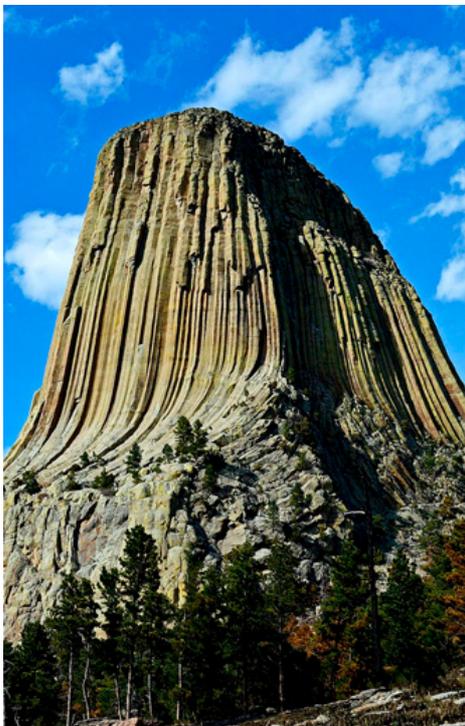


# Biología y Geología

## Unidad 9

# Los procesos geológicos y petrogenéticos



**Figura 9.1.** Devils Tower. By Cheri' Glenn (Own work) [CC BY-SA 3.0].

Hace unos 65 millones de años un gran monolito de basalto emergió de las profundidades de la Tierra y se elevó más de 1200 metros sobre el nivel del mar. Cuentan las leyendas que sus vistosas estrías verticales fueron desgarradas por un oso de tamaño colosal (figura 9.1).

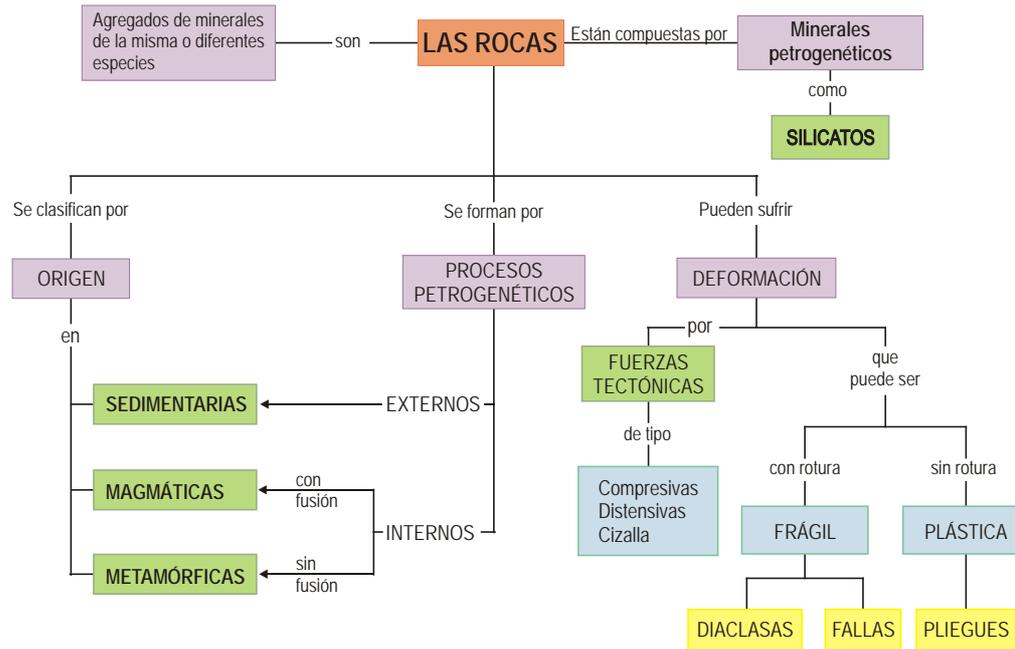
La moderna Geología investiga, sobre todo, las rocas, porque en ellas quedan registrados los sucesos históricos de los que se ocupa esta ciencia. Pero ¿todas las rocas son iguales? ¿Se han formado de la misma manera? Los aprietos para clasificar las rocas han caminado en paralelo con las dificultades para averiguar su origen y sus procesos de formación. Los primeros geólogos abogaron por un origen sedimentario de las rocas. Hoy día sabemos que hay rocas cuyo origen no es sedimentario.

La formación de las rocas sedimentarias depende exclusivamente de procesos geológicos externos. Otras rocas se originan en el interior de la Tierra y, como la formación de la imagen, afloran sobre la superficie gracias a acontecimientos paroxísmicos tales como las erupciones volcánicas o bien quedan expuestas como consecuencia del desmantelamiento de los relieves que llevan a cabo los procesos erosivos. Son las rocas llamadas endógenas, de origen interno.

Pero la influencia entre procesos geológicos internos y rocas endógenas es mutua, porque las características de estos materiales presentes en el interior de nuestro planeta van a condicionar multitud de acontecimientos; entre ellos, la generación del campo magnético terrestre, el origen de algunos terremotos, el flujo de magma en las dorsales, el desplome de la litosfera en gigantescas cascadas subductivas... Al mismo tiempo, van a implicar cambios en los minerales que constituyen las rocas.

# Índice

<b>1.Las rocas sedimentarias</b>	<b>454</b>
<b>1.1. Los procesos sedimentarios</b>	<b>455</b>
<b>1.2. Ambientes sedimentarios</b>	<b>457</b>
<b>1.3. Clasificación de los sedimentos y rocas sedimentarias</b>	<b>460</b>
<b>1.4. Interés de las rocas sedimentarias</b>	<b>462</b>
<b>2. Formación de rocas endógenas</b>	<b>465</b>
<b>3. Las rocas metamórficas</b>	<b>467</b>
<b>3.1. Los factores del metamorfismo</b>	<b>467</b>
<b>3.2. El metamorfismo en la tectónica de placas</b>	<b>469</b>
<b>3.3. Clasificación de las rocas metamórficas</b>	<b>471</b>
<b>3.4. Usos de las rocas metamórficas</b>	<b>472</b>
<b>4.Las rocas magmáticas o ígneas</b>	<b>473</b>
<b>4.1. Origen de los magmas</b>	<b>473</b>
<b>4.2. Evolución de los magmas</b>	<b>475</b>
<b>4.3. El magmatismo en la tectónica de placas</b>	<b>477</b>
<b>4.4. Clasificación de las rocas magmática</b>	<b>478</b>
<b>4.5. Usos de las rocas magmáticas</b>	<b>480</b>
<b>5.La deformación de las rocas</b>	<b>482</b>
<b>5.1. Relación esfuerzo-deformación</b>	<b>482</b>
<b>5.2. Tipos de deformaciones</b>	<b>484</b>
<b>Resumen</b>	<b>490</b>
<b>Solucionario</b>	<b>491</b>
<b>Glosario</b>	<b>494</b>



### Objetivos

1. Comprender los procesos que conducen a la formación de las rocas sedimentarias.
2. Reconocer los distintos tipos de rocas sedimentarias relacionándolos con su ambiente de formación.
3. Conocer el interés económico de las rocas sedimentarias.
4. Interpretar los fenómenos geológicos asociados a la tectónica de placas que están relacionados con el origen de las rocas endógenas.
5. Reconocer los principales tipos de rocas endógenas, su composición, textura, proceso de formación y sus principales afloramientos y utilidades.
6. Conocer los factores físico-químicos responsables del proceso metamórfico y su acción en la transformación de las rocas.
7. Analizar la relación entre los factores del metamorfismo, los diferentes tipos de metamorfismo y la actividad geológica asociada a los bordes de placa.
8. Reconocer las texturas características de las rocas metamórficas.
9. Comprender los procesos de formación, evolución y diferenciación magmática.
10. Reconocer las texturas más comunes en los diferentes tipos de rocas ígneas.
11. Conocer los principales tipos de magmas y su relación con la tectónica de placas.

# 1. Las rocas sedimentarias



**Figura 9.2.** Rocas sedimentarias estratificadas en el Parque Nacional de Ordesa (cmm).

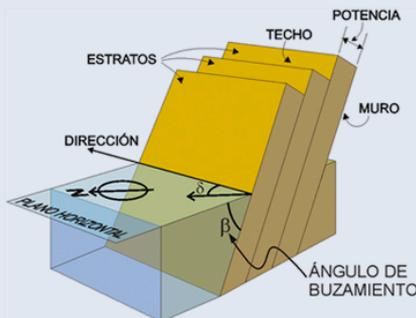
En Geología, **estrato** es cada una de las capas en que se presentan los sedimentos y rocas sedimentarias.

El naturalista danés Niels Steensen (1638-1686), más conocido como Nicolaus **Steno**, que, como veremos en la próxima unidad, es considerado el padre de la Estratigrafía, pensaba (erróneamente) que todos los objetos sólidos se generaban a partir de líquidos. Pero acertó al argumentar que los **estratos** rocosos (figura 9.2) se habían formado a partir de materiales "depositados por las aguas turbias" que más tarde se endurecieron. Hoy, a más de tres siglos y medio de distancia, los geólogos han podido fijar con bastante precisión los detalles de los procesos responsables de modificar el relieve terrestre, y han fundado una ciencia, la Geodinámica externa, encargada de estudiar todos aquellos procesos que tengan incidencia sobre dicho relieve —estudiando cualquier fenómeno del pasado podemos comprender los que se producen en la actualidad y predecir aquellos que sucederán en el futuro—. Sabemos ahora que la historia de un estrato rocoso comienza mucho antes de su consolidación y, generalmente, bastante más lejos: cuando una roca que ya existía con anterioridad resulta erosionada.

## Estratos

Los estratos se forman originariamente depositándose como capas horizontales de potencia (espesor) uniforme, limitadas por las superficies de estratificación que los separan de los estratos adyacentes por encima (más joven) y por debajo (más antiguo). La superficie superior o más reciente de un estrato se denomina techo y la superficie inferior, más antigua, se denomina muro.

La estratificación de una secuencia sedimentaria, inicialmente horizontal, puede verse afectada por esfuerzos (fuerzas) tectónicos y sufrir cambios de posición o de forma (plegamiento, fracturación), como se muestra en las fotografías inferiores.



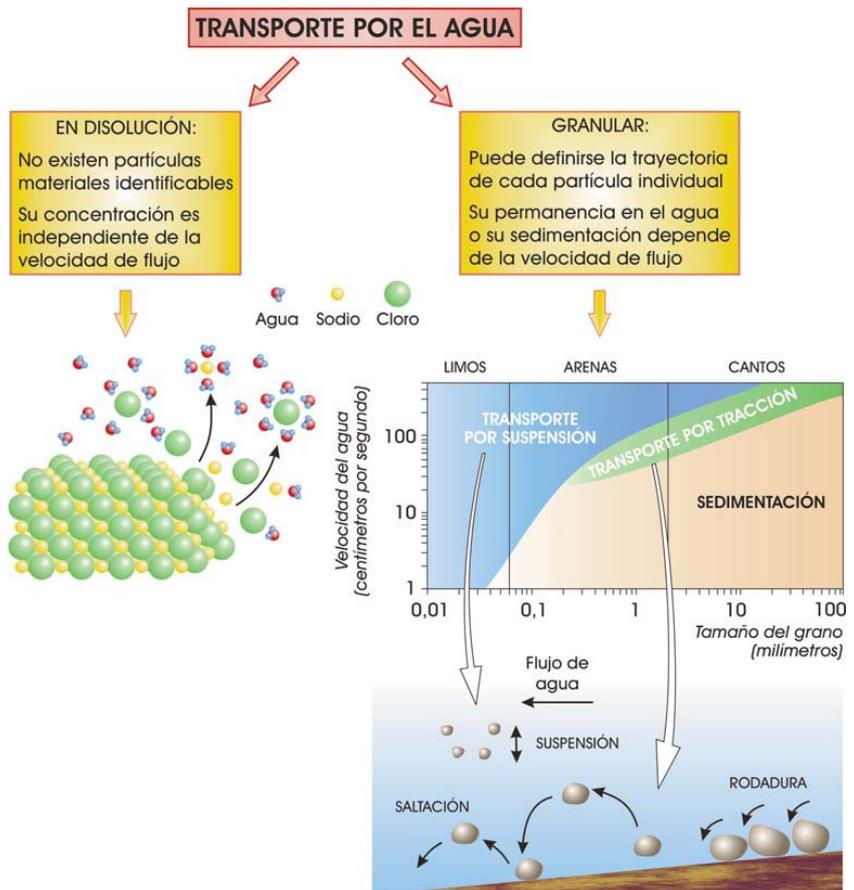
Izquierda: esquema de los elementos de una serie estratificada basculada y su ángulo de buzamiento. A la derecha, una serie estratificada horizontal, no deformada (cmm).



Izquierda, una serie de estratos inclinados en un acantilado. A la derecha, estratos plegados (cmm).

### 1.1. Los procesos sedimentarios

El término **erosión** deriva de la voz latina *erodere*, que significa "roer". Desde luego, no estamos sugiriendo que las rocas sean roídas por animal alguno. El vocablo se usa en sentido figurado para indicar *el desgaste que experimentan los materiales de las tierras emergidas como consecuencia del impacto que ejercen los ríos, los glaciares, el oleaje, los deslizamientos de tierras y, en menor medida, el viento*; a todos ellos podemos llamarlos colectivamente **agentes de la erosión**. Normalmente el proceso de erosión va asociada a un proceso de **transporte** del material arrancado por los propios agentes de la erosión, incluyendo corrientes de agua como las de los mares e incluso las de los lagos (figura 9.3). El material sólido transportado por un fluido, sea cual fuere su origen, recibe el nombre de **sedimento**. Su composición dependerá, lógicamente, de la de su fuente de procedencia, que puede ser muy variada. En bastantes ocasiones se trata de restos de seres vivos, y a veces se aprecian en el sedimento sus partes duras aún no descompuestas. Otras veces son rocas erosionadas, y el sedimento podrá incluir a los minerales que las formaban; cada uno de ellos tendrá una composición química definida y ciertas cualidades distintivas, así el color o la **dureza**.



**Figura 9.3.** El agua puede transportar materiales en **disolución**, en **suspensión** y mediante **tracción** (deslizándose, rodando o saltando). Como se indica en el diagrama (elaborado con datos obtenidos por Ulrich Zanke en 1977), si la velocidad del agua disminuye el transporte granular cesa y los materiales se depositan (sedimentación).

El sedimento llega, tarde o temprano, a zonas en donde se deposita (proceso conocido como **sedimentación**) porque así alcanza una estabilidad compatible con las condiciones del entorno. El resultado es la acumulación de sedimentos sucesivos que originarán **estratos**; y que darán lugar, si se presentan las apropiadas circunstancias, a las llamadas **rocas sedimentarias**:

- En primer lugar, los materiales transportados en suspensión o por tracción se depositan allá donde la efectividad de los mecanismos de transporte se reduce, bien porque pierden energía y abandonan una parte de la carga que transportan (como ocurre en el curso bajo de un río), bien porque alcanzan zonas deprimidas (que reciben el nombre de **cuencas sedimentarias**) en las que cesa el transporte. Los sedimentos así acumulados pueden originar las llamadas **rocas sedimentarias detríticas**, formadas por fragmentos rocosos (**clastos**) más o menos desgastados, aglutinados por un cemento fino (**matriz**) a base de sílice o carbonato de calcio; algunas de ellas pueden apreciarse en la figura 9.13 (página 461).
- Por su lado, los materiales disueltos en el agua pueden **precipitar** cuando la disolución se **satura**, esto es, cuando su concentración sobrepasa un nivel crítico llamado **solubilidad**; también pueden hacerlo gracias a seres vivos que toman de las disoluciones los elementos precisos para la construcción de sus caparzones o esqueletos. Estos materiales precipitados podrán cementarse y originar rocas como las mostradas en la figura 9.14 (página 462) habitualmente designadas como **rocas sedimentarias no detríticas**.

## Diagénesis

Los sedimentos poseen muchos poros llenos de agua, lo que les otorga un aspecto poco consistente; en cambio, las rocas sedimentarias son escasamente porosas, retienen poca agua y son muy consistentes.

