaciones de características y violencia intermedias, que se identifican con los tipos de vulcanismo conocidos bajo la denominación de *estromboliano*, *vulcaniano* y *vesubiano*.

La peligrosidad de los volcanes está por

tanto relacionada con el tipo de erupción y con la clase de magma emitido, siendo las del tipo peleano las más destructivas. Las erupciones del Mont Pelè en la Martinica en 1902, con más de 30.000 muertos y en la que la ciudad de Saint-Pierre resultó completamente arrasada, y la erupción del Krakatoa en 1883 cuya explosión se escuchó en Australia a más de 4.900 km. de distancia, constituyen buenos ejemplos de erupciones volcánicas de enorme violencia ocurrida en tiempos históricos. Recientemente, durante la erupción del Santa Elena (Estados Unidos), una nube ardiente causó la muerte de numerosas personas.

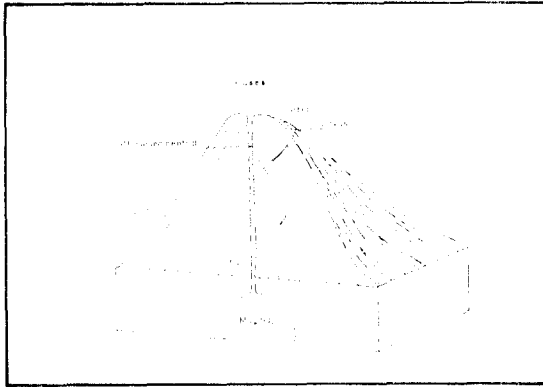


Fig. V-1.—Estructura de un cono volcánico.

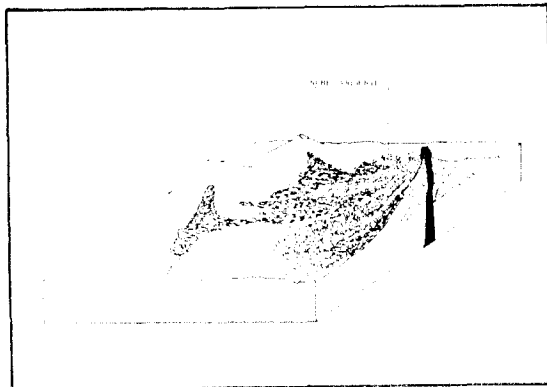


Fig. V-2.—Emisión de nube ardiente.

En los últimos quinientos años son más de 200.000 víctimas mortales las registradas como consecuencia de las erupciones volcánicas, cifras que dan una idea de los riesgos

que conlleva este tipo de fenómenos. Los ejemplos más recientes son la erupción del Nevado del Ruiz en Colombia y la del lago Níos en África, cuyas consecuencias trágicas están en la mente de todos y han podido ser seguidos en directo en todo el mundo gracias a los adelantos modernos en los sistemas de comunicación.

Los efectos destructivos de una erupción volcánica no dependen tan sólo de las características de la propia erupción, sino que están en relación con el grado de ocupación que hace el hombre de la zona al alcance del volcán.

Los productos de la actividad volcánica se presentan en los tres estados: *gases volcánicos, lavas y sólidos como los piroclastos (bombas, lapilli, cenizas)*.

Toda erupción volcánica va acompañada de emisión de gran cantidad de gases, principalmente vapor de agua, y de cuya naturaleza depende en gran medida la peligrosidad de la erupción.

Las lavas fluyen desde el volcán formando *coladas* que pueden desplazarse a grandes distancias del foco emisor. En su recorrido arrasan y destruyen ciudades y pueblos enteros, provocando incendios, cortes de comunicaciones e inclusive la muerte por asfixia en las zonas próximas.

Los productos sólidos o piroclastos que son expulsados por la erupción están formados por lavas ya consolidadas, o por materiales pétreos arrancados del conducto volcánico. Su capacidad destructiva depende del tamaño de los materiales y de la distancia a que son lanzados. A su caída pueden provocar la destrucción de edificios e incendios, puesto que muchos permanecen incandescentes.

Otros fenómenos relacionados con el vulcanismo y que por su peligrosidad deben ser mencionados, son las nubes ardientes, los *lahares (coladas de barro)* y las inundaciones debidas a erupciones subglaciares.

El área de influencia de una erupción está



condicionada por factores climatológicos. Las lluvias y vientos ejercen un gran control sobre la distribución y peligrosidad de los materiales volcánicos.

En la España peninsular existen varios puntos de vulcanismo reciente, pero sin riesgo a efectos prácticos, alguno de ellos de muy escasa extensión. Destacan: la región gerundense, (Olot, Reus y desembocadura del río Tordera), Campos de Calatrava, Montes de Toledo, Sur de Gata y Mar Menor. Las fuentes termales y la actividad hidrotermal son manifestaciones de actividad volcánica residual.

La región insular, concretamente el archipiélago canario, se considera un área volcánica activa. En los últimos seis siglos ha existido actividad volcánica en las islas de Lanzarote, Tenerife, La Palma y El Hierro.

Son muy numerosas las erupciones conocidas en la época histórica. La más reciente se produjo en la isla de La Palma en 1971 (volcán Teneguía).

Se deben resaltar etapas de gran actividad como son las comprendidas entre 1.704 y 1.706 en la isla de Tenerife y la 1.730 y 1.736 en Lanzarote.

Las erupciones en la región canaria, en general se pueden catalogar como de poco peligrosas. Suelen liberar magmas básicos, fluidos y gran cantidad de gases de una manera tranquila y prolongada, a excepción de algunas ocurridas en la isla de Tenerife.

Las actuaciones que se pueden desarrollar para aminorar el riesgo por erupciones volcánicas son fundamentalmente de dos tipos: *previsión* de las consecuencias de las erupciones y *predicción* del momento en que se producirán.

La previsión de daños da lugar a los *mapas previsores de riesgos volcánicos* que permiten la ordenación del territorio, la construcción de barreras para detener o canalizar las cola-

das, lahares, avalanchas, etcétera.

La predicción de la erupción permite la toma de medidas fundamentalmente de *protección civil*, encaminadas a la evacuación de los habitantes y a la protección de sus bienes.

