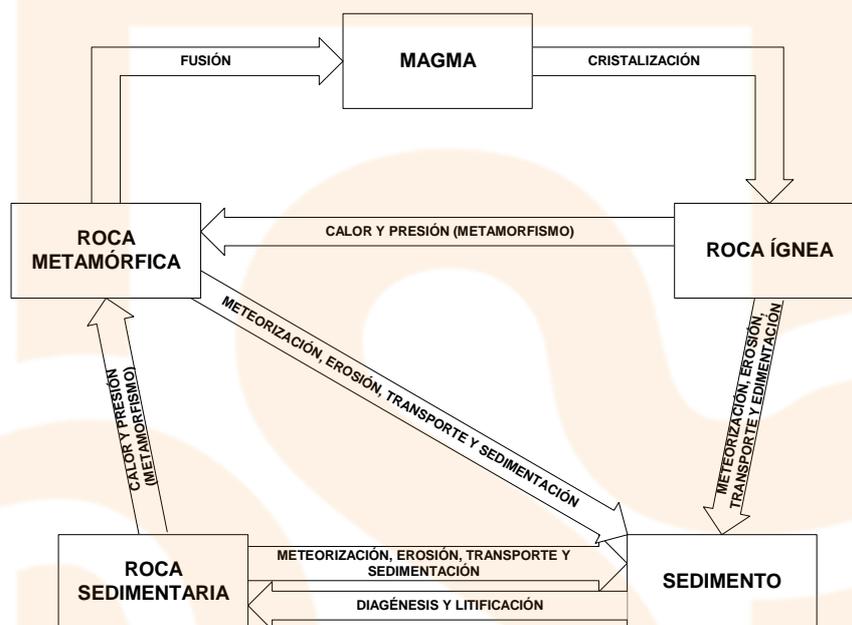


## 7.0 INTRODUCCIÓN

### EL CICLO DE LAS ROCAS Y EL CICLO GEOLÓGICO MUESTRAN LAS INTERACCIONES ENTRE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA TIERRA

- La Tierra es un sistema, lo cual significa que está formado por muchas partes que interactúan y forman un todo complejo cuyas propiedades no pueden explicarse como la suma de las propiedades de las partes que lo componen.
- El ciclo de las rocas nos permite examinar muchas de las interrelaciones entre las diferentes partes del sistema Tierra. Nos ayuda a entender el origen de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, y a ver que cada tipo está vinculado a los otros por los procesos que actúan sobre y dentro del planeta.



La figura 6.1 de la página 142 del libro representa la litosfera como sistema y muestra de una forma más detallada estas relaciones y el flujo de materia y energía.

- La corteza terrestre se encuentra en continua transformación como resultado de fuerzas antagónicas, externas e internas, que respectivamente tienden a destruir el relieve continental y a originar nuevos materiales que luego forman las montañas. El ciclo geodinámico externo comprende la erosión o destrucción de las rocas superficiales, su transporte y la sedimentación de los materiales resultantes en las cuencas sedimentarias (principalmente el fondo del mar); su origen radica en la energía solar, que evapora el agua de los océanos precipitándola sobre los continentes, y en la fuerza de la gravedad, que la hace descender hacia las zonas más bajas. En cambio, el ciclo geodinámico interno comprende los procesos orogénicos que forman nuevas montañas, e incluyen los fenómenos magmáticos, metamórficos y los procesos de deformación y elevación de las rocas; la energía necesaria procede del calor interno del globo terráqueo (energía geotérmica) y de la fuerza de la gravedad, que provoca las grandes presiones reinantes en el interior de la Tierra.
- Según el principio del uniformismo “el presente es la clave para interpretar el pasado” puesto que los procesos geológicos han ocurrido en el pasado tal como están sucediendo en la actualidad. Estos procesos son generalmente muy lentos y sus efectos son difícilmente apreciables, pero en lapsos de tiempo suficientemente prolongados su acción incesante provoca grandes cambios. Sólo ocasionalmente los procesos geológicos ocurren de una forma rápida y violenta (fases paroxismales) como es el caso de las erupciones volcánicas y los terremotos.