Está claro que para convertir un sedimento en una roca sedimentaria aquél tiene que sufrir profundas transformaciones. La comprensión de las mismas no llegaría hasta 1893, fecha en que Johannes Walther (1860-1937) las incluyó dentro del concepto de **diagénesis** (palabra derivada del griego *dia*, "separación", y *genesis*, "nacimiento"; es decir, "nacimiento de rocas por separación de su medio de origen"). La **diagénesis** *abarca todos los cambios que tienen lugar en los sedimentos tras su deposición y que afectan tanto a las partículas minerales como al agua intersticial*; estos cambios se resumen a continuación (figura 9.4):

1. En el sedimento recién depositado, el agua penetra por los poros cargada de oxígeno, y la actividad bacteriana es intensa: las pequeñas conchas calcáreas son destruidas y el calcio que se libera reacciona con sulfuro de hidrógeno para formar **yeso** (sulfato de calcio); es decir, tiene lugar la **neoformación** (formación "de nuevo") **oxidante** de minerales. Pero el oxígeno consumido por la actividad bacteriana no se repone debido al nuevo sedimento que se deposita encima. En estas condiciones intervienen bacterias que no toleran el oxígeno y que originan una **neo-**

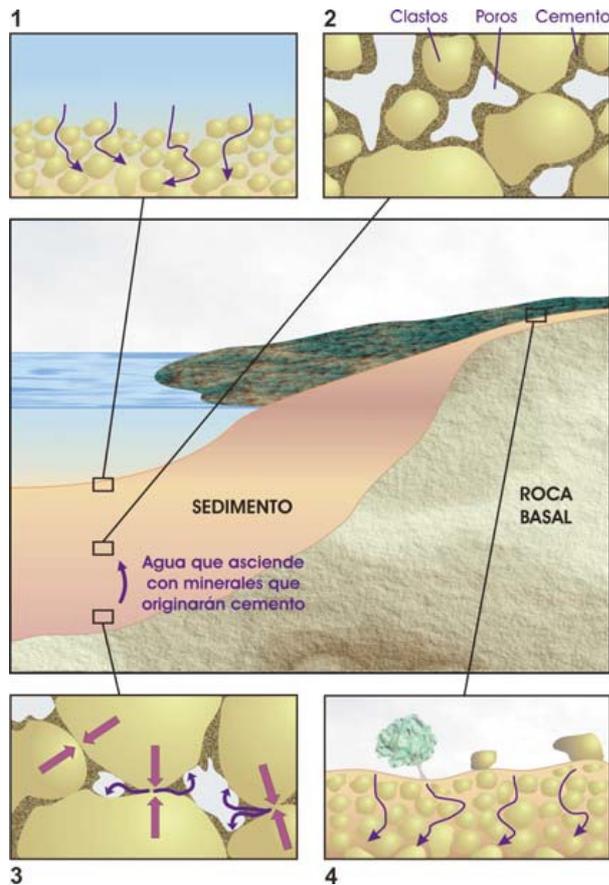


Figura 9.4. Procesos más importantes de la diagénesis y ambientes en los que tiene lugar.

**formación reductora:** los sulfatos se convierten en sulfuros (parte de los cuales ascienden para dar yeso), apareciendo minerales como la *pirita* (sulfuro de hierro). También puede moverse la *sílice* (óxido de silicio).

2. Desde los sedimentos más profundos asciende agua templada cargada con *calcita* (carbonato de calcio), *sílice* y otros minerales. Pero el agua se enfría al subir, y disminuye la solubilidad; en consecuencia, la solución se sobresatura: los minerales precipitan en los poros del sedimento y actúan como aglutinante (**cementación**).

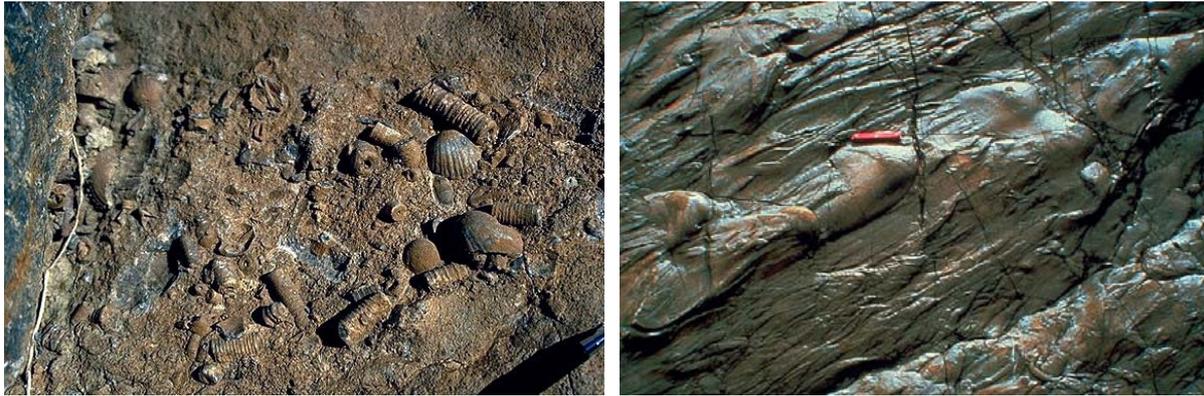
3. Al aumentar la presión de carga debida al peso del sedimento que se va acumulando se produce la compactación (es decir, disminución del volumen del sedimento); al comprimirse el agua, se calienta y es expulsada en todas las direcciones (arrastrando el material que origina la cementación). Al ser la presión mayor en las áreas de contacto entre clastos (flechas gruesas), los minerales de dichas zonas sufren una disolución. El material disuelto tiende a depositarse en zonas con menor presión, (flechas finas) donde se da su recrystalización: los granos se redondean y los espacios vacíos se rellenan.

4. Si la roca queda expuesta cerca de la superficie, disminuye la carga de sedimentos que ha de soportar y se dan procesos de algún modo inversos a los anteriores. Así, se desarrolla una porosidad secundaria por la que puede infiltrarse el agua de lluvia y abrir camino a la **meteorización**.

## 1.2. Ambientes sedimentarios

En 1838, el geólogo suizo Amans Gressly (1814-1865) estaba intentando desenmarañar la compleja paleogeografía de las montañas del Jura, en Francia y Suiza, y necesitaba obtener una descripción objetiva de los estratos deformados que le permitiera comparar sus diferentes tipos. Para ello, estableció una nueva metodología para el análisis estratigráfico. Al conjunto de propiedades **litológicas** (composición, **textura**, estructuras sedimentarias...) y faunísticas (fósiles) de las rocas (figura 9.5) lo denominó **facies** (en latín, "forma impuesta a algo").

Gressly cayó en la cuenta de que las facies de algunos estratos que tenían la misma edad eran distintas; además, se advertían facies similares en estratos de edad diferente. En cambio, observó que las facies de las unidades estratigráficas de una determinada región estaban estrechamente relacionadas con los **ambientes** (esto es, los diferentes conjuntos de condiciones físicas, químicas y biológicas) en los que se producía el depósito de sedimentos de esa región.



**Figura 9.5.** Algunos indicadores que sirven para definir la facies de una roca. Izquierda: los fósiles permiten distinguir si la roca se formó en ambientes marinos o continentales. Derecha: a partir de las marcas en el suelo se puede reconstruir la red de paleocorrientes, esto es, la geografía de las corrientes de agua que transportaron los sedimentos.



**Figura 9.6.** Dunas en el Valle de la Muerte, en California.



**Figura 9.7.** Depósitos fluviales recientes (menos de 800 años) en el río Paria, en Arizona.



**Figura 9.8.** La sedimentación lacustre ha llegado a colmatar algunos de los lagos de Salencia, en Somiedo (Asturias, cmm).

En definitiva, pues, el estudio de la facies de una roca sedimentaria permitiría inferir el ambiente (lugar y condiciones) en que se formó hace miles o millones de años, pero no el momento en que lo hizo. Más exactamente, lo haría si previamente hubiésemos podido establecer una relación causa-efecto entre los ambientes sedimentarios actuales y las facies de los depósitos que se forman en ellos; la aplicación del criterio de similitud de Steno (que se define en la página 503 de la Unidad 10) nos permitiría entonces extender ese conocimiento a las rocas sedimentarias consolidadas para reconstruir los ambientes sedimentarios del pasado:

*Si dos cuerpos sólidos son similares en su aspecto externo y en su estructura interna, también serán similares el ambiente y el modo en que se formaron.*

De ahí la gran importancia que tiene el estudio de los depósitos cuaternarios, relativamente intactos, cuya clasificación es reflejo de los ambientes de deposición, los cuales resumimos a continuación siguiendo la clasificación tradicional de los mismos:

### Ambientes continentales

En los ambientes continentales la sedimentación tiene mucha menos importancia que la erosión, por lo que estos medios sedimentarios suelen tener escasa extensión, tanto en el espacio como en el tiempo. Entre ellos figuran:

- 1. Ambiente eólico.** Se distingue por la escasez de agua y, consecuentemente, por el papel preponderante del viento. Se halla en zonas desérticas y costeras, originando formas onduladas (**rizaduras**) y **dunas** (figura 9.6).



Figura 9.9. Derrubios transportados por glaciares (cmm).



Figura 9.10. Delta del río Mississippi.

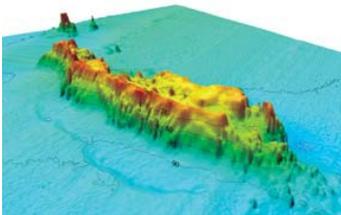


Figura 9.11. Perfil batimétrico (los distintos colores representan diferentes profundidades) del arrecife Alpes de Alabama, en el Golfo de México.

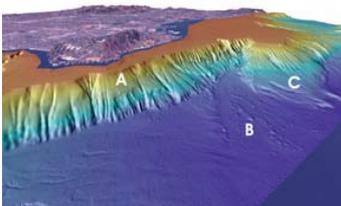


Figura 9.12. Vista en perspectiva del margen de la península de Palos Verdes, en la costa de Los Ángeles (California). A: el talud, de unos 700 metros de altura, repleto de cañones submarinos; B: bloque de 15 metros de altura y 325 metros de longitud emplazado sobre el fondo abisal (azul oscuro) por los deslizamientos de tierras; C: avalancha gigantesca ("megaslump").

2. **Ambiente aluvial.** El material en el que tiene lugar el depósito es agua en movimiento y coladas de fangos. Se incluye en los depósitos aluviales a los **abanicos aluviales** con el ápice encajado en zonas montañosas y a los **depósitos fluviales** (figura 9.7), tales como las **llanuras de inundación** del curso bajo de los ríos y las **terrazas fluviales**.

3. **Ambiente lacustre.** Los materiales se depositan en agua dulce (figura 9.8); la biología juega un papel importante, variable con la profundidad. Los depósitos lacustres comprenden desde sedimentos aportados por los ríos (que pueden llegar a formar **deltas**) hasta sales que precipitan con o sin la ayuda de los seres vivos.

4. **Ambiente glacial.** Abarca en realidad dos ambientes distintos, según el agente preponderante sea el hielo (depósitos **glaciogénicos**) o agua de fusión (depósitos **proglaciales**). Los depósitos acumulados (**morrenas** y **tillitas**) contienen clastos angulosos no ordenados por tamaños (figura 9.9).

### Ambientes de transición

Incluyen ambientes situados en la frontera entre los continentes y los mares y que, por lo tanto, reciben aportes sedimentarios de ambos medios. Son muy complejos e inestables, y los depósitos que acumulan (depósitos **costeros**) incluyen **deltas** (figura 9.10), **plavas** y **barras** de arena que aíslan a masas de agua marina (**albuferas** y **marismas**).

### Ambientes marinos

El mar siempre ha sido el medio de sedimentación más importante. Los depósitos suelen llegar a través de ambientes de transición, y su acumulación depende de la profundidad:

1. **Ambiente de plataforma.** La plataforma continental es una franja que prolonga al continente bajo el mar, cuya pendiente no llega al uno por ciento. Los aportes detríticos de los ríos se redistribuyen por corrientes de deriva y originan grandes ondulaciones alargadas u ovaladas. Si no se dan dichos aportes y la temperatura es alta, la actividad orgánica deposita caliza que, en los fondos someros bien oxigenados, puede originar **arrecifes de coral** (figura 9.11).

2. **Ambiente de pie de talud.** El talud es una pronunciada pendiente que conecta la plataforma con los fondos abisales (figura 9.12). Los depósitos acumulados en la plataforma llegan a caer en avalanchas a través de cañones submarinos provocando **corrientes de turbidez**, que dan lugar a los llamados **abanicos submarinos**.

3. **Ambiente de llanura abisal.** En los fondos marinos predominan los sedimentos **pelágicos**, sobre todo silíceos, originados por la acumulación de restos de protoctistas.

### 1.3. Clasificación de los sedimentos y rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias presentan una serie de características que van a permitir su diferenciación y, en consecuencia, su clasificación. Entre estas características destacaremos:

- **El color de los sedimentos y de las rocas sedimentarias.** Nos proporciona información acerca de las condiciones de oxidación del ambiente sedimentario (por ejemplo, la presencia de humus proporciona un color oscuro; si hay  $\text{Fe}^{3+}$ , el sedimento adquiere tonos marrones y rojos...).
- **La textura.** Viene dada por las características de los *componentes de la roca y sus relaciones recíprocas*; es decir, para las rocas detríticas hay que considerar la forma y el tamaño de los cristales o de los clastos, su orientación espacial, el grado de empaquetamiento... En el caso de las rocas no detríticas, es importante tener en cuenta las características del organismo formador (en las rocas creadas por acumulación de organismos) o de los cristales creadas (en las rocas formadas por precipitación).
- **La estructura.** Es la *disposición geométrica de los constituyentes*. El análisis de la estructura de un sedimento nos va a dar una valiosa información sobre las condiciones existentes en el momento de la sedimentación y de sus variaciones posteriores. Como veremos en próximas unidades, el estudio de la estructura de los sedimentos nos va a permitir realizar estudios de estratigrafía y de correlación estratigráfica.

Aunque el criterio principal para clasificar a las rocas sedimentarias es su composición, la mayoría de los grupos se definen por el componente dominante en el momento del depósito (no se atiende, pues, a la composición del cemento, que aparece posteriormente a la sedimentación: cuando el sedimento experimenta consolidación y se transforma en una roca sedimentaria). Es evidente que habrá rocas con varios componentes dominantes, ninguno de los cuales alcanza el 50 por ciento en volumen, o incluso algunos de composición desconocida.

A continuación se resumen las características de los principales grupos:

1. **Sedimentos y rocas detríticas o siliciclásticas.** El 50 por ciento de los clastos de este grupo deriva de rocas silíceas preexistentes, y es precisamente el tamaño de dichos clastos el criterio que se utiliza para clasificar a estas rocas, tal y como se muestra en la figura 9.13.
2. **Sedimentos y rocas carbonatadas.** Poseen al menos un 50 por ciento de carbonatos, excluidos los que forman el cemento. Las más importantes son las **calizas**, compuestas mayoritariamente por carbonato cálcico (o **calcita**) precipitado en el agua por mecanismos químicos o biológicos. También destacan las **dolomías** formadas por carbonato cálcico magnésico (o **dolomita**).

3. **Sedimentos fosfatados** (si no están consolidados) y **fosforitas** (si están consolidados). Se trata de un grupo de rocas muy poco abundantes y de elevado interés económico, ya que constituyen una de las principales fuentes de fósforo. Se originan por la precipitación de fosfato cálcico. Un ejemplo es el **guano**, formado por acumulación de excrementos de aves marinas.
4. **Sedimentos y rocas ricos en materia orgánica**. Incluyen a los **carbones** (formados a partir de depósitos de restos vegetales) y a los **fangos sapropélicos** (sedimentos orgánicos que contienen esporas, polen o restos de algas como las diatomeas); de estos últimos derivan los petróleos y betunes.
5. **Sales no carbonatadas**. Son rocas formadas por precipitación química de soluciones saturadas de sales (que no sean carbonatos: principalmente incluyen sulfatos, cloruros y boratos). Se corresponden con las evaporitas (figura 9.14). El proceso se da comúnmente por evaporación de cuencas marinas someras o de lagos salados.