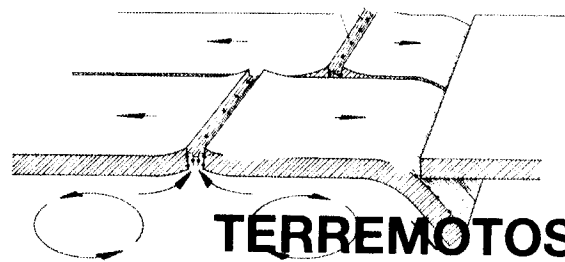
Las zonas volcánicas suelen estar densamente pobladas debido a la fertilidad de los suelos formados a partir de los materiales arrojados por el volcán. Por ello se hace muy necesario el estudio de predicción de las erupciones de cara a evitar el mayor número de posibles víctimas.

Para el estudio de una zona volcánica se hace uso de la información geológica disponible a fin de reconstruir con la mayor exactitud la evolución e historia de los volcanes existentes y poder definir el tipo de erupción previsible que como se ha indicado tiene una gran influencia en la capacidad destructiva y peligrosidad del aparato volcánico.

Conocidas las principales características del volcán, se deben instalar instrumentos que constituyen verdaderos laboratorios equipados con complejos mecanismos que permiten la medición de determinados parámetros y su variación a lo largo del tiempo.

Se sabe que las erupciones van habitualmente precedidas de ciertos fenómenos como terremotos de intensidad variable, aumento de la temperatura del terreno, deformaciones del suelo, fracturas, aparición de zonas de tensión, hundimientos, desplazamientos horizontales, variaciones en el campo magnético local, etcétera.

En el campo de la predicción, en continuo desarrollo, la vulcanología dispone de un conjunto de técnicas muy desarrolladas que requieren grandes medios y la dedicación de científicos especialistas, expertos en la interpretación de los datos obtenidos.



**TERREMOTOS**

## Terremotos

Los terremotos se cuentan entre los fenómenos naturales que más pesan en el ánimo del hombre por ser los que más destrucción han causado y mayor número de vidas humanas se han cobrado a lo largo de la Historia.

El primer terremoto de forma rigurosa fue el de Lisboa en 1755, que destruyó prácticamente la ciudad y produjo unas 20.000 víctimas. Uno de los más conocidos es el de San Francisco ocurrido en 1906, que aunque tuvo un gran efecto destructivo sobre la ciudad, no produjo sino un reducido número de muertes, estimado en unas 700 personas. Mesina, Kansu (China) Tokio, Agadir (Marruecos), Perú, Managua, Chile, Méjico, son nombre trágicamente unidos a terremotos que en el presente siglo —y algunos muy recientemente— han producido miles de muertes. El de Tang-chang (China) en 1976 produjo alrededor de 650.000 muertes.

Estos terribles efectos han llevado al hombre a tratar de explicar el fenómeno, en un intento aún no conseguido de predecirlo y eliminar sus consecuencias.

El año 1857 constituye un importante hito en esta ciencia, cuando MALLET describe y estudia el terremoto de Nápoles. Posteriormente ROSSI y FORREL confeccionan una escala de intensidad de los sismos, que sería mejorada por MERCALLI.

Los primeros sismógrafos fueron construidos por MILNE y CALCANI, a fines del siglo pasado. Ya en este siglo se organizan los primeros laboratorios y se inician los primeros intercambios de datos a nivel internacional, estableciendo los fundamentos de la *sismología* como ciencia interdisciplinar que estudia los terremotos.

Un terremoto es un movimiento vibratorio de la corteza terrestre originado en un punto del interior (*hipocentro*) de donde parten las ondas vibratorias denominadas *ondas sísmicas*.

La causa de la vibración estriba en la mayoría de los casos en la evolución de fallas activas merced a la acción de esfuerzos tectónicos, y hoy día se explica a través de la *Teoría de la Tectónica de Placas*, según la cual la corteza está formada por placas que «flotan»



base a las medidas del movimiento registrado en sismógrafos, siendo por tanto una escala instrumental, mientras que la intensidad se mide por los daños ocasionados por el terremoto. La relación existente entre ambas se muestra en la tabla de la figura T-3.

La escala más empleada para medir la intensidad es la ideada por Mercalli y modificada por Wood, Newmann y Richter. Comprende doce grados cuyo significado se recoge en la tabla de la figura T-4.

La escala de magnitudes, debida a Richter, comprende diez grados (del 0 al 9) y cada uno de ellos produce un movimiento máximo en los sismógrafos diez veces mayor que el anterior (escala logarítmica).

España es un país de actividad sísmica moderada, aunque existen zonas con un riesgo alto, que se localizan en el Pirineo y sureste peninsular.

Los terremotos más graves de que se tienen noticias, que produjeron unos 800 muertos, fueron los ocurridos el 2 de febrero de 1429 que destruyó Olot y Puigcerdá, y el de Málaga (este sismo está relacionado con el movimiento de las placas africanas y europea que entran en colisión en la zona del Estrecho y son el origen de la cordillera Bética).

Actualmente no existe posibilidad de prever con suficiente fiabilidad un terremoto, pero el conocimiento de sus mecanismos y de las zonas donde la probabilidad de que un sismo se produzca puede ser suficiente para tomar las medidas oportunas a fin de eliminar el riesgo en lo posible. Estas medidas se dirigen a la

utilización de la ingeniería sísmica, construyendo edificios y obras públicas de acuerdo a normas tendentes a mitigar los efectos de los terremotos. rascacielos, presas, conducciones de agua, gas y electricidad, deberán ser construidos de acuerdo a tales normas, en las áreas en que las probabilidades de padecer terremotos las convierten en zonas de riesgos.

Se han desarrollado intentos de liberar la energía almacenada en las *fallas activas* antes de que se acumule una cantidad que produzca la liberación espontánea y súbita que da lugar al terremoto. Para ello se ha probado la *inyección de agua* en la zona de falla de forma que se lubriquen las masas en contacto y se facilite así su movimiento relativo. En estas zonas se ha pensado incluso emplear *explosiones nucleares* de pequeña intensidad a fin de liberar la energía almacenada, cuando esta es aun de pequeña magnitud. La *vigilancia de la evolución* de las fallas es otra de las herramientas de que se dispone para tratar de predecir los movimientos sísmicos.