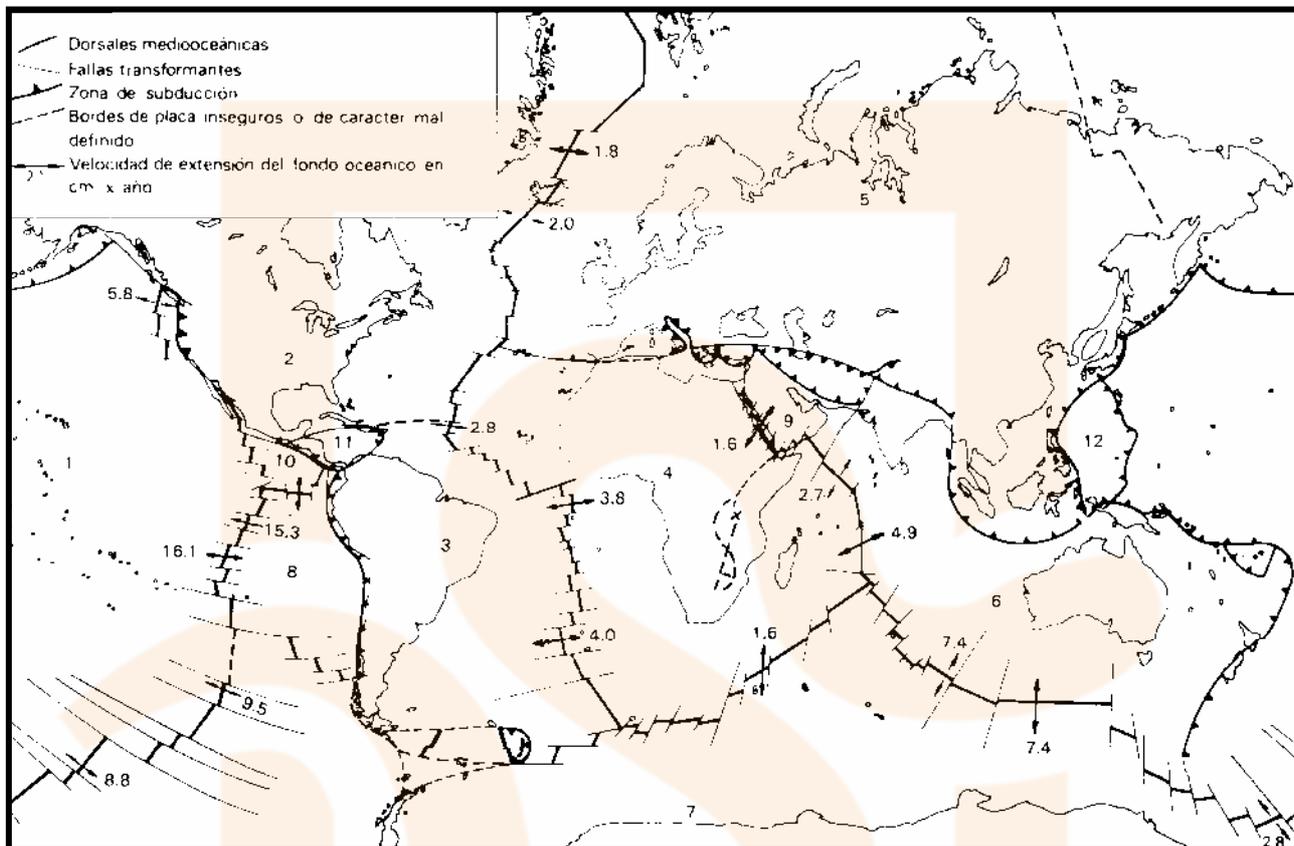
## 7.1 DINÁMICA LITOSFÉRICA

### LA TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS ES ESENCIAL PARA COMPRENDER LA DINÁMICA TERRESTRE

- La tectónica de placas o tectónica global intenta dar explicación, y en la mayoría de los casos lo consigue, a la totalidad de los grandes procesos geológicos: la deriva de los continentes, distribución y evolución de continen-

tes y océanos, formación de cordilleras, origen y distribución de movimientos sísmicos, magmatismo y metamorfismo y la existencia de dorsales oceánicas, fosas oceánicas y arcos insulares.

- La litosfera es la capa superficial rígida de la Tierra que descansa sobre la astenosfera, mucho más dúctil. Comprende la corteza terrestre y la parte del manto que se encuentra sobre el canal de baja velocidad (astenosfera).
- La litosfera se encuentra dividida en una docena de grandes bloques denominados placas litosféricas. Los límites de estas placas coinciden con las zonas de mayor actividad sísmica y volcánica del planeta.



**Principales placas litosféricas:**

1, Pacífica; 2, Norteamericana; 3, Sudamericana; 4, Africana; 5, Euroasiática; 6, Australoíndica; 7, Antártica; 8, de Nazca; 9, Árabe; 10, de Cocos; 11, Caribe; 12, Filipina.

- Los límites entre placas actuales son de tres tipos: constructivos, destructivos y neutros. En los límites constructivos, representados por las dorsales oceánicas, se crea nueva litosfera. Las zonas de expansión deben ser compensadas con zonas donde se consume al mismo ritmo la corteza; esto ocurre en los límites destructivos, que corresponden a las zonas de borde continental activo y arcos insulares, donde la litosfera es consumida a lo largo de los planos de subducción. Por último, en los límites neutros las placas se deslizan lateralmente, a lo largo de fallas denominadas transformantes, sin que se produzca creación ni destrucción de litosfera.

**EN LAS DORSALES OCEÁNICAS SE FORMA CONTINUAMENTE LITOSFERA OCEÁNICA**

- Las dorsales son cordilleras submarinas formadas por dos alineaciones montañosas paralelas separadas por una depresión denominada rift.
- Las dorsales son límites constructivos porque en ellas se forma continuamente litosfera oceánica como consecuencia de la incorporación de materiales procedentes del manto. Esta formación de nueva litosfera oceánica provoca el alejamiento de las dos placas separadas por la dorsal, por lo que estos márgenes reciben también la denominación de límites divergentes o de separación.
- Islandia se encuentra situada sobre la dorsal centroatlántica. Se cree que la existencia de un punto caliente bajo la dorsal en esa zona la ha hecho especialmente activa.
- Las dorsales pueden aparecer donde previamente no existían como consecuencia de la fragmentación de un continente. Esto es lo que está ocurriendo en la zona del Rift Valley de África oriental.

## EN LOS LÍMITES CONVERGENTES SE DESTRUYE LITOSFERA OCEÁNICA Y SE ORIGINAN CADENAS MONTAÑOSAS

- Estos límites de placa constituyen los orógenos, es decir, zonas de sismicidad elevada, deformación intensa, magmatismo y metamorfismo, resultantes de la interacción entre los bordes de las placas, una de las cuales subduce bajo la otra, y que normalmente originan una nueva cadena de montañas. Existen tres tipos básicos de orógenos: los de tipo arco insular, los de tipo andino y los de tipo alpino o de colisión entre continentes.
- Cuando se aproximan dos placas litosféricas, una continental y otra oceánica, la más densa —es decir, la oceánica— se introduce bajo la otra. Esta región en la que la litosfera oceánica se reincorpora al manto se conoce como zona de subducción. Para introducirse bajo la otra, la placa oceánica se combe provocando la formación de una fosa oceánica en el borde del continente. La compresión de los materiales y el vulcanismo que aparece asociado al fenómeno de la subducción determinan la aparición de una cordillera paralela al borde continental (que en estos casos recibe el nombre de borde continental activo) denominada arco volcánico continental. La cordillera de los Andes y las fosas oceánicas de Chile y de Perú son un buen ejemplo de esta situación.
- Los orógenos de tipo arco insular se originan como consecuencia de la aproximación de dos placas oceánicas, una de las cuales subduce bajo la otra. Como consecuencia se forma una fosa oceánica y, paralelo a ella, un arco insular volcánico. El mar que queda encerrado entre el arco insular y el continente más próximo recibe el nombre de cuenca marginal. En la zona occidental del Pacífico podemos encontrar numerosos ejemplos de fosas oceánicas, arcos volcánicos insulares y cuencas marginales asociados.
- La subducción de litosfera oceánica puede conducir al encuentro de dos masas continentales. En este caso, la litosfera continental es demasiado gruesa y poco densa como para subducir, por lo que el resultado es la formación de un orógeno muy voluminoso que se denomina cordillera intercontinental. Los Alpes y la cordillera del Himalaya han tenido este origen.
- En las zonas de subducción, los focos de los terremotos se distribuyen en un plano inclinado en el sentido de avance de la placa que subduce (plano de Benioff).