**Figura 9.13.** Las distintas categorías de **rocas sedimentarias detríticas**, junto con los ejemplos más notables.

#### Arcillas

Se denominan arcillitas cuando están cementadas y no presentan una estratificación neta. Están formadas por granos cuyo diámetro es inferior a  $1/256$  milímetros. Dichos granos son silicatos aluminicos (como la caolinita o la clorita) en forma de láminas con cargas eléctricas superficiales, razón por la cual presentan gran afinidad por el agua (una arcilla, aunque no una arcillita, se reblandece y se hincha cuando se sumerge en agua).



#### Limolitas

Están formadas por **limos** (palabra que procede del latín *limus*, "barro"), es decir, por clastos cuyo diámetro está comprendido entre  $1/256$  y  $1/16$  de milímetro.



#### Areniscas

También llamadas **arenas** cementadas. El diámetro de sus granos oscila entre  $1/16$  y 2 milímetros. Cuando se encuentran mezcladas con arcillas y fragmentos de rocas que les confieren un color oscuro se llaman **grauvacas**; cuando están formadas por feldespato y cuarzo en proporción de 1 a 2 se denominan **arcosas**; y cuando están formadas casi exclusivamente por cuarzo se llaman **ortocuarcitas**.



#### Conglomerados

(Del latín *cum*, "con", y *glomus*, "pelota"). Están formados al menos en un 50 por ciento por clastos cuyo tamaño está comprendido entre 2 y 256 milímetros (**cantos** o **guijarros**) o es superior a 256 milímetros (**bloques**). Abarcan desde las **brechas** (con clastos mayoritariamente angulosos), hasta las **pudingas** (con todos los clastos redondeados, como la de la figura).



### Calizas

Están formadas mayoritariamente por **calcita**, un mineral blando de carbonato de calcio que, al añadirle unas gotas de limón, reacciona con una fuerte efervescencia. A veces son de un color blanco puro, como es el caso de la variedad llamada **creta**, pero generalmente tienen el color más o menos grisáceo que puede apreciarse en las estalactitas y estalagmitas de las cuevas.



### Evaporitas

Así llamadas por haberse formado por evaporación de agua de mar, y más conocidas como **rocas salinas**. Entre ellas cabe mencionar al **yeso** (sulfato de calcio hidratado, en la imagen), muy blando –se raya con la uña– y de color a veces transparente, a veces blanco, gris o rosado, y la halita o sal gema (cloruro de sodio), también muy blanda y con un característico sabor salado.



### Carbones y betunes

Los carbones, como el que muestra la ilustración, poseen abundantes restos de plantas. Los **betunes** o asfaltos naturales están constituidos por hidrocarburos –son básicamente, pues, petróleo sólido–. Ambos tienen gran poder calorífico.



Figura 9.14. Algunas de las **rocas sedimentarias no detríticas** más abundantes.

En necesario hacer hincapié en la diferencia existente entre sedimentos y rocas consolidadas: las gravas y arenas son sedimentos (materiales sueltos), mientras que los conglomerados (o brechas) y areniscas son rocas compactas, en las que los granos o clastos están más o menos sólidamente cementados. En las variedades con menor tamaño de grano, los sedimentos no consolidados reciben el nombre de limos, arcillas o lutitas, mientras que las rocas se denominan limolitas o arcillitas respectivamente.

## 1.4. Interés económico de las rocas sedimentarias

El desarrollo de nuestra civilización está ligado sin remedio a la modificación de nuestro entorno y al aprovechamiento de las rocas y minerales que hay en él; en Oriente se han encontrado vestigios de que ya en el siglo VIII a.C. se usaban las rocas en los cimientos de las casas de madera. También en Egipto se encuentran huellas de su empleo como elemento ornamental en el siglo V a.C.

Los usos de las rocas sedimentarias son múltiples y variados, dependiendo de las características de cada uno de los tipos litológicos que acabamos de describir:

1. **Las rocas sedimentarias de origen orgánico** son la base de los llamados combustibles fósiles (carbones y petróleo). Su importancia radica en que proporcionan la mayor parte de la energía que utilizamos (ya desde la edad de bronce), puesto que se requieren pocas transformaciones para que puedan ser usados –sobre todo el carbón– y su combustión genera gran cantidad de energía.



**Figura 9.15.** *Esfinge de Abu el-Hol o "padre del terror". Está realizada en arenisca. Como se puede apreciar, la parte inferior está visiblemente erosionada (por el viento).*

**2. Las rocas sedimentarias detríticas** se utilizan principalmente en la construcción o en procesos industriales. Entre los diversos usos de estas rocas podemos destacar:

- Las gravas sueltas (trituradas) y las arenas, extraídas sobre todo las de las riberas de ríos y de los **canchales** de laderas, se utilizan directamente o en combinación con otros materiales —como el cemento o material bituminoso— en la construcción (edificaciones, obras públicas, aglomerantes asfálticos...).
- Las arenas y areniscas más puras (arenas silíceas) participan en las industrias del vidrio y del silicio.
- Las distintas variedades de arcilla son la principal materia prima de la producción de: ladrillos, tejas, gres... Sin embargo, en la fabricación de loza o porcelana son necesarios, además, feldespato y cuarzo.
- Las rocas ya consolidadas, como las areniscas bien cementadas, son duras y resistentes y se emplean también en construcción, especialmente como "piedra de corte", debido a que son fáciles de trabajar. No obstante, tienen el inconveniente de que son rocas que pueden alterarse más fácilmente que otras (figura 9.15).
- Las pizarras, por su parte, como rocas intermedias entre sedimentarias y metamórficas procedentes de la consolidación de lutitas, se emplean para cubiertas (las de mayor calidad) y para solados y zócalos rústicos (las de menor calidad).

**3. Las rocas sedimentarias de origen químico** admiten un amplio número de formas de utilización, entre las que caen destacar:

- La caliza se usa mayoritariamente en la fabricación de cemento Portland.
- También se emplea la caliza en la fabricación de azúcar (sirve para precipitar impurezas del azúcar).
- En la agricultura, se recurre a la caliza y la dolomita trituradas no solo para reponer el calcio y magnesio extraído y lavado de los suelos, sino también para corregir la acidez del suelo y mejorar las condiciones físicas y microbiológicas del suelo.
- En la elaboración del vidrio de botellas y ventanas, se utiliza cal (óxido de calcio) y calizas con alto contenido en calcio, así como dolomías para vidrios especiales.
- El yeso se usa como fundente cerámico, para la fabricación del yeso de la construcción y como retardante de la solidificación del cemento Portland.
- La halita es uno de los minerales más utilizados en la vida cotidiana. Es un aditivo indispensable en la industria alimentaria (como condimento y conservante), en la industria química (procesado de la sosa, del bicarbonato sódico, del ácido clorhídrico...) y en tecnología (por ser conductora de radiaciones infrarrojas); también interviene en otras industrias como la textil, la maderera y el curtido de piel. Y no olvidemos un uso muy simple pero a la vez muy importante: elimina el hielo y la nieve de las carreteras.

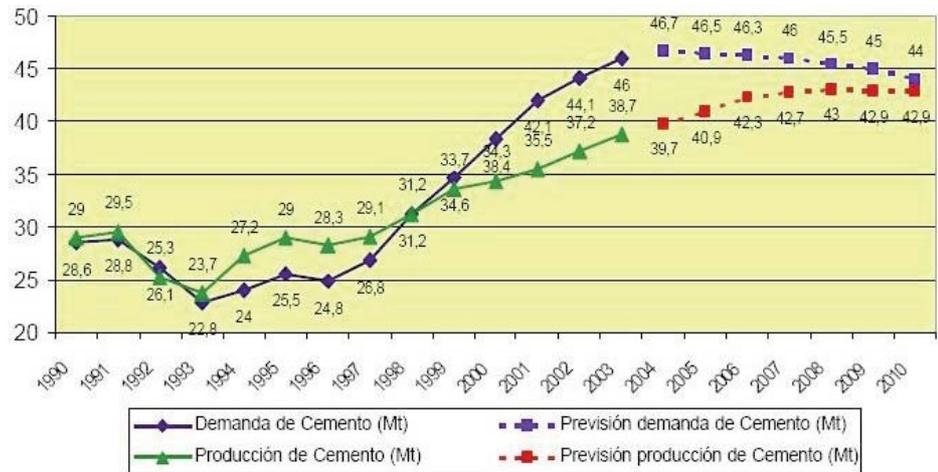


Figura 9.16. Producción y demanda de cemento en España. La caliza, la arena y el yeso, junto con el mineral de hierro, constituyen la materia prima para la fabricación del cemento.



### ACTIVIDADES

1. ¿A qué crees que se debe el hecho de que en los continentes predomine la erosión y en los océanos la sedimentación?
2. A continuación se describen las facies de una serie de sedimentos. Intenta decidir en qué ambiente se han depositado, justificando la respuesta:
  - a) Depósito arriñonado formado por clastos angulosos, desde bloques a arcillas, dispuestos caóticamente; sin fósiles.
  - b) Depósito en el que predominan limos y arcillas; la base del sedimento no presenta rizaduras, pero sí fósiles marinos, mientras que el techo presenta rizaduras y fauna dulceacuícola con señales de vegetación.
  - c) Abanicos formados por cuñas de cantos y conglomerados, arenas y arcilla, dispuestos de forma masiva; fósiles muy escasos.
3. Relaciona las siguientes características con alguno de los tres tipos de rocas sedimentarias (detriticas, no detriticas o de origen orgánico): con clastos; con fósiles frecuentes; se queman; raramente estratificadas; no clasificadas; compactas y rara vez porosas.
4. ¿A qué tipos de rocas corresponden las muestras de las imágenes siguientes?



## 2. Formación de rocas endógenas

Los procesos sedimentarios que acabamos de estudiar pueden dar lugar a rocas de muy diferentes características, pero no todas las rocas se han formado mediante dichos procesos.

El geólogo escocés *sir* James Hall (1761-1832) —no debemos confundirlo con el geólogo estadounidense James Hall que habló de los geosinclinales— calentó caliza (recordemos que es una roca sedimentaria) en barriles presurizados y, sin llegar a fundirse, ésta recrystalizó convirtiéndose en mármol... el mismo que afloraba en la naturaleza en torno a rocas cristalinas encajadas entre rocas calizas. Las rocas como el mármol, obtenidas mediante calor y presión sin dejar de ser sólidas, fueron llamadas **metamórficas** por Charles Lyell.

Por otra parte, Hall fundió rocas similares al basalto en una forja de hierro y observó que si las dejaba enfriar en contacto con el aire obtenía masas vítreas sin cristales apreciables que recordaban a rocas **volcánicas**, formadas también por enfriamiento rápido de lava. Pero si se enfriaban lentamente, simulando lo que debía ocurrir a gran profundidad, los cristales tenían tiempo de crecer y lograba rocas con la **textura** típica del granito; rocas que pronto fueron conocidas como **plutónicas** y que, al tener su origen en el “fuego interior” (*ignis* en latín) recibieron, junto con las volcánicas, el nombre de rocas **ígneas**. Así pues alterando las condiciones de formación podemos variar las características de las rocas y obtener, en consecuencia, un nuevo tipo de roca (figura 9.17).

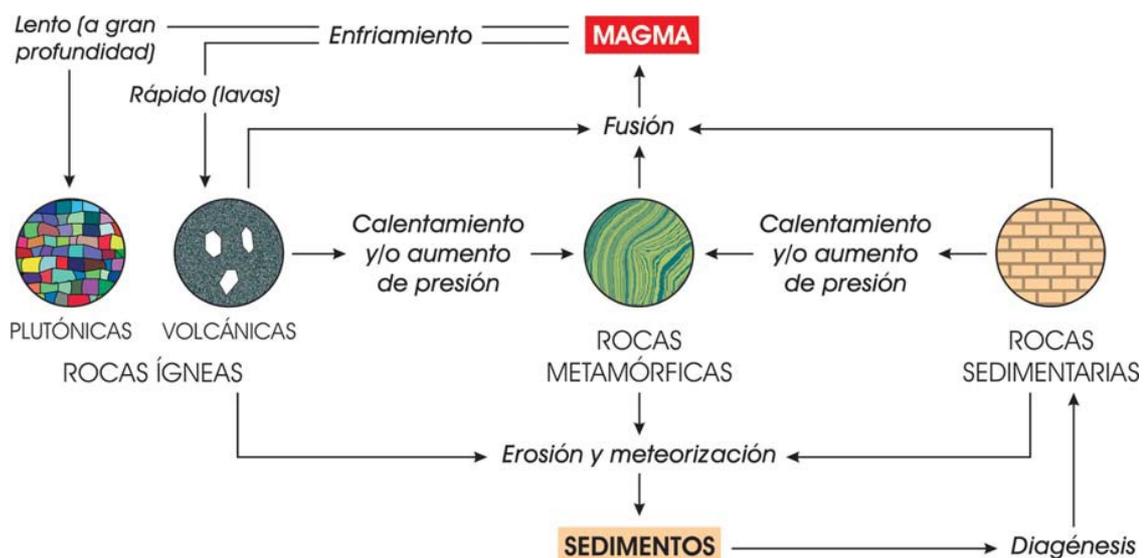


Figura 9.17. Relaciones entre los distintos tipos de rocas.



**Figura 9.18.** *Microscopio petrográfico (en el círculo se puede observar una muestra).*

Los procesos geológicos internos que estudiamos en la Unidad 8 son los responsables, como veremos a continuación, de la génesis de los minerales y rocas endógenas, es decir, originadas en el interior de la Tierra.

## Métodos de estudio de las rocas endógenas

Tradicionalmente, a la hora de estudiar una roca se pueden distinguir dos fases:

- 1. La recogida de muestras**, que implica la anotación de todos los datos que pueden ser interesantes para nuestro estudio: localización, geometría de las unidades magmáticas...
- 2. Trabajo de laboratorio**, que consiste básicamente en:
  - Análisis de componentes mediante el *microscopio petrográfico* (figura 9.18).
  - *Difracción de rayos X* que, como hemos visto en la Unidad 8, nos permite identificar los minerales que constituyen la roca (véase el cuadro de la página 385).
  - *Estudio de las inclusiones fluidas* atrapadas en la roca y que se pueden observar en una sección transparente a través de un *micropolariscopio con luz*. Este estudio es muy interesante, porque las inclusiones fluidas conservan las propiedades químicas y físicas de las soluciones de las que provienen. Se pueden considerar, pues, como muestras directas de las fases volátiles que han circulado por la litosfera a lo largo de los tiempos.
  - *Estudios geoquímicos*, que se realizan en función de los elementos que pueden constituir la roca. Previamente ésta se ha de disgregar, ya sea por **vía húmeda** (disolviendo la roca) o por **vía seca** (triturando la roca). Los componentes obtenidos se analizan mediante diversas técnicas:
    - *Microsondas*, que se utilizan para conocer la composición química de un mineral. La microsonda permite reconstruir la secuencia de cristalización de los distintos minerales.
    - La *espectrometría de masas en acelerador*, que utiliza un acelerador de partículas para medir los isótopos de un elemento (tienen la propiedad de que su proporción relativa no se altera cuando la roca se funde). Estudiando los isótopos podemos conocer el lugar de procedencia.

### 3. Las rocas metamórficas

Como acabamos de ver, el naturalista Hall imitó los procesos naturales para transformar rocas preexistentes —de igual modo se obtienen materiales duros y muy resistentes (azulejos, ladrillos, tejas...), por medio del calentamiento de la arcilla a altas temperatura—. En todos estos ejemplos *estamos transformando la estructura y la composición mineralógica de unos materiales rocosos preexistentes sin llegar a fundirlos*; este proceso recibe el nombre de **metamorfismo**.

Todos los minerales se forman a determinadas condiciones de presión y temperatura bajo las cuales son estables, esto es, están en **equilibrio fisicoquímico**; pero si esas condiciones cambian, también lo hacen los minerales. Y vale la pena recordar que ya hemos estudiado procesos en los que tenía lugar esta reestructuración; por ejemplo, la **meteorización** de las rocas formadas bajo condiciones de presión y temperatura elevadas.

En cierto modo, el metamorfismo es el fenómeno opuesto: ahora van a ser rocas y minerales estables en condiciones generalmente “suaves” los que experimentarán múltiples alteraciones (recristalizaciones, cambios **polimórficos**...) como consecuencia de, por ejemplo, su enterramiento o su calentamiento, que se mantendrán hasta que se llegue a un nuevo estado de equilibrio.