En España existen observatorios sismográficos dependientes del Instituto Geográfico Nacional y de otros organismos, repartidos por todo el territorio, en los cuales se detecta la actividad sísmica a través de una *red de sismógrafos* situados en lugares estratégicos, los cuales transmiten la información al registro central donde se procesa y almacena. Se confeccionan *mapas previsorios de riesgos sísmicos* y *mapas sismotectónicos* de indudable importancia para dictar normas para la ordenación del territorio, cuyo cumplimiento evitaría los efectos destructivos de estos

Magnitud	Intensidad (Mercalli)	Energía (erg)	Acceleración (cm/s <sup>2</sup> )
3	3	$1 \cdot 10^{11}$	3
4	4,5	$1 \cdot 10^{12}$	10
5	6	$1 \cdot 10^{13}$	30
6	7,5	$1 \cdot 10^{14}$	100
7	9	$1 \cdot 10^{15}$	300
8	10,5	$1 \cdot 10^{16}$	1 000
9	12	$1 \cdot 10^{17}$	3 000

Fig. T-3. --Relaciones de la intensidad de un terremoto. Fuente: Enciclopedia Salvat (Geología)

fenómenos naturales. En concreto existe una *Norma sismorresistente* que prescribe las medidas de diseño antisísmico.

Otros fenómenos relacionados con terremotos en el mar, aunque también con deslizamientos submarinos o erupciones volcánicas son los *tsunamis* o *maremotos*, voz japonesa que significa «ola grande».

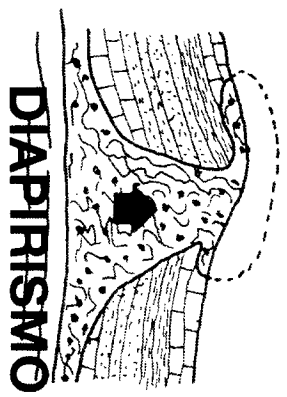
En nuestro litoral el riesgo de tsunamis es reducido, existiendo constancia únicamente del provocado por el terremoto de Lisboa, responsable de la mayor parte de los muertos.

Las áreas con mayor probabilidad de que se produzca un tsunami son las de las costas atlánticas, debido a que están expuestas a la acción de los terremotos ligados a la falla de las Azores. En menor medida existe riesgo de fenómenos de esta naturaleza en la costa mediterránea en relación con los terremotos con epicentro en el mar de Alborán.

Como medidas preventivas deben citarse los sistemas de alerta (existe uno en el Pacífico) y la correcta planificación de las áreas costeras.

Grado	Características
I	El movimiento sísmico no es percibido por las personas en general.
II	Advertido por las personas en reposo, en los pisos superiores de las casas o en posición favorable.
III	Percibido en las casas. Oscilaciones de objetos colgados. Vibraciones como las producidas por el paso de camiones ligeros. Estimación de la duración. A veces no se atribuye a un terremoto.
IV	Oscilación de objetos colgantes. Oscilaciones como las producidas por el paso de un camión pesado o como las que origina una bola pesada al golpear las paredes. Oscilaciones de los coches parados. Movimientos de puertas y ventanas. Tintineo de los cristales. Vibraciones de la vajilla. En las fases más intensas, crujidos de las paredes y estructuras de madera.
V	Se siente en el exterior, se puede estimar la dirección. Se despiertan los que estaban durmiendo. Se mueve la superficie de los líquidos y se vuelcan algunos recipientes. Desplazamiento o caída de algunos objetos de poca estabilidad. Oscilación de las puertas que se abren o se cierran. Movimientos de cuadros y objetos colgados de la pared. Parada, puesta en marcha, o cambio del paso de los relojes de péndulo.
VI	Es sentido por todos. Alarma y huida al exterior. Vacilación de las personas en movimiento. Rotura de cristales, platos y vajilla. Caída de estanterías, libros, etc. y de los cuadros de las paredes. Desplazamiento de los muebles. Resquebrajamiento de tabiques, enlucidos y muros de construcción débil de tipo D. Suenan las campanas de tamaño pequeño (por ej. de iglesias). Zurrido de árboles y arbustos.
VII	Se hace difícil permanecer en pie. Es percibido por los conductores de automóviles. Rotura de aleros y tejados de detalles. Desprendimiento de enlucidos de yeso, cal, piedra, tejas, cornisas, tapias aisladas y adornos arquitectónicos. Se producen algunos daños en muros de tipo C. Se forman ondas en las superficies de los estanques y las aguas se enturbian. Se producen pequeños desmoronamientos en los montones de arena y grava. Suenan las campanas con fuerza. Se producen daños en los canales de negro revestidos.
VIII	Perturbaciones en la conducción de automóviles. Daños en los muros de tipo C y derrumbamientos parciales. Alguno daño en muros del tipo B, pero no del tipo A. Caída de estuco y de algunos tabiques. Caída de chimeneas, monumentos, torres y depósitos elevados. Las construcciones en madera se mueven de los cimientos cuando no están empotrados, techos de las paredes son lanzados fuera. Rotura de cercas deterioradas. Desgajamiento de ramas de árboles. Cambio de caudal o de nivel de manantiales y pozos. Desprendimientos en terrenos con mucha pendiente.
IX	Pánico general. Destrucción de muros tipo D, graves daños en muros de tipo C, a veces con derrumbamiento total, serios daños en muros de tipo B y en las cimentaciones en general. Graves daños en los depósitos. Rotura de conducciones subterráneas. Grandes grietas en el suelo. En las áreas aluviales, expulsión de arena y fango y formación de cráteres de arena.
X	Destrucción de gran parte de los muros y de las estructuras de madera, con su ornamentación. Destrucción de estructuras robustas de madera y de puentes. Graves daños en las presas, muros de contención, etc. Grandes derrumbamientos del terreno. Desbordamiento del agua de los canales, ríos, lagos, etc. Desplazamiento horizontal de arena y arcilla en las bajías y en áreas llanas. Ligera desviación de las vías.
XI	Desviación grande de las vías. Las conducciones subterráneas quedan fuera de servicio.
XII	Destrucción casi total. Desplazamiento de grandes masas de roca. Se deforman las lindes de los terrenos. Los objetos son lanzados al aire.
<b>Tipos de muros</b>	
A. Buena edificación con mortero, construida con arreglo a proyecto, reforzada especialmente en los encañantos y encajada con perfilado en la parte proyectada para resistir esfuerzos laterales.	
B. Buena construcción con mortero, reforzada, pero no calculada especialmente para resistir esfuerzos laterales.	
C. Construcción ordinaria con mortero, no demasiado débil (sin juntas en los arcos), pero sin reforzar, ni calculada para resistir fuerzas horizontales.	
D. Construcción de escasa calidad con materiales flojos, como adobes, morteros pobres, débiles en sentido horizontal.	

Fig. T-4.—Escala de Mercalli modificada. (Fuente: Enciclopedia Salvat, Geología.)