## EN LOS MÁRGENES NEUTROS NI SE CREA NI SE DESTRUYE LITOSFERA

- Los bordes neutros son aquellos en los cuales no se crea ni se destruye litosfera, desplazándose las placas en sentidos opuestos, sin aproximarse ni separarse. Son zonas de intensa actividad sísmica, pero no existen relieves llamativos como en los otros tipos de contactos.
- Incluyen las zonas de fractura oceánicas (fallas transformantes), que atraviesan transversalmente a la dorsal dislocándola, y otras zonas en las que las placas se deslizan lateralmente. Generalmente sirven de conexión entre márgenes de otros tipos.
- La falla de San Andrés, en California, es uno de los ejemplos más conocidos de este tipo de contacto ya que atraviesa una zona continental.

## LA CONVECCIÓN EXPLICA EL MOVIMIENTO DE LAS PLACAS LITOSFÉRICAS

- Los mecanismos que originan el movimiento de las placas no son suficientemente conocidos. Sin embargo, la existencia de un flujo térmico elevado en las dorsales y anormalmente bajo en las fosas sugiere que alguna forma de convección térmica debe existir en el interior de la Tierra y que esta puede ser la causa del movimiento de las placas.
- En la convección, una zona de un fluido se calienta, se dilata y pierde densidad, subiendo, enfriándose en la superficie, y volviendo a descender. De acuerdo con esta idea, las dorsales representarían las zonas donde tiene lugar el ascenso térmico y las fosas oceánicas las zonas donde tiene lugar el descenso del material ya enfriado.
- Los esquemas de convección aceptados actualmente son más complejos y consideran que el ascenso convectivo es difuso y que, por lo tanto, no se limita a las dorsales. Según estos modelos, el principal motor de las placas sería el "tirón" provocado en las zonas de subducción por el aumento de densidad de los materiales debido a su enfriamiento.
- A este flujo convectivo de descenso en las zonas de subducción y ascenso difuso se superpone otro flujo ascendente concentrado consistente en penachos térmicos procedentes de zonas profundas del manto y que pueden llegar a perforar la litosfera (puntos calientes).

## EN EL INTERIOR DE LAS PLACAS LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA O SÍSMICA ES CONSECUENCIA DE LA EXISTENCIA DE UNA ZONA DE FRACTURA O DE UN PUNTO CALIENTE

- La actividad volcánica y sísmica del planeta, aunque se concentra especialmente en los márgenes de las placas litosféricas, también afecta a zonas del interior de las placas (fenómenos intraplaca).
- La tectónica de placas explica esta actividad geológica alejada de los límites de las placas como la consecuencia de la existencia de una zona de fractura, la presencia de un punto caliente o la combinación de ambos fenómenos.
- En la litosfera oceánica, dado su menor grosor, la existencia de un punto caliente suele provocar la aparición de volcanes. En cambio, en la litosfera continental un punto caliente sólo originará volcanes si es una zona delgada de la litosfera, la placa está fija respecto al punto caliente o si la anomalía térmica es muy acusada. En otro caso, el resultado suele ser la formación de yacimientos de rocas plutónicas anorogénicas.
- Las zonas de fractura pueden ir ligadas también a fenómenos de vulcanismo, debido a la reducción en el punto de fusión de los materiales que se produce por la descompresión, o de actividad sísmica como consecuencia de la reactivación de tales fracturas.
- Las islas Hawai han sido originadas por un punto caliente que ha permanecido fijo mientras que la litosfera oceánica de la placa pacífica se iba desplazando. Nuestras islas Canarias, en cambio, se asocian a la existencia de una zona de fractura y no a una pluma térmica.

## 7.2 PROCESOS GEOLÓGICOS INTERNOS

### LOS VOLCANES SON MANIFESTACIONES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA DE LA TIERRA

- La variación de la temperatura con la profundidad se conoce como gradiente geotérmico. Éste alcanza un valor de 30 °C/km en la zona más superficial de la Tierra, sin embargo luego va disminuyendo de manera que en las zonas más profundas del planeta las temperaturas no superan los 4.500 – 6.000 °C.
- Parte del calor interno de la Tierra es calor remanente de su formación, pero, sobre todo en las zonas más superficiales, existe otra importante fuente de calor: se trata de la desintegración de elementos radiactivos.
- La actividad volcánica suele ser intermitente, alternándose largos periodos de inactividad con otros de actividad intensa. En la actualidad existen en la Tierra casi quinientos volcanes activos y cada año entran en erupción entre veinte y treinta de ellos.
- Un volcán es cualquier lugar de la superficie terrestre por donde salen al exterior materiales fundidos procedentes del interior. En los volcanes fisurales estos materiales fundidos salen a largo de grietas que a veces pueden tener kilómetros de longitud; en cambio, en los volcanes centrales a través de un cráter más o menos puntual. En la figura 6.6 de la página 148 las partes de un volcán central.
- Los volcanes expulsan productos sólidos (piroclastos), líquidos (lavas) y gaseosos. Los piroclastos, según su tamaño, se diferencian en cenizas, lapilli y bombas volcánicas. La lava es el magma desgasificado y fluye por las laderas del volcán formando coladas (también se denominan así una vez solidificadas). La viscosidad de la lava depende de su temperatura y de su composición. Las lavas ácidas, con mayor contenido de sílice, son más viscosas y dejan escapar los gases con dificultad, al contrario que las lavas básicas, mucho menos viscosas. Al ascender a zonas de menos presión, los gases del magma tienden a escapar y provocan las erupciones volcánicas (efecto descorche) y las explosiones que suceden durante éstas. La mayor parte de los gases expulsados por un volcán consisten en vapor de agua, pero también emiten otros gases como, monóxido y dióxido de carbono, óxidos de azufre, ácido sulfhídrico, ...
- Las erupciones se clasifican por la intensidad y la naturaleza de la actividad explosiva del volcán. El grado de explosividad depende, en gran parte, de la viscosidad de la lava; los más viscosos producen erupciones más violentas que generan grandes nubes ardientes, mientras que otras erupciones con magma de baja viscosidad no son muy violentas.
  - Tipo Hawaiano: es relativamente tranquilo, y generalmente se caracterizan por los lagos de lava y flujos lávicos extensos que se generan.
  - Tipo Estromboliano: erupciones que son de duración limitada en que los gases atrapados se acumulan debajo de la lava y periódicamente son expulsadas al aire masas de lava y cenizas.