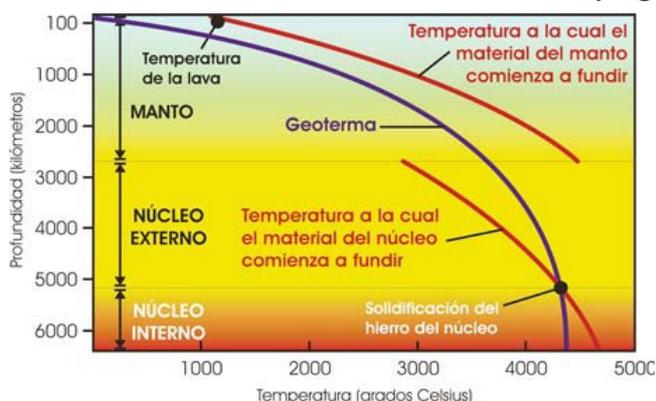
El metamorfismo presenta dos características importantes:

- Engloba **procesos en estado sólido**, con muy pocas fases volátiles involucradas (principalmente agua y dióxido de carbono); se excluyen, por tanto, la fusión o disolución total o parcial de las rocas (que, como veremos posteriormente, son propios del magmatismo).
- El **proceso es isoquímico**, es decir, durante el proceso no se produce ganancia ni pérdida de elementos químicos en cantidades importantes o apreciables; por lo tanto, la composición química volumétrica de la roca es invariable, y las nuevas especies minerales (especies neoformadas) estarán condicionadas por la química original.

#### 3.1. Los factores del metamorfismo

1. **Temperatura.** Como vimos en la unidad anterior, su valor crece con la profundidad a razón de unos 33 grados Celsius por cada kilómetro en promedio. Recuérdese que este **gradiente geotérmico** no se mantiene indefinidamente: a partir de cierta profundidad, el aumento es cada vez menor (figura 9.19).
2. **Presión.** A diferencia de lo que ocurre con la temperatura, la presión aumenta con la profundidad de forma paulatina y constante hasta la base del manto; a partir de aquí el gradiente es algo mayor, y luego vuelve a disminuir en el núcleo interno. Se

debe al peso de los materiales suprayacentes (principalmente otras rocas y agua) que soporta cualquier masa rocosa; esta presión se ejerce en todas las direcciones y se llama **presión litostática**.



**Figura 9.19.** Temperatura de la Tierra en función de la profundidad (geoterma, línea negra) en comparación con el punto de fusión de los materiales a diferentes profundidades (línea roja): en el núcleo externo éste es menor que la geoterma.

En muchos casos hay que añadir la **presión de fluidos** ejercida por el dióxido de carbono y el agua que rellenan los poros de las rocas y que es especialmente notable cuando se produce un aumento de temperatura.

Por último, es de destacar la **presión dirigida** que se produce en los bordes convergentes de placas, y que es consecuencia directa de los desplazamientos de las placas tectónicas.

Sobre las rocas, estos aumentos de presión y temperatura se pueden traducir en múltiples efectos, tales como:

- **Cambios en la estructura cristalina** de los minerales formando nuevas estructuras, más estables en las nuevas condiciones, que pueden dar lugar a minerales polimorfos o producir nuevos minerales (por ejemplo, en la unidad anterior, páginas 404 y 436, veíamos que el aumento de presión era el responsable de la transformación del olivino en espinela, debido a lo cual se podían generar, en último término, terremotos profundos). Como estudiaremos más adelante, también se pueden generar cambios mineralógicos en presencia de agua con iones.
- **Adopción de formas hojosas** (figura 9.20) o en láminas (**foliación**) que, cuando el tamaño del **grano** está comprendido entre 0,25 y 2 milímetros, recibe el nombre especial de **esquistosidad**. Se debe a que algunos minerales se orientan perpendicularmente a la presión ejercida. De forma característica, estas rocas –cuando llegan a la superficie y cambian radicalmente las condiciones de presión y temperatura– se rompen fácilmente por los planos que separan las láminas.



**Figura 9.20.** Disposición en láminas de la filita o "piedra laja", roca procedente del metamorfismo de las arcillas cuyos granos no se aprecian a simple vista. Tiene estructura hojosa y brillo sedoso plateado.

El **grado de metamorfismo** es un término usado para dar una medida relativa de la intensidad que alcanzaron los procesos metamórficos. Por ejemplo, para el caso de la temperatura el **metamorfismo** en un área determinada puede ser de **grado bajo** o **muy bajo** (de 200 a 450 °C), de **grado medio** (de 450 a 650 °C) y de **grado alto** (de 650 °C hasta el inicio de la fusión).

Según se producen las transformaciones metamórficas, el tamaño del grano de la roca va creciendo progresivamente. Es decir, en las rocas, cuanto mayor es el grado de metamorfismo, mayor es el tamaño de grano.

### 3.2. El metamorfismo en la tectónica de placas

Hemos visto que los factores principales del metamorfismo son la **presión** y la **temperatura**. Estos factores están muy ligados a los procesos derivados de la dinámica terrestre, especialmente los relacionados con los bordes de placas. Los principales tipos de metamorfismo en este contexto son:

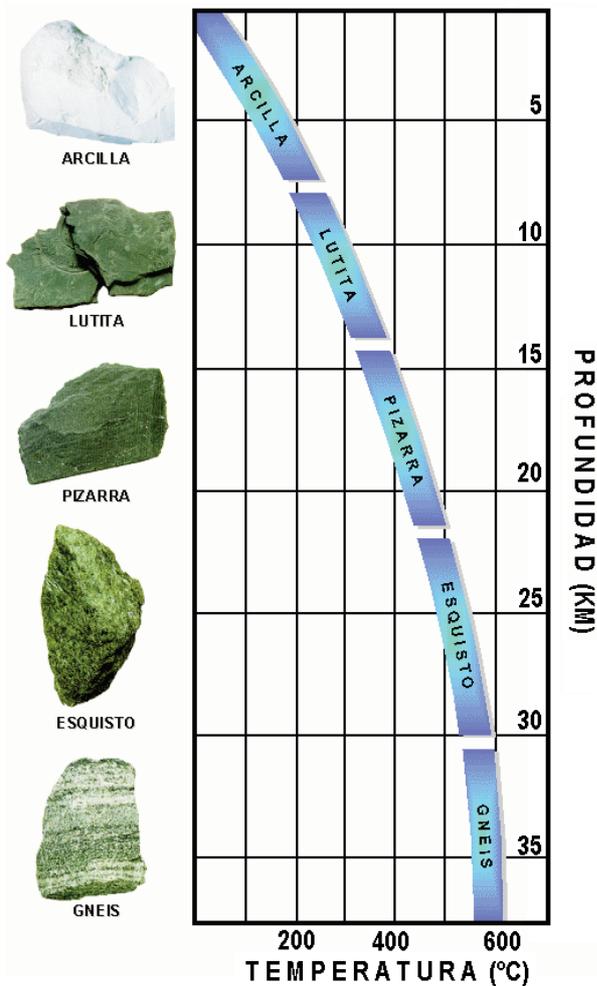


Figura 9.21. Distintas fases del metamorfismo de la arcilla conforme aumenta la presión y la temperatura.

**1. Metamorfismo de enterramiento o de carga.** Se debe exclusivamente a la presión litostática. Recuérdese que, cuando estudiábamos la **diagénesis**, afirmábamos que este proceso –que da lugar a **rocas sedimentarias**– se debe, en buena medida, al peso de los sedimentos situados por encima de aquél que se está compactando. Realmente, los límites entre la diagénesis y el metamorfismo de enterramiento no están nada claros; por convenio se ha fijado en 3 kilobares la presión mínima que debe experimentar una roca para que se pueda hablar de metamorfismo –por lo tanto, el espesor de los sedimentos ha de ser superior a 10 kilómetros–.

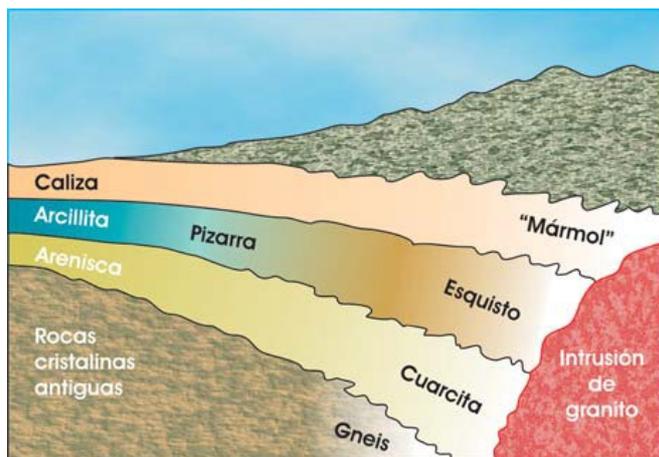
Este tipo de metamorfismo *afecta a amplias zonas de la corteza, entre ellas las de **subsistencia***. En estas condiciones, el grado de metamorfismo es muy bajo, por lo que a menudo la roca metamórfica originada conserva la estructura de la roca primitiva o, en caso de modificarla, no presenta orientación alguna.

En ocasiones, no obstante, el peso de la roca puede generar una presión lo suficientemente grande como para lograr que los minerales se reorienten, adquiriendo la roca una leve **esquistosidad**.

**2. Dinamometamorfismo.** Es el resultado de la deformación que se *produce en las zonas de falla*.

Es, pues, un metamorfismo muy localizado, caracterizado por valores intermedios de temperatura y altos de presión, por lo que el metamorfismo ocasionado es de grado bajo. En ocasiones, parte de la roca triturada es transformada por el calor producido por el rozamiento y se puede producir, por lo tanto, una recristalización de minerales. Este último caso es un claro ejemplo de metamorfismo de grado medio y alto.

**3. Metamorfismo térmico o de contacto.** Aquí el factor que actúa es la temperatura, lo que provoca el predominio de la recristalización mineral sobre la deformación. Es un tipo de



**Figura 9.22.** Metamorfismo de contacto, producido por la intrusión de granito (roca formada por enfriamiento lento de magma) en diferentes rocas sedimentarias. Se forman una serie de rocas metamórficas en disposición concéntrica (aureola de metamorfismo), tales como mármol, esquisto o cuarcita. El grado de metamorfismo disminuye con la distancia al foco térmico.

metamorfismo localizado que tiene lugar alrededor de masas magmáticas que ascienden entre rocas encajantes de la corteza terrestre y se encuentran a una temperatura mucho menor (figuras 9.21 y 9.22). El resultado del contacto del magma a altas temperaturas y la roca fría es la aparición de una serie de rocas distintas dispuestas en zonas concéntricas, alrededor del cuerpo magmático. Esta formación se denomina **aureola metamórfica** y se caracteriza por la presencia de diferentes **minerales índice** (minerales estables a determinada temperatura), formados a temperaturas progresivamente menores conforme nos alejamos del foco térmico. Los minerales de las zonas afectadas pueden experimentar recristalización para adaptarse a las nuevas condiciones, formándose otros minerales.

4. **Metamorfismo aloquímico (metasomatismo).** Este metamorfismo podría considerarse como un caso especial de metamorfismo de contacto, puesto que se produce cuando algunas intrusiones magmáticas, sobre todo graníticas, aportan iones como cloruros, fluoruros o sodio y vapores de agua y dióxido de carbono a las rocas de la aureola de contacto. Se provoca entonces un cambio en la composición química de los minerales. Este tipo de metamorfismo *aparece en las dorsales oceánicas, orógenos y puntos calientes* (en cualquier zona en donde se produzca una actividad magmática importante).
5. **Metamorfismo de fondo oceánico.** Se produce en las dorsales y afecta a la corteza oceánica recién formada en el eje de la dorsal, aunque sus efectos se reconocen en toda la cuenca oceánica (recuérdese que las dorsales son zonas de expansión de los fondos oceánicos). Esta corteza joven presenta todavía temperaturas muy altas; el agua de mar que circula por sus grietas se calienta y actúa sobre las rocas encajantes, produciendo una recristalización. La salida a la superficie del agua cargada de minerales metálicos origina fuentes termales.
6. **Metamorfismo regional.** Es un metamorfismo muy complejo, aunque es el más característico y conocido de todos. Se encuentra sobre los continentes (*en relación con la orogénesis*) y genera las rocas típicamente metamórficas; en él se produce la acción combinada de la temperatura y la presión, con valores muy variados (entre los 200 y los 700 °C, y de 2 a 10 kilobares de presión); en la ilustración 9.21 podemos observar el metamorfismo de las arcillas que dará finalmente origen al gneis, una de las rocas más características del metamorfismo regional.

En este tipo de metamorfismo se produce una gran diversidad de subtipos –algunos de los cuales pueden originar estructuras características de otros tipos de metamorfismo–. Además, las presiones dirigidas que se dan originan una intensa esquistosidad (véase el gneis de la figura 9.23).



**Figura 9.23.** En la fotografía de la izquierda podemos ver la *estilbina*, una zeolita. Las zeolitas son un grupo de minerales (tectosilicatos) que tienen como característica principal que desprenden agua cuando se les calienta a temperaturas bajas, dejando intacta la estructura del mineral.

En la fotografía de la derecha observamos un *gneis*, roca típica del metamorfismo regional. En las bandas oscuras abundan las biotitas, granates, piroxenos y anfíboles. En las claras, el cuarzo y los feldespatos.

### 3.3. Clasificación de las rocas metamórficas

La clasificación y nomenclatura de una roca metamórfica es relativamente sencilla y depende del conocimiento disponible acerca de su **protolito**, es decir, la roca de la que procede. Podemos hallarnos ante las siguientes circunstancias:

1. Se desconoce la naturaleza del protolito. En tal caso, la roca puede clasificarse según los minerales que predominen en ella o según su textura:
  - A. Según los minerales predominantes. Existen tres grupos de rocas:
    - **Anfibolitas.** Están formadas sobre todo por anfíboles y plagioclasas, y se desconoce si su protolito es ígneo o sedimentario.
    - **Eclogitas.** Constan en más de un 70 por ciento de granate y piroxenos; no contienen plagioclasas. Resultan del metamorfismo a elevada presión de rocas gabroicas o basálticas.
    - **Mármoles.** Son rocas compuestas en gran medida por silicatos cálcico-magnésicos o por carbonatos, pero sin que se conozca la proporción relativa de ambos grupos de minerales.



**Figura 9.24.** Algunos ejemplares de rocas metamórficas, todas ellas de Galicia. Izquierda: **anfibolita** de Punta Caindieira. Centro: **esquisto** micáceo con abundante contenido en cuarzo (color blanco) de la Playa de Balea-Bizocas. Derecha: **gneis** "ollo de sapo" de la playa de Bares, con cristales de feldespato que pueden alcanzar los 10 o 12 centímetros.

**B. Según los atributos texturales.** Se pueden reconocer rocas tales como:

- Las **pizarras**, de grano fino (menos de 0,25 milímetros de diámetro) y fácilmente escindibles en láminas planas, debido a la orientación preferente de la mayoría de sus minerales (**foliación**).
  - Los **esquistos**, de grano medio (entre 0,25 y 2 milímetros) y, asimismo, fuertemente foliados y divisibles en escamas o placas.
  - Los **gneises**, como los esquistos, pero de grano grueso (por encima de 2 milímetros) y foliación más irregular.
2. Se conoce la clase de roca en la que se encuadraba el protolito, pero no se puede determinar éste con precisión; es decir, solo sabemos que el protolito era una roca sedimentaria o ígnea, pero no sabemos cuál. Si se conocen sus minerales predominantes se pueden clasificar según estos –por ejemplo, **cuarcitas** (con más de un 80 por ciento de cuarzo) o **rocas metamáficas** (con un 35 a un 90 por ciento de **minerales máficos**)–; en caso contrario se recurre a la textura, anteponiendo el prefijo **orto-** o **para-** según el protolito sea de origen ígneo o sedimentario (**ortogneis, paraesquisto...**).
  3. Se conoce con precisión la naturaleza del protolito. En este caso basta con anteponer el prefijo **meta-** al nombre de la roca o sedimento que ha experimentado metamorfismo (por ejemplo, **metacaliza, metabasalto...**).