### Diapirismo

El diapirismo es un fenómeno ligado a la geodinámica interna y generado por la plasticidad de los materiales salinos. Se produce cuando un estrato salino sometido a presiones hidrostáticas por los terrenos suprayacentes, fluye hacia arriba, en ocasiones aprovechando fracturas preexistentes, formando un «domo salino» o un *diapiro laminar*, si fluye a lo largo de una fractura, que puede alcanzar la superficie. Las más clásicas manifestaciones de diapiros en España se encuentran en Navarra, Burgos, País Vasco, Levante y Andalucía (fig. DP-1).

Las zonas diapíricas suelen ser móviles y ello, junto a la tectonización de los materiales, generalmente replegados de forma violenta hace que sean áreas con muchos movimientos del terreno, que afectan a todo tipo de obras. Actualmente, debido a la aptitud de las sales por su estanqueidad para almacenar desechos peligrosos, como los radiactivos, el riesgo diapírico que puede ser estudiado minuciosamente, ha cobrado un especial interés.

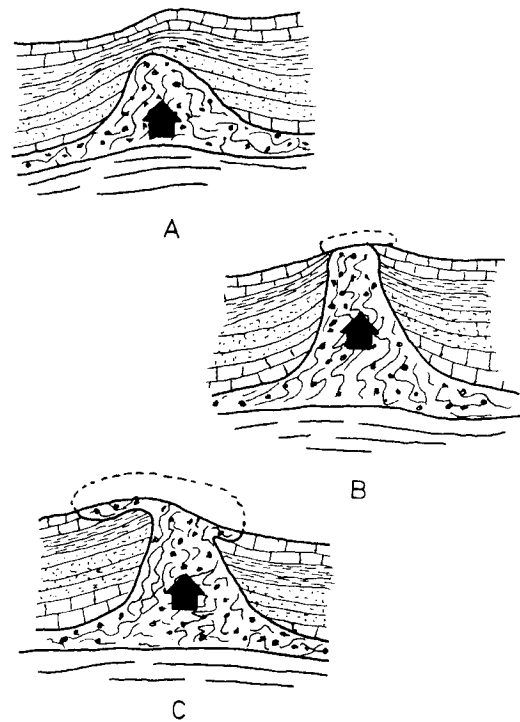


Fig. DP-1.—Formación de un diapiro salino.



## GLOSARIO

*Barra marina:* depósito submarino de material arenoso o tipo grava y forma lineal, dispuesto a lo largo de la línea de costa.

*Bomba volcánica:* bloque de lava que, expulsado por un volcán, alcanza el suelo ya consolidado. Son de un volumen apreciable.

*Ceniza:* fragmentos de material expulsado por los volcanes con un tamaño menor de 2 mm.

*Cordón litoral:* tramo de costa comprendido entre los niveles máximo y mínimo que alcanza la marea, formada por arena y gravas.

*Corrientes de convección:* es la hipótesis más aceptada para explicar el movimiento de las placas, según propone la teoría de la tectónica de placas. En el interior del manto terrestre, debido a las altas temperaturas reinantes, se producen movimientos de convección consistentes en grandes desplazamientos verticales de materiales a altas temperaturas (probablemente en estado de fusión), que en zonas superficiales de la litosfera se enfrían, se mueven lateralmente y descienden reintegrándose a zonas profundas del manto.

*Cuenca hidrográfica:* conjunto de terrenos que vierten su escorrentía superficial hacia un mismo curso de circulación de agua.

*Delta:* acumulación de sedimentos en la desembocadura de los cursos fluviales, que adquiere una forma aproximadamente triangular, similar a la letra mayúscula griega delta, de la que ha tomado el nombre.

*Diapirismo:* proceso de formación de los diapiros y domos de sal, como consecuencia de su plasticidad y baja densidad. También se denomina diapirismo al ascenso de un magma por diferencia de densidad.

*Domo de sal:* masa de tamaño variable, constituida fundamentalmente por sales con forma de cúpula. Se genera por diapirismo, al ascender las sales hacia la superficie terrestre, como consecuencia de su menor densidad con respecto a los materiales que atraviesa.

*Duna costera:* depósitos formados por acumulación de

arenas por efecto del viento en áreas costeras. Puede ser móvil (activa) o muerta.

*Estación de aforos:* instalación situada junto a los cursos fluviales para la medida sistemática de los caudales por diversos métodos.

*Falla:* rotura del terreno, con movimiento relativo de las partes separada.

*Isostasia:* estado de equilibrio hidrostático que se da a una cierta profundidad en la Tierra. La rotura de este equilibrio provoca los movimientos isostáticos o de compensación isostática, que hacen levantarse o hundirse bloques regionales.

*Karst:* macizo calcáreo en el que se ha producido la disolución de las rocas por las aguas meteóricas, dando lugar a un tipo muy característico de relieve.

*Lahar:* colada de barro formada en las pendientes de los volcanes por fragmentos de roca volcánica de muy diversos tamaños.

*Lapilli:* material fino arrojado por los volcanes, cuyo tamaño oscila entre 2 y 30 mm., o entre 2 y 64 mm., según las distintas clasificaciones granulométricas.

*Piroclasto:* fragmentos de rocas magmáticas expulsadas por los volcanes.

*Pluviógrafo:* aparato para la medida de la precipitación-tiempo.

*Sismógrafo:* aparato destinado a medir los movimientos del terreno de origen sísmico.

*Tectónica:* ciencia geológica que estudia los procesos de deformación y rotura de los materiales terrestres y sus resultados.

*Tectónica de placas:* teoría según la cual la parte superficial de la Tierra, conocida como litosfera, está constituida por una serie de fragmentos o placas semirrígidas, moviéndose unas con respecto a otras al flotar sobre un nivel semifluido en el manto superior, denominado astenosfera. Esta teoría está actualmente muy extendida.

## BIBLIOGRAFIA

- ABAD, I. Morilla (1979): *Diccionario de Ingeniería de caminos*. Madrid, Pirámide.
- DERAU, Max (1970): *Geomorfología*. Barcelona, Ariel.
- Enciclopedia Salvat de la Ciencia* (1968): Pamplona, Salvat Ediciones.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1985): *Geología y prevención de daños por inundaciones*. Madrid, IGME.
- LUNDGREN, Lawrence (1986): *Environmental geology*. New Jersey, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- MELÉNDEZ-FUSTER (1975): *Geología*. Madrid, Paraninfo.
- SCIENTIFIC AMERICAN (1976): *Deriva continental y tectónica de placas*. Madrid, Blume.
- SOTO, EUGENIO ANCOCHEA y otros (1985): *Geología. Procesos externos*. Zaragoza, Luis Vives.
- TERAU, M. de-SABARIS, L. Solé (1983): *Geografía general de España*. Barcelona, Ariel.