- Tipo Vulcaniano: este tipo de erupción es el más violento, porque la lava más viscosa se solidifica entre las erupciones, y los gases atrapados, alcanzan una alta presión antes de que la lava superior sea expulsada del cráter.
- Tipo Pliniano: es muy violento; el magma saturado con gas es expulsado a una gran altura, generando grandes volúmenes de ceniza.
- Tipo Peleano: está caracterizado por la generación de flujos incandescentes de piroclastos (nubes ardientes) que bajan por las laderas del volcán a altas velocidades.

#### TIPOS DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA

IEV	% De piroclastos o coladas piroclásticas	Denominación	Materiales emitidos	Tipo de edificio construido
0 - 1	0 - 3	Hawaiana	Coladas	Fisura o escudo
1 - 2	40	Estromboliana	Piroclastos y coladas	Cono de escorias
2 - 4	60	Vulcaniana	Coladas y piroclastos	Volcán compuesto
4 - 8	99	Pliniana	Coladas piroclásticas	Domo
5 - 8	99	Ultrapliniana	Coladas piroclásticas	Caldera

IEV= Índice de Explosividad Volcánica

- Las fumarolas (emanaciones gaseosas), fuentes termales (emanaciones de aguas subterráneas calientes) y los géiseres (fuentes termales intermitentes, en forma de surtidor) son manifestaciones del vulcanismo atenuado, es decir, son manifestaciones de la actividad de un volcán que no está extinguido pero que se encuentra en un periodo de calma.

#### EN LOS TERREMOTOS SE LIBERA BRUSCAMENTE LA ENERGÍA ELÁSTICA ALMACENADA EN LAS ROCAS

- Los terremotos son vibraciones de la superficie terrestre que se originan en un punto del interior, denominado foco o hipocentro, y se transmiten en todas direcciones en forma de ondas sísmicas. El punto de la superficie terrestre situado en la vertical del hipocentro se denomina epicentro.
- Los terremotos se originan por la formación de una falla, por la reactivación de una ya existente o por fricción entre dos placas litosféricas. Según la teoría del rebote elástico el terreno próximo a una falla activa experimenta, como respuesta a los esfuerzos tectónicos, una deformación en los campos elástico y plástico; la deformación elástica es la que explica el seísmo en sí, ya que cuando la tensión acumulada excede un valor crítico (que depende del valor del coeficiente de rozamiento interno de la roca) los bloques contiguos a la falla se desplazan bruscamente, con lo que la deformación elástica se recupera.
- Las ondas producidas en un terremoto son de tres tipos: ondas P o longitudinales, ondas S o transversales y ondas L o superficiales. Los dos primeros tipos se originan en el hipocentro, mientras que el tercer tipo se originan al alcanzar la vibración la superficie terrestre.
- Las ondas P son las primeras en ser registradas en los observatorios sismológicos, ya que son las más rápidas. Se denominan longitudinales porque la vibración que provocan a las partículas se produce en la dirección de propagación de la onda. Se denominan también ondas de compresión porque provocan la compresión y dilatación alternantes de los materiales por los que pasan (fig 6.15, pág. 156).
- Las ondas S son un poco más lentas y se denominan transversales porque provocan una vibración de las partículas perpendicular a la dirección del rayo sísmico. Se conocen también como ondas de cizalla porque provocan en los materiales un movimiento semejante al de las hojas de una cizalla (fig 6.15, pág. 156).
- Las ondas L son las que producen los grandes daños que provocan los terremotos. En realidad corresponden a varios tipos de vibraciones: las ondas Rayleigh provocan un movimiento según una órbita elíptica orientada verticalmente en la dirección de propagación de la onda; el movimiento provocado por las ondas Love es íntegramente horizontal y consiste en sacudidas bruscas perpendiculares a la dirección de desplazamiento de la onda.
- Los diversos tipos de ondas sísmicas son registrados gráficamente (sismograma, fig. 6.14b, pág 155) en los observatorios sismológicos por medio de unos instrumentos conocidos como sismógrafos.

- Las ondas S no se propagan en los fluidos ya que su rigidez es nula; las partículas no tienen posiciones fijas y, por lo tanto, no pueden vibrar en torno a ella. Las ondas P sí se propagan puesto que dependen también de la incompresibilidad del medio.

### 7.3 PROCESOS GEOLÓGICOS EXTERNOS

#### LOS PROCESOS GEOLÓGICOS EXTERNOS MODELAN EL RELIEVE

- A expensas de la energía solar transformada en energía potencial, los agentes geológicos (atmósfera, agua y viento) denudan la superficie terrestre por medio de acciones o procesos geológicos (meteorización, erosión, transporte y sedimentación), dando lugar al modelado del relieve. La fuerza de la gravedad favorece el transporte desde las zonas elevadas a las deprimidas.
- Las formas de modelado resultantes dependen del agente geológico predominante, que viene determinado por el clima, del tipo de rocas y de la disposición estructural de éstas.