### 3.4. Usos de las rocas metamórficas

Las características de las rocas metamórficas hacen que sean especialmente adecuadas para la construcción. Así por ejemplo:

- Las pizarras y las filitas (las filitas son rocas similares a las pizarras, pero de grano más grueso) se utilizan en láminas para cubrir los tejados de pequeños edificios.
- Algunos tipos de esquistos se emplean en edificación, en especial para el cubrimiento de tejados. Los esquistos calcá-



Figura 9.25. *Serpentina.*



Figura 9.26. *Cantera de mármol.*

reos presentan, en ocasiones, cristales de mármol que pueden ser explotados industrialmente.

- Algunos gneises se utilizan en la pavimentación de carreteras, baldosas, aceras...
- La anfibolita se emplea como piedra ornamental de forma ocasional.
- La serpentina se usa con frecuencia en láminas pulimentadas para revestimiento.
- El mármol es de gran importancia en la construcción tanto en forma bruta como pulimentada. Los mármoles representan la materia prima más frecuentemente utilizada en la escultura. Con menos asiduidad se emplean en la fabricación de cal y en la industria química. Debido a su solubilidad, el mármol es una roca que rápidamente se altera por meteorización en las regiones húmedas.
- La cuarcita es una roca muy resistente a la meteorización y a la erosión; posiblemente es la más resistente de las rocas. Se utiliza a menudo para pavimentación. Puede emplearse también en la industria del vidrio, en cerámica y en la fabricación de refractarios ácidos.

## 4. Las rocas magmáticas o ígneas



Figura 9.27. *El Etna, en Sicilia, es en la actualidad uno de los volcanes más activos; sus erupciones son muy espectaculares y arrojan una gran cantidad de gases y otros productos.*

Desde la más remota antigüedad los **volcanes** han causado curiosidad y admiración –tanto es así que Plinio el Viejo (23-79 d.C.) murió cuando observaba la erupción del Vesubio que destruyó Pompeya–. Este ejemplo nos indica que, aunque las erupciones volcánicas carecen del potencial destructivo de los terremotos, algunas presentan gran peligrosidad. Sin embargo, el origen de este fenómeno geológico no ha sido desvelado hasta tiempos muy recientes.

### 4.1. Origen de los magmas

Los magmas son mezclas de rocas fundidas y gases que, habitualmente, están formados por los siguientes componentes:

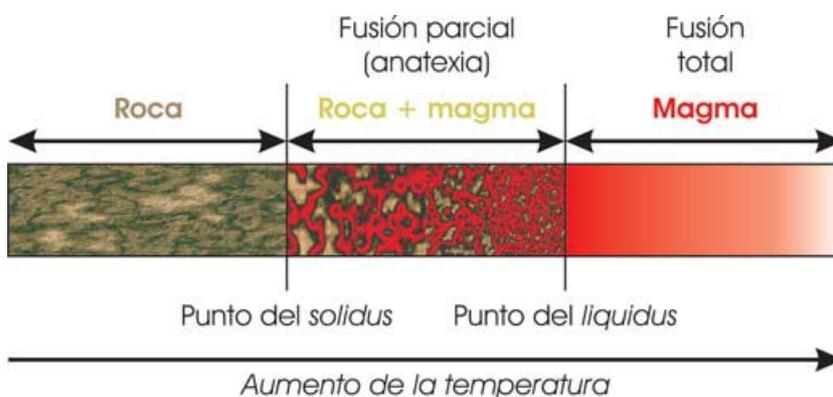
- Una **fase líquida** mayoritaria, generalmente constituida por silicatos fundidos (aunque hay otras posibilidades, como es el caso de los magmas carbonatados) con proporciones variables de diversos elementos: magnesio, hierro, calcio, sodio, potasio, oxígeno, silicio y aluminio.
- Una **fase gaseosa**, formada principalmente por agua y dióxido de carbono, aunque puede haber otros componentes volátiles como cloruro de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, nitrógeno...

## Formación de magmas primarios

El paso de sólido a líquido necesario para que se forme magma implica una expansión de la materia. En condiciones normales, las capas internas de la Tierra son sólidas porque, a pesar de las altas temperaturas reinantes, la presión litostática impide la expansión de la materia y, por lo tanto, no tiene lugar el cambio de estado. La fusión de los materiales puede producirse por tres mecanismos básicos:

- **Una disminución de la presión litostática** que tiene lugar, por ejemplo, cuando se forman grietas, lo cual permite que la materia se pueda expandir y, en consecuencia, cambiar de estado.
- **Un incremento notable de temperatura**, como el generado por la fricción de una placa que subduce, que compense la presión existente.
- **La presencia de agua**, que disminuye la temperatura necesaria para fundir las rocas.

Hemos de tener en cuenta que cada uno de los minerales petrogenéticos presenta un **punto de fusión** característico y distinto de los demás. Por esta razón, la roca no se funde homogéneamente, sino que presenta un intervalo de fusión comprendido entre el **punto del *solidus*** (temperatura de comienzo de fusión) y el **punto del *liquidus*** (temperatura a la que toda la roca está fundida), entre los cuales tendremos en todo momento una mezcla de masa fundida y no fundida.



**Figura 9.28.** Intervalo de fusión de una roca. La roca sufre anatexia o fusión parcial cuando su temperatura supera su punto de *solidus* y fusión total cuando supera el de *liquidus*.

Lógicamente, la fusión comienza por el mineral que presente la temperatura de fusión más baja y termina con el que la presenta más alta. La presencia de agua hace que se rebaje el punto del *solidus* en 300 o 400 grados Celsius.

A estos magmas formados *in situ* en el manto o en la corteza, y que aún no han sufrido los procesos de diferenciación que veremos seguidamente, se les denominan **magmas primarios**. Los geólogos reconocen dos tipos de magmas primarios (hay dudas acerca de un tercero, que aquí no estudiaremos) que veremos a continuación.

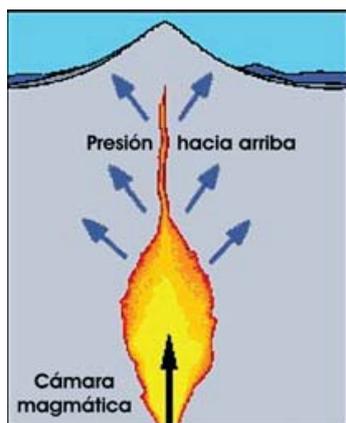


Figura 9.29. El magma menos denso sube y tiende a expandirse; en este proceso intervienen los fluidos. Al enfriarse el magma origina una roca ígnea que queda englobada entre las rocas circundantes.

1. **Magmas basálticos**, con un contenido bajo –aproximadamente del 50 por ciento– en dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ); son magmas poco viscosos, y sus temperaturas son altas (900 a 1.200 °C).
2. **Magmas silíceos o graníticos**, con un alto contenido en  $\text{SiO}_2$  –aproximadamente entre un 65 y un 77 por ciento–, muy viscosos, y que se encuentran a menos de 800 °C.

La **viscosidad** del magma está condicionada fundamentalmente por la cantidad de dióxido de silicio presente; esto es debido a que este compuesto forma tetraedros que tienden a unirse (polimerizarse) incluso antes de la cristalización de los minerales, de forma que el aumento en el número enlaces produce un aumento en la viscosidad del magma.

## 4.2. Evolución de los magmas

Una vez formados en el interior de la Tierra, los magmas tienden a ascender a la superficie, como consecuencia de que su densidad es menor que la de las rocas que los rodean. Además, la presencia de una fase gaseosa más o menos abundante hace que los magmas aumenten su volumen y ejerzan una presión sobre las rocas circundantes (figura 9.29).

La velocidad de ascenso dependerá de la presión de los fluidos, pero, sobre todo, de la viscosidad del magma (cuanto más viscoso sea, más lenta es la subida). Así, podrán existir algunos magmas del manto superior que ascienden rápidamente a la superficie, aunque, por lo general, su ascenso es lento (en promedio, la velocidad de ascenso es aproximadamente de un metro al año) y en muchos casos no llegan a alcanzar la superficie, quedando acumulados a pocos kilómetros de profundidad en las llamadas **cámaras magmáticas**.

Los magmas generados en capas más profundas ascienden muy lentamente, e incluso pueden quedar estacionados durante un tiempo, geológicamente hablando, bastante largo. (Recuérdense las “islas térmicas” que se originan cuando los penachos magmáticos generados en el nivel D’ se detienen en el manto superior, dando lugar a las zonas de baja velocidad de ondas sísmicas (véase la Unidad 8).

## Formación de magmas derivados

Durante el ascenso y, especialmente, en la estancia en las cámaras magmáticas, se producen una serie de procesos que, en ocasiones, cambian la composición química del magma primario y originan los denominados **magmas derivados**, cuya composición puede ser muy diferente al magma primario.

Estos procesos son los siguientes:

1. **Diferenciación magmática**. Conforme disminuye la temperatura se forman núcleos de cristalización y se van generando minerales, comenzando por los que presentan mayor punto de fusión (de modo similar a lo ilustrado en el cuadro “¿Qué hay de cierto

La viscosidad es la resistencia interna de un fluido a las deformaciones graduales producidas por tensiones tangenciales. Se manifiesta como la resistencia al flujo por rozamiento interno.

en las series de Bowen?", en esta misma página). Si este proceso (llamado **crystalización fraccionada**) no es interrumpido, al final se forma una roca con la misma composición que el magma inicial; pero si los cristales formados se separan (porque se depositen en el fondo o en las paredes de la cámara magmática, debido a la diferencia de densidad o al transporte por fluidos), el magma primario queda empobrecido en determinados elementos y tendremos, pues, un magma residual cuya composición difiere del primario.

2. **Asimilación.** Durante el ascenso, el magma puede fundir rocas del borde de la cámara, que serán integradas en el magma primario, modificando su composición en función de la naturaleza química de la roca asimilada.
3. **Mezcla de magmas.** Sucede fundamentalmente durante la estancia en cámaras magmáticas, como consecuencia del aporte de nuevas porciones de magmas primarios (que migran por diversas causas, generalmente tectónicas) que cambian la composición del magma allí acumulado.

**¿QUÉ HAY DE CIERTO EN LAS SERIES DE BOWEN?**

El petrólogo canadiense Norman Levi Bowen (1887-1956) propuso en 1928 que, en algunos magmas basálticos, los minerales cristalizan según un orden bien definido:

CRISTALIZACIÓN DE MINERALES                      FORMACIÓN DE SERIES DE ROCAS

Una de estas secuencias afectaba a los minerales oscuros y se le dio el nombre de **serie discontinua**, así llamada porque, a medida que baja la temperatura, los minerales dejan de ser estables y se combinan bruscamente con el dióxido de silicio para formar otro mineral estructuralmente distinto (por ejemplo,  $\text{olivino} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{piroxeno}$ ); de esta manera se originan los minerales ferromagnesianos. La otra secuencia incluía minerales claros y se denominó **serie continua** porque en ella se producen sustituciones de cationes sin alterar su estructura. Por ejemplo, el calcio se sustituye progresivamente por sodio al descender la temperatura, y se originan así los **feldespatos**.

Hay que matizar algunos aspectos de estas series. La primera observación es que solo son válidas, en realidad, para los magmas basálticos que se forman en las dorsales (en los basaltos insulares oceánicos, por ejemplo, casi nunca se encuentran minerales como la biotita). En segundo lugar, *no hay que interpretar una serie de Bowen como si unos minerales se convirtieran en otros* (si así fuese solo encontraríamos en los basaltos los últimos minerales de la serie), sino que cada mineral se añadiría a los anteriores cuando tuviesen lugar los correspondientes procesos de diferenciación magmática. Así, a partir de magmas primarios se originan diferentes **series de rocas ígneas**.

## Fenómenos volcánicos

La actividad volcánica es la manifestación en superficie de los procesos magmáticos. Como sabemos, el principal fenómeno volcánico es la **erupción**, o sea, la salida a la superficie del planeta del magma. Hay una gran variedad de factores que controlan esta salida; algunos son propios de la composición del magma, mientras que otros son independientes de ella (por ejemplo, la estructura a través de la cual se produce la salida del magma, el carácter aéreo o submarino de la erupción...). Todo ello condiciona la naturaleza del proceso eruptivo, así como el tipo de rocas que se forman durante el mismo. También la composición del magma limita el proceso eruptivo de diferentes formas:

- Como hemos visto, los magmas graníticos son más viscosos que los basálticos, debido a su alto contenido en  $\text{SiO}_2$ . A su vez, los magmas menos viscosos suelen dar origen a erupciones tranquilas, con un flujo de lava continuo, mientras que las erupciones de los más viscosos son mucho más violentas, debido a la dificultad del magma para fluir. Por esta razón se producen interrupciones en su flujo, de manera que se acumulan hasta llegar a un momento crítico en el que ocurren erupciones explosivas.
- El contenido en gases también condiciona la violencia de las erupciones. Los magmas ricos en compuestos volátiles se relacionan con procesos eruptivos violentos, debido a su brusca liberación. Además, transportan diversos materiales volcánicos (rocas, cenizas...).

### 4.3. El magmatismo en la tectónica de placas

La formación de magmas está directamente relacionada con la tectónica de placas, aunque el tipo de magma va a variar en función del ambiente de formación:

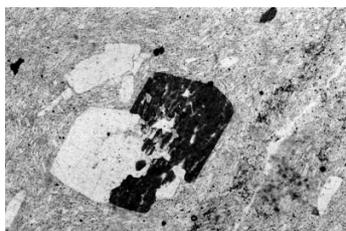
- 1. Magmas basálticos.** Son magmas primarios generados por la fusión de las **peridotitas** del manto. Van a originar rocas basálticas. Podemos diferenciar dos clases:
  - a. Magma toleítico.** Muy rico en  $\text{SiO}_2$  y se forma típicamente en las dorsales oceánicas a una profundidad de 30 a 40 kilómetros.
  - b. Magma alcalino.** Es un magma pobre en  $\text{SiO}_2$ , pero con gran cantidad de elementos alcalinos como el sodio y el potasio. Estos magmas aparecen en zonas de intraplaca (puntos calientes). Se forman a grandes profundidades, probablemente cerca del núcleo (nivel D'').
- 2. Magmas silíceos.** Estos magmas primarios se forman en zonas de subducción, por lo que proceden, bien de la fusión parcial de la litosfera oceánica de la placa que subduce, bien de la fusión de la corteza continental y del manto subyacente de la placa que queda por encima de la que subduce. Originan **granitos** y rocas similares.



**Figura 9.30.** *Textura fanerítica.* "Gabbro pmg ss 2006" by No machine-readable author provided. Siim assumed (based on copyright claims). - No machine-readable source provided. Own work assumed (based on copyright claims).. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons.



**Figura 9.31.** *Textura microcristalina.*



**Figura 9.32.** *Textura porfídica.* "Photomicrograph-porphyrific-aphanitic-felsic-rock-USGS" by United States Geological Survey. Licensed under Public Domain via Commons.

**3. Magmas andesíticos.** Son magmas ricos en dióxido de silicio y en minerales hidratados. Se encuentran en todos los bordes convergentes de placa y se forman a profundidades de 50 a 70 kilómetros. Su origen es muy complejo, hasta el punto de que no hay acuerdo en si son magmas primarios. Forman rocas como las **andesitas**.

**4. Magmas riolíticos.** Son magmas muy viscosos que se producen por fusión parcial del granito que se halla en la base de la corteza continental. Este magma granítico se traslada desde su origen hasta la superficie pero, generalmente, no llega a alcanzarla, sino que se enfría y forma grandes intrusiones llamadas **batolitos** (figura 9.61, página 488). Las rocas que se forman son las **riolitas**.

En todos los casos mencionados, los procesos magmáticos son los responsables del crecimiento de la corteza continental.

#### 4.4. Clasificación de las rocas magmáticas

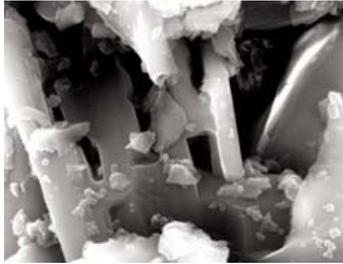
Los magmas pueden solidificarse en el interior de la Tierra y formar **rocas plutónicas** o **intrusivas**, o en el exterior y formar **rocas volcánicas**. Las condiciones de solidificación son diferentes en ambos casos y, por lo tanto, los resultados también. Con características intermedias nos podemos encontrar las **rocas filonianas** o **subvolcánicas**.