## COLABORACIONES

El equipo de trabajo expresa su agradecimiento a las personas que ha colaborado facilitando las diapositivas que se citan, contribuyendo así a la calidad del trabajo.

### *Inundaciones*

Doña Guillermina Garzón: I-2, I-4, I-10, I-11, I-18, I-21.  
Agencia Efe: I-6, I-7.  
Press Association: I-3.  
Don Juan José Durán: I-13.  
Don Joaquín del Val: I-14.

### *Desprendimientos y deslizamientos*

Doña Guillermina Garzón: Dps-2, Dps-3, Dps-7, Dps-8.  
Don Francisco Ayala Carcedo: Dps-4, Dps-13.  
Don Juan José Durán: Dps-5, Dps-6, Dps-16, Dps-17,  
Dps-18, Dps-19.  
Don Joaquín del Val: Dps-10.

### *Hundimientos y subsidencias del terreno. Karst*

Don Francisco Ayala Carcedo: Kst-5, Kst-13, Kst-8.  
Sociedad Excursionista de Málaga: Kst-7, Kst-14.  
Doña Guillermina Garzón: Kst-9.  
Don Joaquín de Val: Kst-6.

### *Dinámica litoral*

Don Joaquín del Val: DI-15.  
Don Juan José Durán: DI-14.

### *Erosión*

Doña Guillermina garzón: E-4, E-5, E-11, E-12, E-13.  
Don Francisco Ayala Carcedo: E-8.  
Don Joaquín del Val: E-3, E-15, E-16.

### *Volcanes*

Agencia Efe: Vc-1, Vc-11.

### *Terremotos*

Don Angel Garcia Yagüe: T-6, T-7, T-8, T-9, T-10, T-13,  
T-14, T-15, T-16.

**DESCRIPCION  
DE LA COLECCION  
DE DIAPOSITIVAS**

## **DIAPOSITIVAS DE INUNDACIONES**

**I-1.**—Típico cañón formado por la dinámica fluvial en materiales calcáreos, en este caso el «tajo» de Ronda (Málaga).

**I-2.**—Las lluvias torrenciales provocan inundaciones que en muchos casos, y debido principalmente a insuficiencias de alcantarillado, llegan a ser de grandes dimensiones (Madrid).

**I-3.**—La desviación de los cursos fluviales causada por las inundaciones da lugar a cuantiosos daños materiales, en este caso sobre un grupo de viviendas arrasadas por el agua. Lynmouth (Reino Unido).

**I-4.**—El desbordamiento de un río por encima de su cauce provoca en zonas de la llanura de inundación el anegamiento de los terrenos próximos al mismo. Se puede apreciar la fuerza de la corriente de agua. (Levante español).

**I-5.**—En áreas de topografía muy suave la lámina de agua ocupa grandes extensiones, inundando viviendas, campos de cultivo y terrenos baldíos.

**I-6.**—Las inundaciones en zonas urbanas ocasionan multitud de problemas, entre ellos, que numerosos automóviles resulten atrapados entre las aguas, quedando en ocasiones totalmente inservibles. Al fondo puede apreciarse el riesgo de inundación que tienen los bajos de las viviendas (Valencia).

**I-7.**—El efecto devastador del agua, junto con los materiales que arrastra, ha provocado en una carretera el vuelco de automóviles, rotura de señales, farolas, etc. (Guipúzcoa).

**I-8.**—El litoral valenciano presenta, debido a su topografía totalmente plana y a sus peculiares características climatológicas, un riesgo muy elevado de inundación. En la diapositiva se puede apreciar cómo los campos de arroz del área de Sueca, normalmente anegados por las necesidades de este tipo de cultivos, aparecen en este caso arrasados por las aguas a causa del desbordamiento del río Júcar. Sueca (Valencia).

**I-9.**—En la diapositiva queda reflejado claramente el riesgo de inundación que presentan tanto las áreas cultivadas con naranjos, como las zonas habitadas de la línea de costa, ante cualquier desbordamiento de la rambla (Castellón).

**I-10.**—Los embalses constituyen la medida más eficaz para prevenir las inundaciones en áreas ya ocupadas de las llanuras de inundación, pero pueden convertirse en un riesgo si hay problemas. La rotura de la presa del embalse de Tous (Valencia) que regula el caudal del río Júcar, ocasionó la liberación repentina de millones de metros cúbicos de agua que arrasaron todo a su paso. Embalse de Tous (Valencia), tras la rotura.

**I-11.**—En la diapositiva se puede apreciar cómo la fuerza de la corriente del río Júcar, tras la rotura de la presa del embalse de Tous, ha originado, a su paso por Sumarcárcel, la rotura y posterior arrastre por las aguas de uno de los puentes de acceso a dicha localidad. Sumarcárcel (Valencia).

**I-12.**—La altura alcanzada por el agua ha quedado claramente marcada sobre la fachada de un edificio, en un pequeño pueblo del litoral valenciano, asolado frecuentemente por las inundaciones. Sumarcárcel (Valencia).

**I-13.**—Un problema añadido a las inundaciones es el depósito de los lodos que arrastran las aguas, una vez se retiran éstas. Gandía (Valencia).

**I-14.**—En la diapositiva se puede ver cómo tras la retirada de las aguas desbordadas del río Serpis, en la zona de la playa de Venecia (Gandía), el terreno queda totalmente cubierto por lodos que poco a poco comienzan a secarse, apareciendo las típicas huellas de retracción. Gandía (Valencia).

**I-15.**—La fuerza del agua durante una inundación provoca el arrastre de numerosas partículas en suspensión, que terminan por depositarse una vez finalizada ésta. En la diapositiva se aprecia el cauce de un curso fluvial a la altura de su desembocadura en el mar, prácticamente colmatado de sedimentos, con huellas de pequeños canales de agua sobre los mismos. Rambla de Albuñol (Almería).

**I-16.**—EL delta de la rambla de Albuñol (Almería), formado por el desbordamiento de la misma, está actualmente ocupado —como puede apreciarse— por numerosos invernaderos, que quedarían arrasados ante futuras avenidas. Rambla de Albuñol (Almería).