#### LA ATMÓSFERA ES UN AGENTE ESTÁTICO Y PROVOCA LA METEORIZACIÓN DE LAS ROCAS

- La meteorización es la disgregación y descomposición de las rocas provocada por la atmósfera. La meteorización es un proceso que ocurre *in situ*, es decir, sin que la roca experimente ningún transporte.
- La meteorización de las rocas favorece su erosión posterior por la acción de los agentes geológicos externos.
- La meteorización puede ser química (alteración o descomposición) o mecánica (disgregación), según se produzcan o no transformaciones químicas en los componentes de la roca. La meteorización mecánica favorece a la química puesto que aumenta la superficie de contacto de la roca con la atmósfera.
- La meteorización mecánica se ve favorecida en los climas extremos (desiertos y zonas glaciares y periglaciares) en los que apenas hay agua en estado líquido. La meteorización química, en cambio, requiere la presencia de agua líquida y se ve favorecida por los climas cálidos y húmedos.
- Los principales procesos de meteorización mecánica son:
  - Lajamiento por descompresión.
  - Gelivación, gelifracción o crioclasticidad (acción de la cuña de hielo).
  - Termoclasticidad provocada por la expansión y contracción térmicas diferenciales.
  - Haloclasticidad causada por el crecimiento de cristales de sal.
  - Bioclasticidad producida por los seres vivos (por el crecimiento de las raíces, por ejemplo).
- La meteorización química se puede producir por:
  - Disolución
  - Carbonatación: disolución de las calizas favorecida por el CO<sub>2</sub> disuelto en el agua.
  - Hidrólisis: descomposición de ciertos minerales (feldespatos, micas) por la acción del agua. Se forman arcillas. En zonas tropicales favorece la formación de suelos ricos en aluminio denominados lateritas.
  - Oxidación: el oxígeno disuelto en el agua reacciona con los componentes de la roca.
  - Hidratación / deshidratación: provocan cambios de volumen, como en las arcillas expansivas.

### 7.4 MODELADO DEL RELIEVE

#### LAS LADERAS SE VEN AFECTADAS POR LA ARROYADA Y POR LOS MOVIMIENTOS EN MASA

- Las aguas de arroyada o salvajes son las procedentes de las lluvias o del deshielo que discurren por las laderas sin cauce fijo. Su acción va a depender de la cantidad de precipitaciones, de la pendiente, del tipo de material y de la cobertura vegetal. Pueden actuar de forma difusa (arroyada difusa), en cuyo caso su acción es muy escasa, sobre todo si existe vegetación, o concentrada, formando surcos (cárcavas) que pueden crecer y unirse formando barrancos. La acción de estas aguas es especialmente notable en laderas empinadas, formadas por rocas blandas y con escasa vegetación.
- Los fenómenos de ladera, o movimientos en masa, son todos los desplazamientos producidos, por la acción de la gravedad, sobre los suelos y mantos de alteración (regolito) o sobre masas rocosas, con una mayor o menor participación del agua, la cual favorece dichos desplazamientos. Junto a los ríos, son los fenómenos erosivos más ampliamente repartidos y, por tanto, los más importantes de todo el planeta.

Coladas de barro, reptación, soliflucción, deslizamientos y desprendimientos son, por este orden, fenómenos de ladera con una participación del agua progresivamente decreciente.

- En las coladas de barro se produce un flujo rápido de materiales de grano fino (limos o arcilla) saturados de agua que repentinamente se comportan como un fluido viscoso (fig. 6.24 a), pág. 164). Generalmente el proceso se desencadena como consecuencia de una vibración brusca (caída de un gran bloque rocoso, terremoto, ...).
- La reptación (*creep*) es un fenómeno lento que se produce como resultado de la suma de dos movimientos: elevación perpendicular al suelo como consecuencia del aumento de volumen (por hidratación o congelación) y caída vertical al recuperar el suelo el volumen inicial (figura 6.23, pág. 164). El movimiento lateral abajo es tan lento que solo se puede percibir por los efectos que provoca (árboles arqueados, inclinación de vallas y postes, ...).  
La reptación es especialmente intensa en zonas periglaciares.
- La soliflucción es un proceso en el que participan el flujo y la reptación sobre suelos saturados de agua, característico también de las zonas periglaciares. Se trata de pequeños y lentos flujos viscosos producidos intermitentemente en cada ciclo de hielo-deshielo.
- Los deslizamientos (traslacionales y rotacionales) son característicos de medios sólidos (figuras 6.25 a, b y c, pág. 165). En ellos existe una superficie de despegue que separa el material desplazado del inmóvil; el movimiento se inicia cuando se supera la fuerza de rozamiento entre ambos. El agua juega un doble papel en estos fenómenos: por un lado reduce el rozamiento y, por otro, aumenta el peso de la masa potencialmente deslizante.
- Los desprendimientos consisten en la caída brusca y aislada de bloques o fragmentos rocosos de un talud (figura 6.27, pág. 165).
- Las avalanchas y los aludes son flujos turbulentos o caóticos de material rocoso o de hielo y nieve respectivamente.

#### LOS RÍOS SON IMPORTANTES AGENTES DEL MODELADO DEL RELIEVE

- Los ríos son los principales transportadores de materia mineral de los continentes a los océanos, ya que conducen el 89% de los materiales que llegan al mar.
- Las corrientes fluviales poseen gran cantidad de energía que se utiliza en procesos de erosión y transporte de materiales, además de erosionar y profundizar el propio cauce, que adquiere una forma típica en "V".
- La erosión fluvial depende del caudal, de la pendiente y del tipo de materiales que arrastre la corriente. La abrasión fluvial es un proceso de desgaste mecánico que se produce cuando las partículas transportadas por la corriente golpean las paredes del cauce. Esta abrasión crea pilancones o marmitas de gigante (oquedades cilíndricas excavadas en el lecho rocoso del curso alto de un río) y cascadas con cavidades en su base.
- La sedimentación se produce cuando la velocidad del flujo decrece, generalmente como consecuencia de la disminución de la pendiente.
- Las terrazas fluviales son depósitos aluviales antiguos que han quedado colgados al encajarse el río y erosionar su propia llanura de inundación. Tradicionalmente se relacionan con las glaciaciones cuaternarias, cuando el poder erosivo del río pudo reactivarse como consecuencia del deshielo en los periodos interglaciares.