Cada uno de estos tipos de rocas presenta una **textura** diferente, en función de la velocidad de enfriamiento del magma y, consecuentemente, la formación de cristales. Así podemos diferenciar las siguientes texturas:

- **Fanerítica**, del griego *phaneros* (visible). Los cristales que forman la roca pueden reconocerse a simple vista. Se produce porque el magma se ha enfriado lentamente, permitiendo la formación de cristales. Es típica de rocas plutónicas (figura 9.30).
- **Afanítica**, término en el que el prefijo *a* indica negación, por lo que *a phaneros* significa no visible. En este caso, no se forman cristales o éstos no pueden reconocerse a simple vista, siendo necesario utilizar una lupa o un microscopio petrográfico para observarlos. Es típica de rocas formadas por enfriamiento rápido del magma. Dentro de este grupo podemos diferenciar la textura **microcristalina** (figura 9.31), cuando los cristales son reconocibles con el microscopio, y la textura **vítrea** o **criptocristalina**, cuando los materiales no presentan cristalización.
- **Porfídica**, si se observan una serie de cristales de gran tamaño, denominados **fenocristales**, englobados en una matriz formada por cristales de un tamaño sensiblemente menor (figura 9.32).

En función del tamaño, composición y textura, podemos agrupar las rocas y detritos ígneos en:

**1. Depósitos y rocas volcanoclásticas.** Abarca esta categoría a aquellas rocas y sedimentos no consolidados formados, al menos en un 10 por ciento, por **fragmentos piroclásticos**. Éstos se



**Figura 9.33.** Microfotografía de ceniza volcánica arrojada durante la erupción del monte St. Helens (Washington) en 1980.



**Figura 9.34.** Tefra a base de lapilli formada durante la erupción del Kilauea (Hawái) en 1790.



**Figura 9.35.** Granito, una roca cristalina plutónica.



**Figura 9.36.** Basalto.



**Figura 9.37.** Pórfido, en el que se observan grandes cristales esparcidos en una masa de cristales microscópicos (textura porfídica).

originan cuando los gases, al escapar violentamente de la parte superior de la chimenea del volcán, fragmentan el magma –que está enfriándose rápidamente– y lo lanzan a gran altura en forma de **cenizas** (inferiores a 2 milímetros de diámetro), **lapilli** (entre 2 y 64 milímetros), **bloques** (mayores de 64 milímetros y con contorno anguloso) y **bombas** (como los bloques, pero redondeados). Los fragmentos se depositan en capas muy extensas, que pueden llegar a consolidarse como cualquier roca sedimentaria. Se clasifican en tres tipos:

- **Rocas piroclásticas** (si se han consolidado) y tefra (en el caso contrario). Más del 75 por ciento de su volumen consta de piroclastos; el resto incluye sedimentos de otro tipo.
- **Tobas.** Contienen entre el 25 y el 75 por ciento de piroclastos.
- **Sedimentos y rocas volcánicas** (en sentido estricto), con menos de un 25 por ciento de fragmentos piroclásticos. A veces se clasifican entre las rocas sedimentarias.

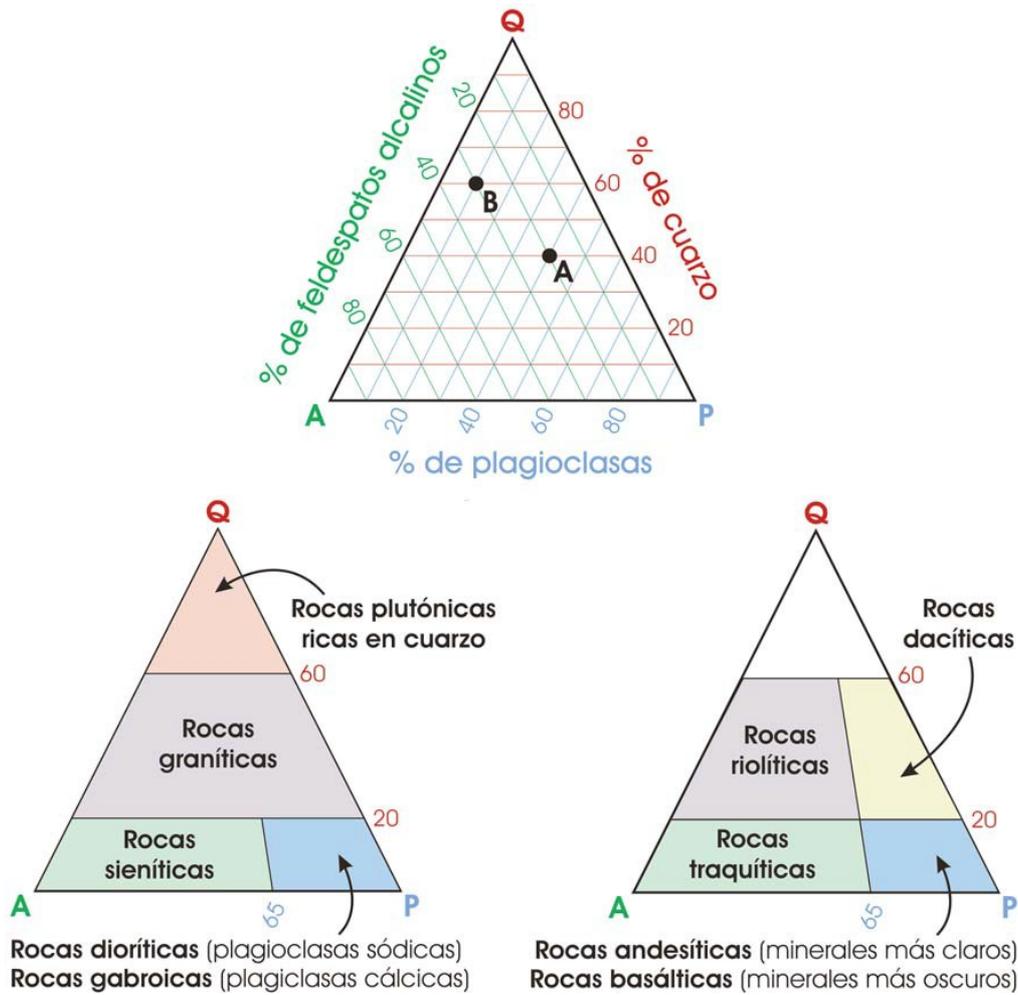
**2. Rocas ígneas cristalinas.** Están formadas por la cristalización de magma. Se clasifican, atendiendo al tipo de minerales que las integran, en:

**a. Rocas ígneas cristalinas “normales”.** Son las que tienen como minerales *esenciales* (esto es, los que se hallan en más del 5 por ciento) al cuarzo, a las plagioclasas, a los feldespatos alcalinos como la ortosa, a los minerales **máficos** u oscuros (olivino, piroxenos, anfíboles, biotita o mica negra...) – todos ellos explicados en la figura 8.24–, así como a los denominados **feldespatoides** (que son incompatibles con el cuarzo). Según el tamaño de sus cristales se clasifican en:

- **Rocas plutónicas.** Son aquellas en las que el tamaño de los cristales es de al menos 0,25 milímetros (visibles a ojo desnudo). Típicamente presentan **textura fanerítica**. La figura 9.38 explica cómo se clasifican estas rocas.
- **Rocas volcánicas.** La mayoría de los cristales son indistinguibles a simple vista (**textura microcristalina**), si bien a veces presentan algunos **fenocristales** (**textura porfídica**). En la figura 9.38 se indica su método de clasificación.

**b. Rocas ígneas cristalinas “exóticas”.** Son aquellas cuya composición química o mineral es atípica, y no pueden clasificarse utilizando diagramas como los que aparecen en la figura antes citada. Entre ellas cabe citar:

- **Carbonatitas,** formadas en más del 50 por ciento por carbonatos. Son propias de asentamientos volcánicos profundos.
- **Lamproitas,** con cantidades importantes de minerales de titanio.
- **Kimberlitas.** Poseen grandes cristales de olivino como mineral predominante. Forman estrechas chimeneas o “pipas”, muy conocidas por ser las principales fuentes de diamantes del mundo.



**Figura 9.38.** Para clasificar a las rocas ígneas se emplea un diagrama triangular, en cada uno de cuyos lados se mide el porcentaje de determinados minerales esenciales. Por ejemplo, el punto A en la figura superior simboliza a una roca en la que un 40 % de sus minerales de color claro son de cuarzo (Q), un 40 % de plagioclasas (P) y un 20 % de feldespatos alcalinos (A); en la roca del punto B hay un 60 % de Q, un 10 % de P y un 30 % de A. En las figuras inferiores se clasifica a las rocas plutónicas (izquierda) y volcánicas (derecha) que carecen de feldespatoides y tienen menos de un 90 % de minerales máficos.

### 4.5. Usos de las rocas magmáticas

Las rocas ígneas poseen una serie de características (afloramientos de gran tamaño, resistencia a los procesos erosivos...) que les hace idóneas para ser utilizados en estado natural, especialmente como materiales de construcción. Podemos destacar, por ejemplo:

- Las rocas de la familia del granito y de las dioritas se emplean universalmente en construcción, adoquines, aceras, balaustradas..., y también en la ornamentación. Algunas rocas que tienen textura porfídica se usan como material de decoración.
- Los gabros con olivino frecuentemente se encuentran relacionados con importantes yacimientos de cromo, níquel, cobalto y platino (todos ellos presentan múltiples aplicaciones); y además representan, al igual que la dunita, una importante fuente de olivino que es utilizado en los altos hornos.



**Figura 9.39.** "Pipa" de kimberlita en Sudáfrica, completamente excavada en busca de diamantes.

- Las peridotitas frecuentemente contienen metales como cromita, níquel y metales raros.
- De las kimberlitas se obtienen diamantes (figura 9.39).
- Las pegmatitas son rocas de importancia comercial que se asocian a minerales de gran interés económico como el topacio, la turmalina (sus propiedades piezoeléctricas hacen que se puedan utilizar en la fabricación de calibradores de presión; también es muy apreciada en joyería), la uraninita (de la que se extrae el uranio utilizado, por ejemplo, en las plantas nucleares) y diversas variedades de berilo (esmeraldas, aguamarinas...). También se obtienen algunos silicatos como el **cuarzo** (del que se extraen los cuarzos piezoeléctricos para radiotecnología) y **micas** (para aislantes).



## ACTIVIDADES

- ¿Qué causas, en relación con la tectónica de placas, producen un aumento de presión capaz de modificar una roca?
- Los minerales metamórficos formados a alta presión y baja temperatura tienen bastante agua en su estructura. ¿A qué se debe este fenómeno?
- Indica qué tipo de metamorfismo se daría en los siguientes lugares:
 

a. En una zona de subducción.	d. En una zona intraplaca.
b. En el fondo de los océanos.	e. En una chimenea volcánica.
c. En una falla.	f. En un arco insular.
- ¿Cuándo se produce la cristalización de un mineral en el magma?
  - ¿Por qué es fraccionada esta cristalización?
  - ¿Por qué la diferenciación magmática es consecuencia de la cristalización fraccionada?
- Señala el orden de alteración, ya sea por meteorización o por metamorfismo, que se produciría entre los minerales de la serie de Bowen. Razona la respuesta.
- ¿Sería posible encontrar juntos el cuarzo y el olivino? Razona la respuesta.
- Una de las texturas de las rocas ígneas es la profídica. Da una posible explicación sobre su proceso de formación.
- Clasifica las rocas ígneas cuyas características se citan a continuación:
  - Roca con textura fanerítica, constituida por un 32% de cuarzo, 40% de ortosa, 8% de plagioclasa, 13% de biotita y 7% de piroxenos.
  - Roca con textura microcristalina, formada por un 70% de **minerales máficos** y un 30% de minerales claros, de éstos, un 12% es cuarzo, un 7% es ortosa y un 81% son plagioclasas.

## 5. La deformación de las rocas



**Figura 9.40.** Estratos plegados y fallados (foto cmm).

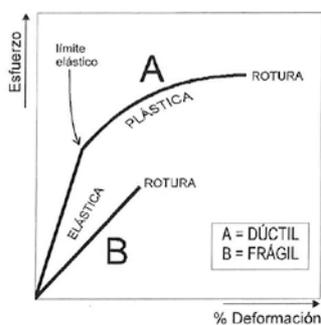
Una de las consecuencias de la dinámica generada por la energía interna del planeta es la transformación de los materiales geológicos, que puede tener carácter físico-químico, como es el caso del magmatismo y el metamorfismo, o ser puramente mecánica.

Las rocas presentes en la litosfera muestran deformaciones mecánicas (figura 9.40) que pueden consistir en cambios de **volumen** (contracción-compresión o dilatación-distensión) o de **forma** (distorsión), siendo consecuencia de la acción de fuerzas originadas por la movilidad de la litosfera y, a veces, también por efecto de la gravedad que, en Geología, reciben el nombre de **esfuerzos tectónicos**.

Las deformaciones dependerán de las condiciones de presión, temperatura y presencia de fluidos a las que hayan estado sometidas. Las rocas, a elevadas temperaturas y en presencia de agua, se deforman con mayor facilidad, sin necesidad de estar sometidos a grandes presiones.

### 5.1. Relación esfuerzo-deformación

La deformación de una roca ante un esfuerzo tectónico es resultado de una componente **elástica** y otra **plástica**. Al someter a una roca a la acción de un esfuerzo y medir la deformación producida (figura 9.41), podemos encontrar uno de los siguientes comportamientos:



**Figura 9.41.** Relación esfuerzo-deformación. A, deformación plástica. B, deformación elástica (cmm).

- 1. Deformación elástica:** en que la magnitud de la deformación es proporcional a la intensidad del esfuerzo aplicado hasta alcanzar el **límite elástico** (figura 9.41.B). Si cesa la acción del esfuerzo, las rocas recuperan su estado indeformado inicial.
- 2. Deformación plástica:** aparece a partir del límite elástico, siendo una deformación permanente (figura 9.41.A).
- 3. Deformación frágil:** ocurre al superar el límite de resistencia mecánica del material tras la deformación plástica o, con más frecuencia, elástica.

La deformación elástica, al no dejar huellas permanentes, no da lugar a estructuras tectónicas, sino que éstas son causadas por deformaciones plásticas (pliegues) o por rotura (fallas y diaclasas).

Los materiales que presentan deformación plástica entre elasticidad y rotura se denominan **dúctiles** y aquellos que sólo se comportan de modo elástico ante esfuerzos repentinos o de corta duración son los **frágiles**. Bajo condiciones superficiales las rocas se comportan como materiales rígidos y frágiles; sin embargo, en las series estratigráficas se observan deformaciones plásticas, por lo que estos conceptos son relativos, dependiendo la respuesta de las rocas de diversos factores que veremos a continuación.

## Factores que modifican la respuesta de las rocas

Diversos factores pueden propiciar un incremento de la plasticidad de las rocas respecto a su comportamiento en condiciones superficiales para que sea posible la formación de pliegues. Entre esos factores tenemos:

- Presión confinante:** al aumentar la presión se incrementa el campo de plasticidad.
- Temperatura:** también al aumentar la temperatura lo hace la plasticidad de las rocas.

La conjunción de los dos factores anteriores hace que las rocas sean dúctiles en profundidad y frágiles en superficie. Si el incremento de presión y temperatura es importante, se puede superar el campo de plasticidad y llegar al *flujo viscoso*.

- Tiempo de actuación de los esfuerzos:** es un factor muy importante puesto que muchas deformaciones se desarrollan a lo largo de millones de años. Los esfuerzos duraderos, aunque sean débiles, facilitan la deformación plástica. En cambio, los esfuerzos repentinos provocan la ruptura de las rocas.
- Contenido en fluidos:** también favorece la deformación plástica al actuar los fluidos como lubricantes que facilitan los movimientos intergranulares en el seno de la roca.
- Composición y estructura de la roca:** la propia naturaleza de la roca hace que posea unas propiedades características en relación con su respuesta a los esfuerzos. Así, se distinguen:
  - **Rocas competentes:** son rocas rígidas, como areniscas, granito, calizas, que transmiten los esfuerzos y sólo adquieren plasticidad en condiciones de elevada presión y/o temperatura.
  - **Rocas incompetentes:** como las arcillas y evaporitas, que se deforman fácilmente dispersando los esfuerzos.