**I-17.**—La utilización de los cauces secos de las ramblas para diversos usos es un hecho frecuente y claramente peligroso. En la diapositiva se aprecian varios automóviles estacionados junto al circuito de una autoescuela situado en la rambla de Almería.

**I-18.**—El efecto del agua sobre los cimientos de una vivienda situada junto al cauce de la rambla de Puerto Lumbrera, ha provocado su desmoronamiento. Puerto Lumbreras (Murcia).

**I-19.**—La rambla del Puerto Lumbreras recoge la escorrentía de todo el área descargando en un gran cono de deyección ocupado principalmente por tierras de cultivo que quedarán anegadas ante cualquier avalancha de agua. Puerto Lumbreras (Murcia).

**I-20.**—Entre las medidas de prevención y lucha contra las inundaciones está el reforzamiento artificial del cauce natural de los ríos, como en este caso el del río Júcar (Valencia).

**I-21.**—El encauzamiento artificial de los cursos de agua es otra de las medidas para evitar las inundaciones. Obsérvese como encauzando las aguas del torrente, el peligro de anegar la carretera queda notablemente disminuido.

**I-22.**—Para evitar las inundaciones, la medida correctora más óptima es la regulación del caudal de los ríos, mediante la construcción de presas. Embalse de María Cristina (Castellón).

**I-23.**—Los mapas de riesgos elaborados por el IGME constituyen una herramienta útil para prevenir las inundaciones y ordenar el territorio. En la diapositiva se presenta el mapa de riesgos de inundaciones del área de Bilbao.

## DIPOSITIVAS DE DESPRENDIMIENTOS Y DESLIZAMIENTOS

**Dps-1.**—Desprendimiento súbito de enormes masas de material calizo. La carretera de la izquierda da muestras de la magnitud del fenómeno, destacando la dimensión de los bloques desprendidos. Enterró un cortijo completamente. Montejaque (Málaga).

**Dps-2.**—Desarrollo de grietas delimitando bloques inestables. El desprendimiento de éstos se producirá por descalce o vuelco. Tagle (Santander).

**Dps-3.**—Bloques desplomados por descalce, consecuencia de la erosión de los materiales infrayacentes. Ainsa (Huesca).

**Dps-4.**—Deslizamiento plano a favor de la estratificación en una mina de carbón. Peñarroya (Córdoba)

**Dps-5.**—Superficie curva sobre la cual se ha producido el desplazamiento del material. Deslizamiento de Olivares (Granada).

**Dps-6.**—Desplazamiento lento de materiales por la incorporación de gran cantidad de agua. Azpiroz (Navarra).

**Dps-7.**—Caida de roca, favorecida por la acción de la lluvia, sobre una vía de comunicación, con el consiguiente daño no sólo económico, sino potencialmente humano.

**Dps-8.**—Desprendimiento de bloques en zonas pobladas, con riesgo para las edificaciones y por tanto de vidas humanas. Salobreña (Granada).

**Dps-9.**—Efectos de un corrimiento de tierras en un vía de comunicación. Deslizamiento típico rotacional. Grandes pérdidas económicas.

**Dps-10.**—Perfecto marcado de un deslizamiento en un talud provocado por la apertura de la carretera, debido a la modificación del perfil existente.

**Dps-11.**—Corte total de una autopista provocado por el deslizamiento del talud, poniéndose en marcha gran cantidad de tierra. San Francisco (Estados Unidos).

**Dps-12.**—Caida de 5 metros de un chalet, debido a un desplazamiento de tierras, en una zona que se encuentra sometida a riego continuo, posible causa del deslizamiento. Obsérvese la superficie curva sobre la que se ha deslizado. Deslizamiento típico rotacional. Almuñecar (Granada).

**Dps-13.**—Desplazamiento de una porción de terreno en una zona agrícola. Obsérvese la diferencia de cota existente entre los árboles. Alcoy (Alicante).

**Dps-14.**—Cabecera del deslizamiento puesto en marcha por causas totalmente naturales, y cuyo riesgo estriba en las pérdidas económicas que ocasionó al tapar completamente una carretera. Puerto de los Alazores (Málaga).

**Dps-15.**—Aspecto, una vez desescombrada la carretera, del deslizamiento, en donde se puede apreciar el gran volumen de tierra puesta en movimiento. Puerto de los Alazores (Málaga).

**Dps-16.**—Cabecera del deslizamiento de Olivares. Superficie sobre la que se ha iniciado el movimiento de tierras. Olivares (Granada).

**Dps-17.**—Desnivel producido en la cabecera del deslizamiento. Puede apreciarse claramente la superficie del deslizamiento. Olivares (Granada).

**Dps-18.**—Vista general del deslizamiento. En primer término el circo del mismo, en donde puede apreciarse el gran volumen de tierras puestas en movimiento. Al fondo el pueblo. Olivares (Granada).

**Dps-19.**—Lengua del deslizamiento. Obras que se llevan a cabo a fin de evitar que la lengua represe completamente el río Velillos. La carretera está totalmente tapada. Olivares (Granada).

**Dps-20.**—Estado actual de la zona de deslizamiento (1987). El cauce del río Velillos reforzado con una barrera de piedras. La lengua de deslizamiento remodelada y con el sistema de drenaje debidamente instalado. Olivares (Granada).

**Dps-21.**—Escollera de piedras muy utilizada como medida de protección, en la base de los taludes de vías de comunicación en prevención de movimientos de tierras.

**Dps-22.**—Muros de contención perfectamente anclados y con sistemas de drenaje, instalados a pie de taludes en vías de comunicación, en zonas potencialmente inestables y como medida preventiva de futuros deslizamientos.

**Dps-23.**—Red metálica de guiado, muy utilizada en taludes muy pronunciados, que permite recoger el desprendimiento de pequeñas rocas al pie del talud y así evitar que invadan las vías de comunicación.

**Dps-24.**—Hotel construido sobre terreno fracturado y con alto riesgo de desprendimiento, con el consiguiente peligro para la edificación. Prueba de ello lo constituye la red metálica colocada sobre el mismo.

## **DIAPOSITIVAS DE PROCESOS KARSTICOS**

**Kst-1.**—Cañón formado en calizas totalmente karstificadas. Obsérvese el río posible causante del cañón en la parte central de la diapositiva. Monasterio de Piedra (Zaragoza).

**Kst-2.**—Vista aérea del lapiaz del Torcal de Antequera en la que puede apreciarse el modelado típico de esta forma kárstica. Torcal de Antequera (Málaga).