#### LOS KARST SE DESARROLLAN SOBRE ROCAS CALIZAS

- El karst es propio de rocas carbonatadas (calizas y dolomías), aunque a veces se designan de la misma manera las estructuras de disolución originadas en los yesos y otras rocas salinas.
- Las calizas son rocas compactas y frágiles, con numerosas superficies de discontinuidad (planos de estratificación, diaclasas) que favorecen la infiltración de las aguas y que se ensanchan progresivamente por la disolución ejercida por el agua cuando penetra en las mismas.
- Como son rocas de gran consistencia, soportan pendientes muy verticales, incluso extraplomadas, al igual que bóvedas y conductos subterráneos.
- El carbonato de calcio es una sustancia insoluble, sin embargo cuando reacciona con el ácido carbónico, procedente de la disolución del anhídrido carbónico en el agua, se transforma en bicarbonato, que sí es soluble.



Cuando la reacción ocurre en sentido directo, se produce la disolución de las calizas. En cambio, en sentido inverso ocurre precipitación de carbonato de calcio.

- Como el ácido carbónico procede de la disolución del anhídrido carbónico en el agua, cualquier proceso que tienda a incrementar la cantidad de este gas en el agua favorecerá la disolución, y viceversa. De esta manera los factores que favorecen la disolución son:
  - La vegetación, puesto que la descomposición de compuestos orgánicos incrementa la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto.
  - La presión también incrementa la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto, por lo que la disolución va a ser más importante en profundidad, por debajo del nivel freático.

Por el contrario, otros factores van a favorecer la precipitación:

- La temperatura reduce la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto.
  - La presencia de otras sales puede provocar el efecto del ion común.
- Las formas kársticas pueden agruparse para su descripción en formas debidas a la erosión (disolución) y formas de acumulación (sedimentación y precipitación). Las primeras pueden agruparse, a su vez, en formas exokársticas (externas) y formas endokársticas o del interior del karst.
  - Formas exokársticas
    - La caliza es una roca muy consistente que da lugar a paredes verticales y en muchos casos extraplomadas, las cuales retroceden y se erosionan paralelamente a sí mismas, ya que la disolución suele atacar más intensamente la base de dichos escarpes.
    - La cabecera de algunos valles suele ser un anfiteatro, también muy escarpado (valles en fondo de saco), que retrocede por la acción remontante de las surgencias que hay en su fondo.
    - Al escurrir, el agua forma sobre la superficie de la roca acanaladuras de disolución que reciben el nombre de lapiaces.
    - La disolución suele progresar más rápidamente a favor de las diaclasas y los planos de estratificación, dando lugar a relieves ruiformes denominados en España torcales, o a formas caprichosas, como las de la Ciudad Encantada de Cuenca.
    - Las dolinas son depresiones circulares formadas, bien por disolución durante la infiltración de las aguas (dolinas de disolución) (figura 6.32, pág. 168), o bien por el hundimiento de la bóveda de cavernas subterráneas (dolinas de colapso o torcas). En el primer caso suelen presentar una forma de embudo en cuyo fondo puede abrirse una sima. En el segundo, las paredes suelen ser verticales y el fondo plano y cubierto de arcilla.
  - Formas endokársticas
    - Su desarrollo, distribución y geometría están condicionados, la igual que las formas exokársticas, por la fracturación y planos de estratificación de la roca. Dichos planos junto con la presencia de niveles impermeables y no fisurados y la situación de un nivel de base local (sustrato rocoso no karstificable), configuran las pautas de circulación de las aguas subterráneas.
    - Como en cualquier acuífero, pueden distinguirse una zona vadosa (o zona de aireación) o de circulación vertical, un nivel freático con su zona de fluctuación y la zona freática, en la cual todos los huecos se encuentran inundados.
    - En la zona vadosa predominan las simas o conductos verticales, mientras que en la zona de fluctuación y en la zona freática predominan las galerías o conductos horizontales.
    - La intersección de conductos verticales y horizontales suele dar lugar a la formación de cavernas, formadas no sólo por disolución, sino también por la caída de grandes bloques desde el techo y paredes, que luego pueden ser evacuados mediante disolución por la esorrentía subterránea.
  - Formas de acumulación
    - En el fondo de las depresiones y de las cavidades del karst aparece un manto de arcilla, conocida como arcilla de decalcificación, formado por los residuos no solubles que suelen aparecer en las rocas carbonatadas.
    - Las tobas son concreciones calcáreas formadas por precipitación de carbonato de calcio sobre la vegetación.

- La precipitación de la caliza en las zonas vadosa y de fluctuación da lugar a multitud de formas de gran belleza: estalactitas, estalagmitas, columnas, coladas, banderas, órganos, etc., que en conjunto reciben el nombre de depósitos travertínicos.

#### **EN LAS REGIONES ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS PREDOMINA LA ACCIÓN EÓLICA**

- En estas zonas la vegetación es escasa, las precipitaciones son escasas –aunque ocasionalmente se producen de forma torrencial– y hay una intensa evaporación. Estas características determinan la formación de una serie de estructuras características.
- Por la intensa evaporación se forman grietas de retracción en los terrenos arcillosos y caliches o costras superficiales.
- Las lluvias torrenciales actúan intensamente sobre los terrenos desprotegidos formando cárcavas y torrenteras. Los paisajes en los que dominan estas formas de modelado reciben el nombre de *bad lands*. Los cauces de estas regiones, secos durante la mayor parte del tiempo, reciben el nombre de ramblas (España mediterránea), barrancos (Canarias) o uadis (Sahara).
- El viento transporta materiales de forma análoga a los ríos: por arrastre, saltación y suspensión, según el tamaño.  
El viento erosiona de forma selectiva los suelos, arrastrando sólo las partículas finas. Este proceso se conoce como deflacción, y como resultado del mismo se forman los desiertos de piedras o reg, en los que sólo quedan las partículas que no han podido ser arrastradas por el viento.  
El viento cargado de partículas ejerce un desgaste o corrosión (abrasión) sobre todos los obstáculos que encuentra a su paso como consecuencia del golpeteo de las partículas transportadas.  
El depósito de la arena arrastrada por el viento origina los desiertos arenosos denominados erg.