## Tipos de esfuerzos y deformaciones

Además de la respuesta de las rocas ante los esfuerzos, condicionada por los factores antes mencionados, hay que tener en cuenta la incidencia de la orientación de esos esfuerzos. Así, podemos distinguir: esfuerzos **compresivos**, **distensivos** y de **cizalla**:

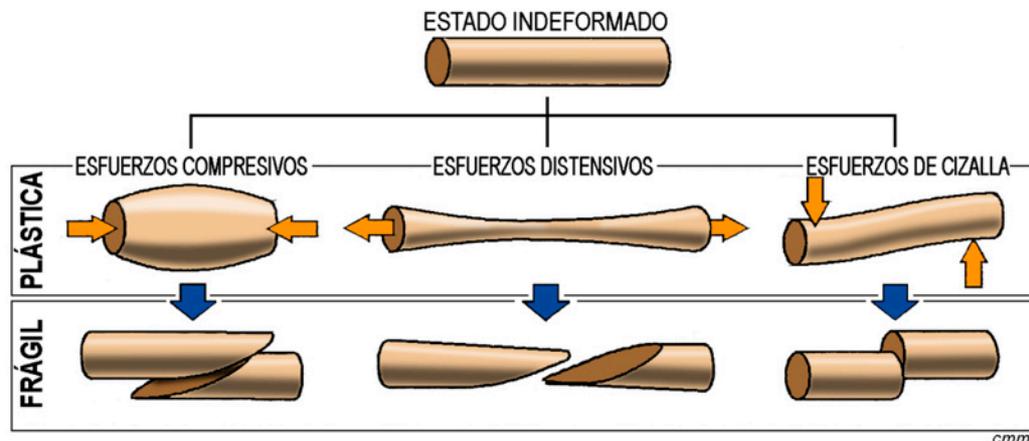


Figura 9.42. Tipos de esfuerzos y respuesta de un material (cmm).

## 5.2. Tipos de deformaciones

Reuniendo lo visto en los epígrafes anteriores, tenemos que en función de los esfuerzos, su orientación, intensidad y duración, así como del tipo de roca y las condiciones termodinámicas bajo las que se produce la deformación, las estructuras resultantes se pueden clasificar como sigue:

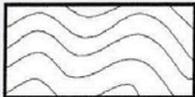
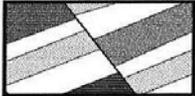
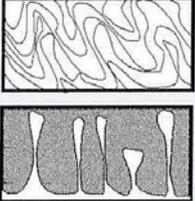
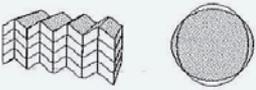
Tipo de deformación	Estructura resultante	Esquema
DEFORMACIÓN CONTINUA (PLÁSTICA)	PLIEGUES	
DEFORMACIÓN DISCONTINUA (FRÁGIL)	DIACLASAS FALLAS	
DEFORMACIÓN VISCOSA	PLIEGUES DE FLUJO VISCOSO DOMOS GNEÍSICOS DIAPIROS SALINOS	
DEFORMACIÓN MIXTA	PLIEGUES-FALLA CABALGAMIENTOS MANTOS DE CORRIMIENTO	
DEFORMACIÓN ELÁSTICA	ONDAS SÍSMICAS* MAREAS TERRESTRES*	

Figura 9.43. Tipos de deformación y estructuras tectónicas resultantes (cmm).

\*Las ondas sísmicas y las mareas terrestres, como deformaciones de tipo elástico que son, no dejan huella en las rocas a las que afectan y, por consiguiente, no se pueden identificar estructuras tectónicas resultantes. No obstante, las ondas sísmicas pueden provocar alteraciones como la formación de fisuras, licuefacción del terreno u otros efectos visibles en el mismo.

- 1. Deformaciones plásticas (pliegues o plegamientos).** Se producen por fuerzas de compresión; en este tipo de deformaciones los estratos (en rocas sedimentarias) o los planos de **esquistosidad** (en rocas metamórficas) se doblan formando ondulaciones alargadas, más o menos paralelas entre sí. Obsérvese que el plegamiento no implica una ruptura de los elementos afectados. Para nombrar los pliegues se emplean diversos criterios, en general basados en la orientación de sus **elementos geométricos** (figura 9.44); por ejemplo: según se tengan en cuenta la posición del plano axial, la edad relativa de los estratos,... (figura 9.45). Los pliegues suelen aparecer asociados, ya que los esfuerzos que los producen afectan a grandes extensiones de terreno. Las asociaciones de pliegues pueden ser muy complejas.



Pliegue anticlinal simétrico recto (cmm).



Pliegue acostado o tumbado (cmm).



Serie de pliegues (cmm).



Pliegues inclinados (cmm).



Pliegue en rodilla (cmm).

ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE UN PLEGUE

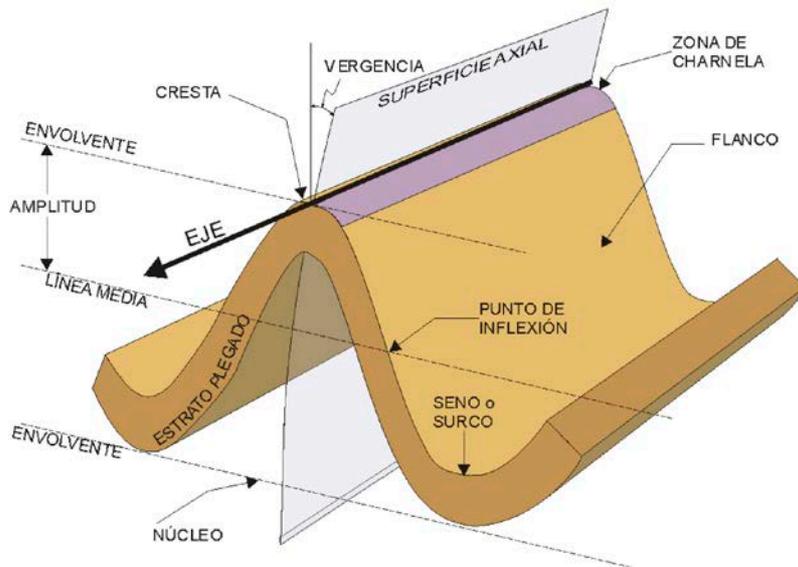


Figura 9.44. Elementos geométricos de un pliegue (cmm).

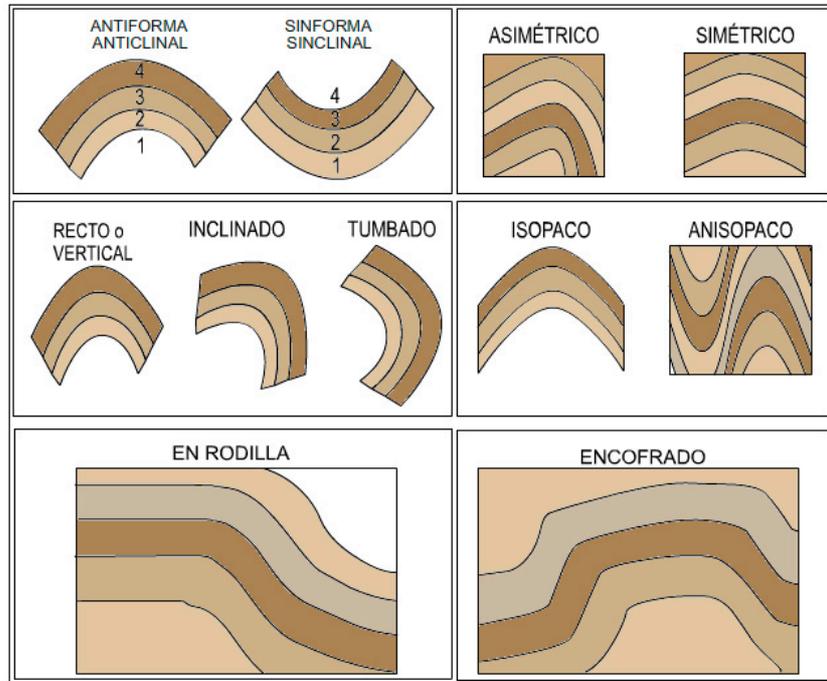


Figura 9.45. Algunos tipos de pliegues: a, por la edad de los estratos (véase también la figura 9.46); b, según la simetría de los flancos; c, por la inclinación del plano axial; d, según el espesor de los estratos; e, si sólo presenta un flanco; f, con más de una zona de charnela (cmm).

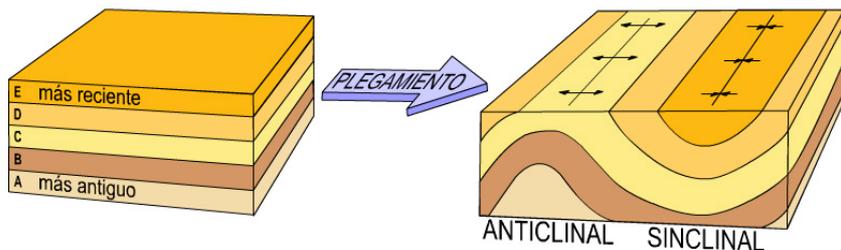
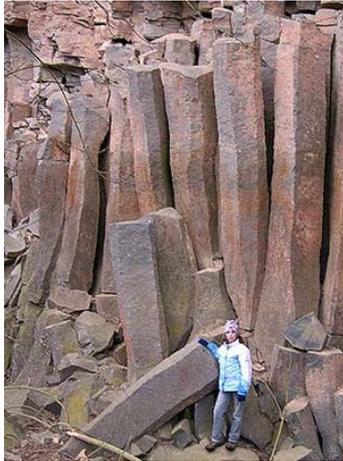


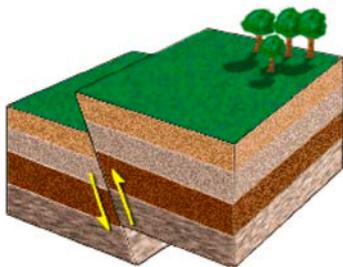
Figura 9.46. Anticlinales y sinclinales. Si se desconoce la edad relativa de los materiales, se habla de antiforma y sinforma (con forma de anticlinal o de sinclinal. cmm).



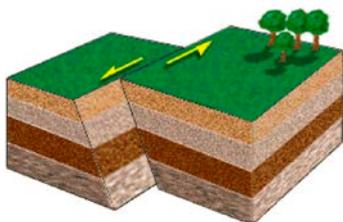
**Figura 9.47.** En las coladas de lava pueden formarse diaclasas al enfriarse, originando una característica prismación o disyunción en columnas (La Garrotxa, Girona. Foto cmm).



**Figura 9.48.** Falla normal, directa o de gravedad con algunos de los elementos que permiten describir las fallas (cmm).



**Figura 9.49.** Falla inversa (cmm).



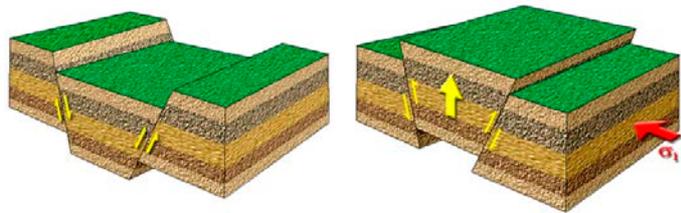
**Figura 9.51.** Falla de desgarre sinistral.

**2. Deformaciones frágiles.** Se originan cuando una roca es sometida a fuerzas tectónicas que sobrepasan su límite de elasticidad y se produce la pérdida de continuidad o rotura. Puede haber dos tipos:

- **Diaclasas.** Son superficies de rotura en las que apenas se aprecia desplazamiento, pudiendo originarse por compresión o por distensión (figura 9.47).
- **Fallas.** En este caso sí se produce un desplazamiento de los bloques obtenidos de la ruptura, que generalmente presenta una superficie bien definida denominada **plano de falla**, y su formación va acompañada de un deslizamiento de las rocas tangencial a este plano. Las fallas se pueden clasificar en función de los esfuerzos que las originan y de los movimientos relativos de los bloques (figura 9.48 y siguientes):

- **Falla normal.** Se origina por distensión (figuras 9.48 y 9.53). El bloque que se desliza hacia abajo se denomina labio hundido y el que se eleva, labio levantado. Hay un aumento global de la superficie del terreno.
- **Falla inversa.** Se genera por compresión horizontal de los estratos. El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. *El plano de falla buza hacia el labio levantado.* Se produce una disminución global de la superficie del terreno (figura 9.49 y 9.54).

Las fallas pueden aparecer asociadas dando lugar a estructuras escalonadas formando **fosas tectónicas** —o graben, véase la figura— y pilares o **macizos tectónicos** —o horst— (figura 9.50):



**Figura 9.50.** Horst y graben. Izquierda, una fosa limitada por fallas normales. Derecha, un horst limitado por fallas inversas (cmm).

- **Falla de desgarre.** Se produce por fuerzas horizontales distensivas (figura 9.51). Presenta un plano de falla vertical o casi vertical y un desplazamiento horizontal (a veces se debe también a fuerzas de compresión). No se debe confundir con las fallas transformantes propias de los bordes de placas asociadas a las dorsales, cuyo movimiento es contrario al de las fallas de desgarre.
- **Falla rotacional.** Es la que se origina por un movimiento de basculamiento de los bloques que giran alrededor de un eje, que puede ser perpendicular al plano de rotura (falla en tijera; figura 9.52.a) o paralelo a él (falla cilíndrica; figura 9.52.b).



**Figura 9.53.** Fallas normales. Se ha resaltado un estrato para facilitar la interpretación (cmm).



**Figura 9.54.** Falla inversa (cmm).



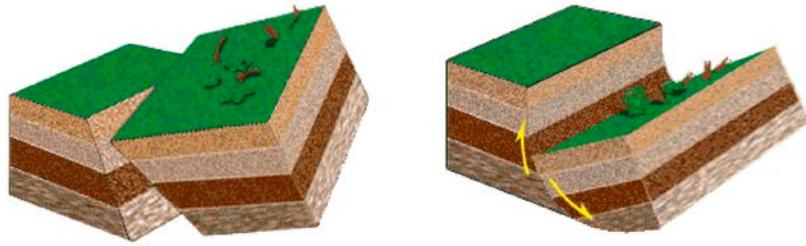
**Figura 9.55.** Fallas inversas (horst) en una excavación (cmm).



**Figura 9.56.** Fallas inversas (cmm).



**Figura 9.57.** Plano de una falla normal exhumado por la erosión del bloque levantado (cmm).



**Figura 9.52.** Fallas rotacionales: a, falla en tijera; b, falla cilíndrica.

### Elementos de las fallas

En una falla se pueden distinguir una serie de elementos que permiten describir la falla y determinar cómo ha sido el desplazamiento relativo entre las masas de rocas situadas a ambos lados de la superficie de rotura. Entre ellos, podemos destacar:

- **Bloques o labios:** son los sectores de rocas situados a ambos lados de la superficie de rotura. En las fallas en que el desplazamiento tiene una componente vertical, reciben el nombre de **bloque levantado** y **bloque hundido** indicando el sentido relativo del movimiento de un bloque respecto al otro.
- **Superficie o plano de falla** es aquella a lo largo de la cual se produce el movimiento.
- **Salto de falla** es el valor total del desplazamiento y puede tener varias componentes en distintas direcciones del espacio. Si el salto se manifiesta en la superficie topográfica se habla de **escarpe de falla**, cuya magnitud puede diferir del valor del salto por efecto de la erosión, por ejemplo.
- **Espejo de falla** es una superficie brillante, de aspecto pulimentado, que puede aparecer sobre las rocas en el plano de falla por efecto de la recristalización de minerales sometidos al incremento de presión y temperatura consecuentes a la fricción generada durante el movimiento de la falla.
- Las **estrías de falla** son marcas de fricción que muestran las rocas en el plano de falla en forma de finas estrías o acanaladuras y que pueden aparecer afectando al espejo de falla.
- **Brecha de falla** es una masa de material fragmentario resultante del efecto de la trituración que sufren las rocas a lo largo del plano de falla. Si el material resulta metamorfizado por la elevada presión y temperatura, con recristalización y cambio mineralógico, el material recibe el nombre de milonita.