**Kst-3.**—Vista desde el suelo del lapiaz del Torcal. A destacar las grandes dimensiones de su modelado. Torcal de Antequera (Málaga).

**Kst-4.**—Vista aérea de un campo de simas en material yesífero. Simas de grandes dimensiones. Sorbas (Almería).

**Kst-5.**—Sumidero de gran profundidad en material calizo, con abertura en superficie de gran tamaño (Burgos). Sierra de la Demanda.

**Kst-6.**—Valle kárstico en material calizo, con un típico hundimiento kárstico en el centro. Santa Cruz de Moya (Cuenca).

**Kst-7.**—Formaciones típicas de estalactitas, estalacmitas y columna en la gruta kárstica de Nerja (Málaga).

**Kst-8.**—Dolina de forma casi circular en material calizo en la provincia de Santander.

**Kst-9.**—Dolina de hundimiento en material yesífero de forma circular y tamaño apreciable. Riba de Santiuste (Guadalajara).

**Kst-10.**—Vista aérea de un campo de dolinas en material calizo. Sierra Gorda (Granada).

**Kst-11.**—Vista aérea del gran polje de Zafarraya. Como se observa el pueblo se encuentra situado en el centro del polje y sufre periódicamente de inundaciones. Zafarraya (Granada).

**Kst-12.**—Vista aérea del polje de Benaoján. Cabe destacar la instalación de una industria dentro de la zona inundable del polje. El pueblo se sitúa en la margen de dicha zona potencialmente inundable. Benaoján (Málaga).

**Kst-13.**—Gruta kárstica abierta en el acantilado por la acción del mar. Obsérvense las edificaciones que se encuentran en la parte superior de la gruta. Lekeitio (Vizcaya).

**Kst-14.**—Río subterráneo kárstico causante de la formación de la galería que se observa (Marruecos).

**Kst-15.**—Presa construida en material calizo karstificable, razón por la cual la retención de agua que efectúa es mínima, pasando el agua a través de las calizas al complejo kárstico de Hundidero-Gato. Presa de los Caballeros, Montejaque (Málaga).

**Kst-16.**—Surgencia del complejo kárstico —sistema Hundidero-Gato— de 8 km. de longitud en material calizo y que drena grandes cantidades de agua. Benaoján (Málaga).



#### **DIPOSITIVAS DE DINAMICA LITORAL**

**DI-1.**—Avance progresivo de la arena de playa que poco a poco va tapando las escaleras de acceso al paseo. Torremolinos (Málaga).

**DI-2.**—Erosión costera diferencial por efecto de la barra de rocas que determina la erosión en una parte de la playa y la sedimentación en la otra parte. Salobreña (Granada).

**DI-3.**—Erosión reciente en un acantilado travertínico por la acción del oleaje, provocando grandes grutas y socavamientos de la base del talud. Torremolinos (Málaga).

**DI-4.**—Desprendimiento de grandes bloques por la acción erosiva del mar, provocando un colapso en el acantilado con riesgo para las edificaciones que se encuentran muy próximas. Nerja (Málaga).

**DI-5.**—Dinámica de playa, en donde se aprecia la clasificación por tamaños de los cantos que el mar realiza en la playa. A destacar la barra de cantos en la parte superior de la playa (Castellón).

**DI-6.**—Albufera de Adra (Almería). Puede apreciarse la existencia de lagunas costeras, debidas a la típica disposición de las barras de cantos.

**DI-7.**—Detalle de lagunas costeras formadas por las barras de cantos consecuencia de la dinámica litoral. Obsérvese su tamaño (Castellón).

**DI-8.**—Típica duna activa en herradura mostrando su concavidad al mar, de donde procede el viento dominante (mar - tierra). Cabo de Gata (Almería).

**DI-9.**—Duna activa en herradura, en la que se aprecia claramente cómo en su avance por la parte derecha ha cortado totalmente un camino. Cabo de Gata (Almería).

**DI-10.**—Duna activa donde se aprecia el efecto de la vegetación deteniendo el avance de la duna (parte central), no cortando el camino, y por el contrario la escasez de vegetación (parte izquierda) no consigue impedir el avance, produciendo el corte del camino. Cabo de Gata (Almería).

**DI-11.**—Protección de playas de la erosión debida al oleaje, mediante la instalación de diques perpendiculares a la línea de costa (Granada).

**DI-12.**—Protección de playas de la erosión debida al oleaje, mediante la instalación de diques paralelos a la línea de costa (Granada).

**DI-13.**—Protección que en este caso ha sido superada (dique transversal hundido). Puede apreciarse la defensa contra el mar, realizada a base de una barrera de piedras a lo largo de la playa (Castellón).

**DI-14.**—Desembocadura de un río, notese la interfase río-mar y la barra de cantos consiguiente. Lekeitio (Vizcaya).

**DI-15.**—Típica invasión del mar en el valle fluvial formando una ría. Vivero (Luque).

## DIAPPOSITIVAS DE EROSION

**E-1.**— Comienzo de una red de cárcavas. Nótese cómo la erosión va progresando ladera arriba y en las dos direcciones.

**E-2.**—Red de cárcavas. Zona de cárcavas, en la que destaca las dos ramblas de desagüe (Almería).

**E-3.**—Comienzo de acarcavamiento. Área forestal en la que se aprecia el comienzo de acarcavamiento, con desarrollo progresivo ladera arriba (Guadalajara).

**E-4.**—Inicio de una cárcava. Comienzo de la erosión. Las aguas de escorrentía van socavando, ladera arriba, el terreno hasta formar la red de cárcavas (Valencia).

**E-5.**—Cárcava en estado avanzado. Aspecto de una zona acarcavada madura. Nótese la destrucción de suelo por el retroceso del talud. Pantano de Castrejon (Toledo).

**E-6.**—Desierto. Panorama de una zona desértica en Almería. Apreciese la intensa escorrentía que ha dado lugar al acarcavamiento y destrucción del suelo (Almería).

**E-7.**—Cárcavas. Detalle de un área de cárcavas en el desierto de Almería. Se puede apreciar la destrucción del suelo por acción de la escorrentía (Almería).

**E-8.**—Erosión en el talud artificial. Talud artificial en una carretera. Apreciese el inicio de un acarcavamiento por la acción de las aguas de escorrentía. Para evitar esto sería imprescindible instalar vegetación en el talud (Navarra).

**E-9.**—Cultivos y desierto. Panorámica de una zona de Córdoba en la que se puede apreciar el contraste entre el efecto del cultivo sobre el suelo y la destrucción del mismo en el área donde no se cultiva con inicio de una cárcava (Córdoba).