#### **LAS OLAS CONSTITUYEN EL PRINCIPAL AGENTE EROSIVO COSTERO**

- Las formas de erosión costeras pueden ser propias del ambiente costero o heredadas. Entre las últimas están los fiordos y las rías, formadas por inundación de antiguos valles glaciares y fluviales respectivamente.
- La energía que actúa en el ambiente costero tiene tres orígenes:
  - La energía del viento es transportada por las olas hasta los continentes, donde se libera. El impacto de las olas constituye el principal agente erosivo costero.
  - La energía de las mareas amplía el campo de actuación del oleaje.
  - La energía procedente del continente, principalmente ríos y fenómenos de ladera.
- Las formas erosivas más características son los acantilados y las plataformas de abrasión. El desarrollo de un acantilado está condicionado por la estructura de las capas, su inclinación, su litología y su grado de fracturación.
- Cuando las olas alcanzan los promontorios penetran con fuerza y comprimen el aire; al retirarse, el aire se expande provocando el resquebrajamiento progresivo de las rocas. Este proceso se ve favorecido cuando las rocas están fracturadas, siendo menor en rocas compactas y macizas.
- La acción química del agua salada acelera el proceso. Se pueden formar cuevas, arcos islotes, etc.
- Los deslizamientos y desprendimientos provocan un retroceso paulatino del borde del acantilado.
- Los fragmentos que caen al agua son removidos, triturados y desgastados por el oleaje, que los reduce de tamaño y los transporta hacia el exterior ayudado por las corrientes de deriva. De esta forma se origina al pie de un acantilado una plataforma de abrasión, en el área entre la marea alta y la marea baja.
- En una costa con entrantes y salientes la energía de las olas se concentra en los promontorios, debido a la refracción de las olas.

#### **LAS FORMAS DE ACUMULACIÓN SON CARACTERÍSTICAS DE LAS COSTAS BAJAS, AUNQUE NO SON EXCLUSIVAS DE ELLAS**

- El desarrollo de las formas de acumulación costeras depende del balance entre la cantidad de sedimentos que llega a la costa y la capacidad de las distintas corrientes para transportarlos mar adentro.

- Las playas son acumulaciones de materiales detríticos finos. Las olas aportan nuevos granos a la playa, ya que la ola en su retirada lleva menor cantidad de agua (parte se infiltra) y, por lo tanto, tiene menor capacidad de transporte.
- Si el frente de ola no es paralelo a la línea de costa, a pesar de la refracción, se originan las corrientes de deriva lateral. Este proceso provocará el avance de los materiales paralelamente a la costa en el sentido en el que sople el viento.
- Paralelas a la línea de costa se desarrollan con frecuencia una serie de barras de arena que dejan en medio una laguna o albufera. Esta barra está interrumpida de vez en cuando por surcos que permiten la entrada y salida del agua del mar y que reciben el nombre de canales de marea. Su origen puede estar en los materiales aportados por el oleaje o por las corrientes de deriva.
- Cuando las barras están unidas a la costa por uno de sus extremos se denominan flechas, las cuales son una prueba de la existencia (y del sentido) de corrientes de deriva. Cuando una flecha enlaza una isla con la costa se forma un tómbolo.
- Cuando un río desemboca en una albufera, se produce un depósito de arcillas que tiende a rellenar la albufera. Se originan así llanuras mareales cuya parte más alta se denomina marisma, zonas pantanosas relacionadas con los canales fluviales.  
Las arcillas se depositan por floculación, al mezclarse el agua dulce y la salada (los iones saturan las valencias de las partículas de arcilla, responsables del mantenimiento en suspensión).
- En un punto de la costa en la que desemboque un río importante, los sedimentos detríticos aportados por el propio río se depositan masivamente forzando al río a bifurcarse en múltiples canales, distribuyendo los sedimentos y formando un delta. Si existe alguna circunstancia (gran profundidad, fuertes corrientes) que impida la acumulación de demasiados sedimentos en la boca del río, se forma un estuario; la línea de costa no es deformada ni se forman isletas, como en los deltas.

## 7.5 FORMACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES ASOCIADOS A LOS PROCESOS GEOLÓGICOS

- Los procesos geológicos pueden provocar la segregación y concentración de determinados elementos químicos, pudiendo llegar a formar yacimientos en los que su concentración es suficientemente elevada como para que su explotación sea rentable. La lentitud de los procesos que los originan nos hace pensar que estos recursos tienen un límite y que es preciso hacer un uso moderado de ellos, reciclarlos y no malgastarlos.

### LAS ROCAS INDUSTRIALES SON APROVECHADAS POR SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

- Las rocas empleadas en construcción reciben la denominación general de áridos y constituyen el grupo al que mayor volumen y peso corresponde de todos los recursos minerales. Algunas se emplean tal y como se encuentran en la naturaleza, mientras que otras requieren un procesado previo a su utilización.
- Entre los materiales empleados en construcción podemos destacar:
  - Bloques de piedras. Se extraen en canteras. Antiguamente su uso en construcción estaba más generalizado, pero en la actualidad han sido sustituidos por cemento y hormigón en la mayoría de los casos y sólo se emplean con carácter ornamental.
  - Rocalla. Roca triturada que se emplea en la construcción de carreteras y vías férreas o para fabricar hormigón.
  - Arena y grava. Se extraen de graveras, lugares en los que se acumulan de forma natural (cauces de ríos, playas o flechas litorales). Su extracción origina graves impactos (figura 11.42, pág. 350).
  - Cemento. Mezcla de caliza y arcilla. Las cementeras, en las que se elabora cemento a partir de estos componentes, se suelen situar en las proximidades de las canteras de las que se extrae la caliza.
  - Hormigón. Mezcla de cemento y arena o grava. Si se añaden barras de hierro constituye el hormigón armado.
  - Yeso. Se obtiene de la calcinación de la roca del mismo nombre.
  - Arcillas. Antiguamente (actualmente también en zonas subdesarrolladas) se empleaban sin cocer, mezcladas con paja, para fabricar ladrillos de adobe. Actualmente se cuecen y se emplean para fabricar ladrillos, tejas, baldosas y azulejos.
  - Vidrio. Se fabrica derriendiendo arena de cuarzo, sosa y cal, materiales abundantes y baratos.

## LOS MINERALES INDUSTRIALES SE APROVECHAN POR LAS SUSTANCIAS QUE CONTIENEN O POR SU POTENCIAL ENERGÉTICO

- Los recursos minerales han sido continuamente explotados a lo largo de la historia como fuente de materias primas. En los últimos tiempos han evolucionado las técnicas de explotación y también el impacto causado por las diferentes técnicas mineras.
- Los recursos minerales se pueden clasificar en metalíferos y no metalíferos.
- Los lugares en los que los minerales metalíferos se encuentran concentrados se conocen como yacimientos. Las explotaciones de un yacimiento se denominan minas y pueden ser a cielo abierto o profundas.
- Los minerales de los cuales se extrae un metal, por tener una proporción elevada del mismo, se conocen como menas. Una vez extraídos se someten a diversos procesos por medio de los cuales se extrae el metal y se desecha el resto, las escorias, que suelen acumularse junto a las explotaciones.

PRINCIPALES MENAS METALÍFERAS		
METAL	MENAS	ALGUNAS UTILIDADES
Aluminio	Bauxita	Construcción. Industria de aviones y automóviles.
Hierro	Magnetita, hematites, limonita, siderita, pirita. Lateritas	Muy importante en la industria. Se usa para fabricar acero (con carbono) y acero inoxidable (con cromo y níquel).
Manganeso	Pirolusita	Usado en la producción de acero y pinturas.
Cromo	Cromita	Se usa en la producción de acero inoxidable, para fabricar ladrillos refractarios (resistentes al fuego) y pinturas.
Titanio	Ilmenita	Se utiliza en la fabricación de aviones, pinturas y para fabricar prótesis óseas.
Cobre	Calcopirita, cuprita, malaquita, azurita	Se usa para fabricar cables. También para fabricar latón (con cinc) y bronce (con estaño).
Plomo	Galena	Utilizado para fabricar cañerías, emplomar vidrieras, fabricar baterías y se añade a la gasolina como antidetonante.
Cinc	Blenda	Se utiliza para fabricar latón y en el galvanizado del hierro o el acero para protegerlos de la corrosión.
Estaño	Casiterita	Se usa en la construcción del fuselaje de los aviones y para soldar. También para obtener bronce.
Plata	Plata nativa, diversos minerales argentíferos	Usada en la industria fotográfica, en joyería, ...
Oro	Oro nativo	Se usa principalmente en joyería y como referencia en los sistemas monetarios.
Mercurio	Cinabrio	Utilizado en la construcción de termómetros y en industrias papeleras o de plásticos.
Uranio	Uraninita	Combustible de centrales nucleares.

- Las lateritas son horizontes edáficos enriquecidos en óxidos e hidróxidos de hierro que se acumulan por la meteorización química producida en zonas de relieve horizontal situadas sobre rocas ricas en hierro o en minerales ferromagnesianos. Las bauxitas son similares a las lateritas, pero enriquecidas sobre todo en hidróxidos de aluminio, ya que se forman sobre rocas ricas en este elemento. Ambos materiales se originan en lugares en los que alternan una estación seca con otra en la que hay precipitaciones abundantes (ciertos climas tropicales, ya que las altas temperaturas también favorecen la meteorización química).

MINERALES NO METÁLICOS	
MINERAL	APLICACIONES
Carbón*	Obtención de energía
Pirita FeS <sub>2</sub>	Obtención de ácido sulfúrico
Calcita CaCO <sub>3</sub>	Obtención de productos químicos, óptica, etc.
Apatito Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F, Cl) Silvina KCl	Fertilizantes
Halita NaCl	Conservante, condimento, deshielo en caso de nevadas, etc.
Talco Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> Mg <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>	Pintura, industria papelera y cosmética, etc.

\* No se trata realmente de un mineral, sino de una roca

## LA EXPLOTACIÓN DE LOS MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES PROVOCA IMPORTANTES IMPACTOS

- La explotación de minerales y rocas industriales puede hacerse por distintos procedimientos dependiendo de la profundidad a la que se encuentre, de su valor económico y de la disposición del yacimiento (concentrado en filones, disperso en estratos, etc.).
- Todos los procedimientos de extracción provocan impactos en el medio ambiente que, especialmente en algunos casos, llegan a ser muy graves. Los principales impactos ambientales producidos por la minería son:
  - Contaminación del aire.
  - Contaminación sonora.
  - Contaminación de las aguas.
  - Pérdida de suelo para otros usos.
  - Alteración de la geomorfología y del paisaje.
  - Deterioro de ecosistemas debido a la suma de los impactos anteriores.

La legislación española obliga a realizar de un estudio de impacto ambiental previo a la construcción de una mina y, una vez abandonada su explotación, a llevar a cabo un plan de restauración del paisaje, sobre todo en las minas a cielo abierto.

- También hay que considerar los impactos sociales que se producen, por ejemplo, cuando una mina deja de ser rentable y se cierra, ya que normalmente los ingresos de una parte importante de la población dependen de ella, o por el efecto que puede tener sobre otras actividades el impacto ambiental provocado por la mina.

TIPO DE EXTRACCIÓN	DESCRIPCIÓN	IMPACTOS
Cantera	Extracción en superficie. El frente de extracción es horizontal, lo cual implica que hay que hacerlo en una montaña.	Pérdida de suelo. Impacto paisajístico. Contaminación acústica (explosiones, paso de camiones ...). Contaminación atmosférica (polvo).
Gravera	Extracción en superficie en cauces de ríos, playas o flechas litorales. El frente de extracción puede ser horizontal o vertical. Los materiales extraídos están sueltos	Pérdida de suelo. Posible alteración de la dinámica de los acuíferos. Peligro de contaminación de los acuíferos, ya que, a menudo, los orificios practicados se convierten en vertederos. Alteración de los cauces fluviales. Impacto paisajístico.
Mina a cielo abierto	Extracción a poca profundidad. El frente de explotación es vertical. Se utiliza cuando el mineral se encuentra disperso.	Posible alteración de la dinámica de los acuíferos. Contaminación de los acuíferos (acidificación debida al lavado de los minerales). Gran impacto paisajístico.
Mina subterránea	Extracción en profundidad. El frente de extracción puede ser vertical (pozos) u horizontal (galerías). Se utiliza si la mineralización se encuentra concentrada en filones.	El lavado de los minerales y la acumulación de depósitos de ganga estéril (escombros) generan aguas contaminadas. Impacto paisajístico por acumulación de escombros.