**E-10.**—Barrancos y cárcavas. Panorámica de una zona de Toledo, en la que la escorrentía ha dado lugar a cárcavas y barrancos (Toledo).

**E-11.**—Deforestación y erosión. Aspecto de una zona de Santander en la que se puede apreciar la relación entre cultivo y erosión. La parte en la que ha desaparecido el bosque, ha comenzado a sufrir los efectos de la escorrentía (Santander).

**E-12.**—Abanico aluvial. Panorámica de una zona de desierto con cárcavas en la que se puede apreciar el gran abanico aluvial situado a la derecha de la foto (Sina).

**E-13.**—Muros contra la erosión. Prevención de los efectos de la erosión en una zona de Guadalajara, mediante la instalación de muros de contención (Guadalajara).

**E-14.**—Terrazas contra la erosión. Panorámica de una zona de Almería, en la que mediante el aterrazamiento y posterior cultivo se intenta evitar la erosión (Almería).

**E-15.**—Recuperación del desierto. Intento de recuperación del desierto de Almería mediante la instalación de cultivos (Almería).

**E-16.**—Panorama cultivado. Zona de los Monerjos, Zaragoza, en la que mediante trabajos cultivivos se intenta evitar la desertización. (Za. Monerjos, Zaragoza).

## DIPOSITIVAS DE VOLCANES

**Vc-1.**—Erupción tranquila del volcán Teneguia en la isla de La Palma. Se observa los materiales incandescentes saliendo del cráter del volcán.

**Vc-2.**—Erupción violenta del volcán Vesubio en Nápoles. A destacar la gran onda explosiva que se observa.

**Vc-3.**—Caldera antigua del Teide. Cabe destacar sus grandes dimensiones, así como las diferentes coladas de lavas de erupciones posteriores que se hacen notar por su distinto color.

**Vc-4.**—Vista aérea del volcán Teide, con su gran cráter central (Tenerife).

**Vc-5.**—Pico Viejo del Teide, cono adventicio de este gran aparato volcánico. Obsérvese el contraste de color de los materiales de erupciones más modernas, respecto de las antiguas.

**Vc-6.**—Vista del cráter del Pico Viejo. Obsérvese la típica disposición de los materiales piroclásticos sobre lavas más antiguas (Tenerife).

**Vc-7.**—Cráter central del Teide, en la que en primer término se puede apreciar la evacuación de gases típicos de las fumarolas existentes (Tenerife).

**Vc-8.**—Colada de lavas escoriáceas. Esta disposición caótica se denomina localmente «malpais» por la morfología tan peculiar que presenta.

**Vc-9.**—Acumulación de productos piroclásticos. Obsérvese el contraste de color entre las diferentes capas, consecuencia del cambio de quimismo del magma (Tenerife).

**Vc-10.**—Fumarola activa dentro del cráter del pico del Teide (Tenerife).

**Vc-11.**—Impresionante colada de lavas, aún incandescentes, emitidas por el Teneguia durante una de sus últimas erupciones. Cabe destacar la gran potencia que alcanza el frente de la colada y la alta temperatura que conserva después de ser emitidas. Teneguia (La Palma).

**Vc-12.**—Parte terminal de una colada de lavas en la que se observa el alcance diferencial de la misma según la topografía que encuentran en su desplazamiento (Tenerife).

**Vc-13.**—Extenso mar de lavas escoriáceas por donde se ha abierto posteriormente una carretera. No obstante los cortes de vías de comunicación suelen ser uno de los daños que ocasionan las erupciones volcánicas.

**Vc-14.**—Acantilado costero formado por restos de una antigua colada de lavas. Cabo de Gata (Almería).

**Vc-15.**—Vista panorámica del Teide, con sus diferentes coladas de lavas de otras tantas erupciones. En primer plano una colada actualmente con vegetación (Tenerife).

## **DIAPOSITIVAS DE TERREMOTOS**

**T-1.**—Vista parcial de un plano de falla. Obsérvese la superficie ligeramente ondulada sobre la que se ha producido la fricción de los materiales que se han desplazado. Nigüelas (Granada).

**T-2.**—Vista panorámica de la falla de Padul, causante prácticamente de todos los seismos que se producen en el sur de España. Padul (Granada).

**T-3.**—Sistema de fallas vistas en una sección perpendicular al plano de falla. Obsérvese el desplazamiento vertical que han sufrido las capas debido a los esfuerzos tectónicos soportados.

**T-4.**—En este tipo de mapas se representa el posible comportamiento, ante un sismo, de los diferentes materiales según su competencia y el grado de tectonización que soportan. Mapa sismotectónico de Granada.

**T-5.**—Aspecto del pueblo de Arenas del Rey después del terremoto que asoló a la región andaluza en 1885. Terremoto de Andalucía. Arenas del Rey (Granada).

**T-6.**—Edificio de tres plantas colapsado. Situado en la carretera de Gemona a Tricesimo. Terremoto de Friuli (1976), Italia.

**T-7.**—Colapso de la casi totalidad de un edificio en Tlatelolco. Terremoto de México (1985).

**T-8.**—Caída y rotura de las vigas prefabricadas de un puente de autopista en construcción (Trasaghis-Alesso). Terremoto de Friuli (1976), Italia.

**T-9.**—Rotura de un depósito de agua en la estación de ferrocarril de Gemona. Terremoto de Friuli (1976), Italia.

**T-10.**—Edificio totalmente colapsado en diferentes grados. Terremoto de México (1985).

**T-11.**—Curioso efecto del terremoto de México en un edificio. Obsérvese el apilamiento de los diferentes pisos sin llegar a producirse su desmoronamiento. México (1985).

**T-12.**—Panorámica del colapso de varios edificios totalmente desmoronado por su base. Obsérvese el edificio de la derecha en pie un poco inclinado. Esta diapositiva delata el diferente comportamiento de varios edificios ante un mismo seísmo. México (1985).

**T-13.**—Colapso del Hotel Finisterre. Calzada de Taplán. Terremoto de México (1985).

**T-14.**—Colapso de un bloque de doce plantas del Hospital Juárez. Terremoto de México (1985).

**T-15.**—Colapso parcial de un edificio. Muestra el diferente comportamiento de las estructuras. Terremoto de México (1985).

**T-16.**—Hundimientos de los pisos superiores de una fábrica de confecciones. La parte baja del edificio ha soportado el seísmo. Terremoto de México (1985).