**Figura 9.58.** Izquierda: espejo de falla sobre pizarras. Derecha: espejo y estrías de falla en calizas (cmm).

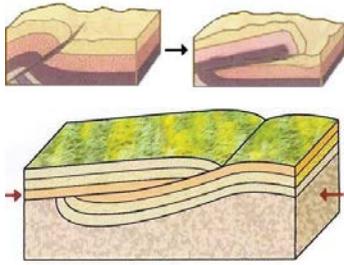


Figura 9.59. Arriba, formación de un pliegue-falla. Abajo, un cabalgamiento.

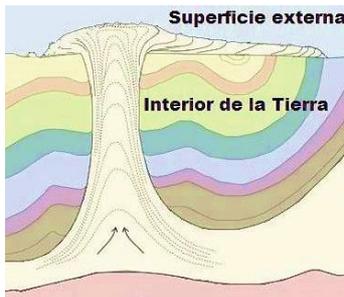


Figura 9.60. Diapiro.

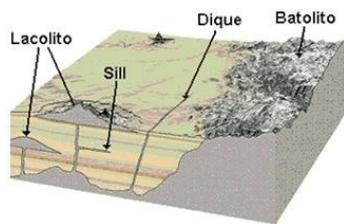


Figura 9.61. Principales tipos de intrusiones magmáticas.

#### INTERNET

Puedes ver la explicación de los tipos de fallas en [Fallas animadas](#) y repasar todos los tipos de deformaciones y sus características en [Reconocimiento de estructuras tectónicas](#).

### 3. Estructuras mixtas. En este caso tenemos varias posibilidades:

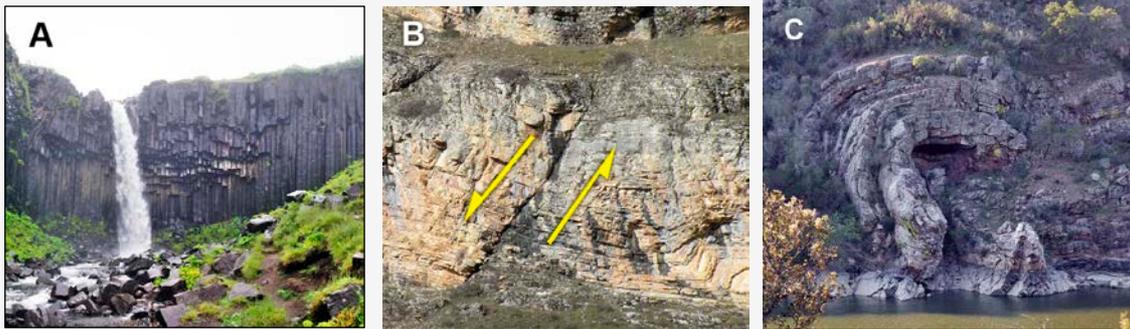
- **Pliegue-falla.** Se produce cuando uno de los flancos de un pliegue paralelo a la superficie del terreno queda laminado, o sea, reducido a espesor cero, deslizándose las dos partes del pliegue sobre esta superficie.
- **Cabalgamientos.** Son parecidos a pliegues-falla, pero con una ruptura más acentuada (por ejemplo, cuando las fallas inversas presentan un ángulo de inclinación inferior a 45°). Suelen alterar el orden normal de los estratos (figura 9.59).

### 4. Otras estructuras:

- **Domos.** Son estructuras en forma de cúpula (por ejemplo, los domos de sal) que ascienden, gracias a su elevada plasticidad y baja densidad, a través de una cobertera a la que pueden llegar a perforar y sobre la cual se depositan; en este último caso se denominan **diapiros** (figura 9.60).
- **Intrusiones magmáticas.** El magma que se consolida en el interior de la Tierra forma cuerpos rocosos de distintos tipos denominados **intrusiones** (como vimos en el epígrafe 3.2, página 469, éstas pueden ser causa del metamorfismo de las rocas colindantes). Las intrusiones magmáticas pueden causar la deformación de los materiales suprayacentes y, de esta manera, contribuyen a la formación del relieve. Las intrusiones pueden tomar una infinidad de formas, aunque podemos destacar (figura 9.61):
  - **El batolito.** Es la más grande de las intrusiones ígneas, y consiste en un cuerpo ígneo de gran tamaño, amorfo y de profundidad indefinida. El batolito forma con frecuencia el núcleo de grandes montañas, como es el caso de la Sierra de Guadarrama.
  - **El lacolito.** Es una intrusión ígnea producida cuando el magma viscoso se mueve lentamente y es forzado a colocarse entre capas horizontales de rocas preexistentes. El magma, al ser tan viscoso, se resiste a fluir, y entonces forma un levantamiento en forma de hongo que hace que los estratos situados por encima presenten estructura de domo.
  - **El dique.** Es una franja de magma casi vertical o vertical que se desplaza hacia arriba atravesando rocas preexistentes. Es quizás el tipo de vulcanismo intrusivo más común.
  - **El sill.** Es un cuerpo intrusivo delgado y largo que se forma cuando el magma se ve forzado a moverse entre capas paralelas de rocas preexistentes, y que al final solidifica como una sábana u hoja.
  - **La veta.** Es una intrusión ígnea muy pequeña, por lo general con orientación vertical.

**ACTIVIDADES**

**13.** La cascada de la fotografía **A** cae por el borde de una colada de basalto que muestra un aspecto como resquebrajado formando columnas o prismas. ¿A qué tipo de deformación de la roca basáltica corresponden?



**14.** Determina a qué tipo de estructuras tectónicas corresponden las mostradas en las imágenes **B** y **C** anteriores.

**15.** Igual que en la cuestión anterior, identifica qué deformaciones se muestran en las siguientes imágenes **D**, **E** y **F**:



**16.** Responde a las cuestiones:

- a. En la fotografía **G** se ve parte de un pliegue. Indica a qué parte del mismo corresponde y qué tipo de pliegue es.
- b. ¿Cómo se llama la parte del pliegue anticlinal donde se ha construido la ermita de Santa Justa que aparece en la imagen **H**?



### Resumen

- Los procesos de la geodinámica interna abarcan procesos erosivos y sedimentarios. Como consecuencia de estos procesos se depositan los sedimentos en las cuencas sedimentarias y se transforman en rocas sedimentarias gracias a la diagénesis.
- La diagénesis comprende la compactación y la cementación de los sedimentos.
- Las rocas superficiales tienden a clasificarse en función de sus características observables. Pero los depósitos superficiales naturales se clasifican según el ambiente sedimentario en el que se han formado, ambiente que queda reflejado en su facies.
- Los ambientes sedimentarios se pueden clasificar en continentales, marinos y de transición.
- Las rocas sedimentarias presentan unas determinadas características de color, textura, estructura y composición.
- En función de la composición, los sedimentos y las rocas sedimentarias se clasifican en: sedimentos y rocas detríticas o siliciclásticas, sedimentos y rocas carbonatadas, sedimentos fosfatados y fosforitas, sedimentos y rocas ricos en materia orgánica y sales no carbonatadas.
- Las utilidades de las rocas sedimentarias son múltiples, destacando su uso en la construcción.
- El metamorfismo es un proceso mediante el cual rocas preexistentes, por alteraciones en la presión y temperaturas, se convierten en otras de características distintas, llamadas rocas metamórficas. Está muy ligado con la tectónica de placas, generándose los distintos tipos de metamorfismo en los bordes de placa en función de los factores que estén actuando en cada tipo de borde: metamorfismo de enterramiento, dinamometamorfismo, metamorfismo de contacto, metasomatismo, metamorfismo de fondo oceánico y metamorfismo regional.
- El magmatismo es un fenómeno ligado también a la tectónica de placas. El magma es un fundido que, en general, está formado por una fase líquida, a la que acompaña una fase sólida y otra gaseosa, y que se encuentra a temperaturas entre 1 500 y 800 grados Celsius. La fase líquida suele estar compuesta de silicatos fundidos.
- Los magmas primarios pueden ser basálticos (con baja proporción de dióxido de silicio) o graníticos (con alta proporción de dióxido de silicio). La concentración de SiO<sub>2</sub> y de los fluidos van a ser responsables de la viscosidad del magma y, por lo tanto, de las características de las erupciones volcánicas.
- En su ascenso hacia la superficie, el magma sufre procesos de cristalización fraccionada, asimilación magmática y mezcla, a consecuencia de los cuales se originan magmas derivados.
- La velocidad de enfriamiento del magma origina rocas ígneas o magmáticas con distintas texturas: fanerítica, microcristalina y porfídica.
- El descenso de temperatura produce la consolidación del magma, dando lugar a las rocas ígneas: plutónicas si se forman en el interior, volcánicas (en el exterior) y filonianas de características intermedias.
- Como consecuencia del desplazamiento de placas, se producen deformaciones de las rocas. Las principales deformaciones son los pliegues, las fallas y las estructuras mixtas (pliegues-fallas y cabalgamientos).
- Las intrusiones magmáticas también originan diversos tipos de estructuras (diques, lacolitos, batolitos y sills).

# Solucionario

1. Las áreas continentales emergidas están expuestas a la acción de la meteorización y los agentes erosivos que realizan la denudación del relieve. El ciclo externo tiene lugar gracias a la energía solar que provoca las diferencias de temperatura que ponen en movimiento a la atmósfera y los océanos y es responsable del ciclo hidrológico. Pero además, también actúa la gravedad, de la que depende la energía potencial disponible por los agentes de erosión. Esa energía es elevada en las zonas montañosas por su altitud. El transporte de los materiales resultantes de la erosión es transportado gracias a la gravedad hasta las zonas más bajas, donde la energía potencial es nula, que constituyen así las cuencas sedimentarias. Estas áreas son fundamentalmente las cuencas oceánicas.
2.
  - a. Los clastos angulosos, dispuestos caóticamente son típicos del transporte glaciar; la forma arriñonada es la que cabría esperar en una morrena. Por tanto, corresponde a un ambiente glacial (más precisamente, glaciogénico), conclusión que se ve reforzada por la ausencia de fósiles.
  - b. Está claro que el ambiente es de transición, ya que hay indicadores de facies marina y continental (dulceacuícola). Como las primeras se dan en la base y las segundas en el techo, probablemente se trate de un delta (la parte superior correspondería a los sedimentos aportados por el río, y la inferior incluiría aportes, sobre todo de fósiles, marinos).
  - c. La morfología masiva y la presencia de clastos de varios tamaños, generalmente redondeados, implican transporte en masa (coladas de barro); la forma en abanico nos confirma que se trata de un ambiente aluvial.
3. Con clastos - clásticas; con fósiles frecuentes - químicas; se quemaron - de origen orgánico; raramente estratificadas - clásticas; no clasificadas - organógenos; compactas y rara vez porosas - químicas.
4. De izquierda a derecha: conglomerado, una roca detrítica; yeso, una evaporita, y carbón, una roca de origen orgánico.
5. La presión que produce la transformación de las rocas puede provenir de la subsidencia (que hace que actúe la presión litostática), del aumento de temperatura (que tiene como consecuencia un incremento en la presión de fluidos) y de la convergencia de placas.
6. Porque el vapor de agua no se puede escapar de la estructura de los minerales debido a las altas presiones; si la temperatura es alta y/o la presión es baja, los fluidos superan las presiones exteriores y se escapan.
7.
  - a. Zona de subducción - metamorfismo de enterramiento y metasomatismo.
  - b. Fondo de los océanos - metasomatismo y metamorfismo de fondo oceánico.
  - c. En una falla - dinamometamorfismo.
  - d. Zona de intraplaca - metamorfismo de contacto y metasomatismo en los puntos calientes; se ve afectada también por el metamorfismo regional en la colisión entre continentes.
  - e. Chimenea volcánica - metasomatismo.
  - f. Arco insular - metamorfismo regional.
8.
  - a. La cristalización de un mineral se produce cuando el magma se enfría al descender la temperatura. Esto puede suceder durante el ascenso del magma a la superficie o en el interior de la cámara magmática.
  - b. Es fraccionada porque van cristalizando los minerales según su punto de fusión, primero los de mayor punto de fusión y al final los de menor punto de fusión.

c. Porque los primeros cristales en formarse pueden separarse del magma inicial depositándose en el fondo o en las paredes de la cámara magmática (según su densidad en relación con la del magma); de esta manera, el magma residual queda empobrecido en determinados componentes y es, por tanto, diferente del magma inicial.

9. El mismo orden de formación. Porque cada mineral es estable en las condiciones en que se forma; en consecuencia, los minerales que solidifican a temperaturas altas son menos estables a temperatura ambiente.
10. No, porque cristalizan a temperaturas diferentes. El olivino se forma a elevadas temperaturas, por lo que cristaliza antes y, además, debido a los procesos de diferenciación magmática, se puede separar del magma residual y formará parte de rocas muy diferentes a las del cuarzo.
11. La textura porfídica es el resultado de una interrupción de los procesos de cristalización: si la cristalización había empezado en el interior, aparecen los cristales grandes correspondientes a aquellos minerales con puntos de fusión más altos; los microcristales no tienen tiempo de crecer más, ni el resto de los iones para formar cristales.
12. a. Puesto que la textura es fanerítica, se trata de una roca plutónica. Por otro lado, entre el cuarzo (Q), la ortosa (feldespato alcalino, A) y las plagioclasas (P) suman un 80 %. Nos interesa averiguar qué fracción de ese 80 % está formada por Q, cuál por A y cuál por P, para trasladar esos datos directamente al diagrama de la ilustración 9.38. Planteamos para ello una sencilla regla de tres: si de cada 80 minerales 32 son de cuarzo, de cada 100 serán x. De aquí que  $x = 100 \cdot 32 / 80 = 40$  % de minerales de cuarzo. Ya no tenemos que seguir calculando más, porque el diagrama de la izquierda de la ilustración 9.38 nos dice que todas las rocas plutónicas cuyo porcentaje de Q esté comprendido entre un 20 y un 60 % son rocas graníticas, independientemente de su composición en A y P. Así pues, es una roca granítica.
 

b. Ahora se trata de una roca volcánica, ya que su textura es microcristalina. Nos dan ya el porcentaje de Q, A y P sobre el total de estos tres minerales, así que no tenemos que hacer ningún cálculo. Puesto que Q es menor del 20%, nos encontraremos en la banda inferior del diagrama de la derecha de la ilustración 9.38; al ser P igual al 81 % (por encima del 65 %), la roca se sitúa en el campo de color azul, que tiene dos posibilidades: rocas andesíticas y rocas basálticas. Ahora bien, nos dicen que los minerales máficos (oscuros) constituyen un 70 % de la roca; así pues, se tratará de una roca basáltica.
13. Corresponden a diaclasas generadas por la retracción que sufre la lava basáltica al enfriarse. El resultado es la formación de columnas o prismas que se denomina prismación o disyunción columnar.
14. La fotografía B presenta una falla. El movimiento, que en muchas fallas es fácilmente apreciable gracias a la textura, estructura o color de los estratos situados a ambos lados del plano de rotura y que en esta foto está señalado por las flechas amarillas, indica que la falla es directa (normal o de gravedad). El labio hundido es el situado a la izquierda de la imagen y el levantado queda a la derecha. El plano de falla buza (se hunde) hacia el labio hundido.
 

La imagen de la foto C muestra un pliegue antiformal, probablemente anticlinal, isopaco (los estratos conservan su espesor a lo largo del pliegue), inclinado (el plano axial forma un cierto ángulo respecto a la vertical, llamado vergencia).
15. La fotografía D corresponde a una falla inversa. El color de los estratos permite reconocer fácilmente como ha sido el desplazamiento entre los bloques. El levantado, a la derecha de la imagen, ha subido por el plano de falla, el cual buza hacia este bloque.

En la fotografía E vemos una masa rocosa separada en bloques por una serie de planos de fractura a lo largo de los cuales no se ha producido desplazamiento de los bloques, por lo que se trata de diaclasas.

La imagen F corresponde a una falla normal en la que podemos apreciar lo ya explicado en la cuestión 14.B, aunque en este caso la orientación del plano de falla es contrario en el plano que presenta la imagen.

- 16. a.** Es un pliegue **sinclinal** desmantelado por la erosión. La parte visible corresponde a la zona de flexión o curvatura que se denomina charnela.
- b.** La ermita ha sido construida en lo que corresponde al núcleo de este pliegue anticlinal. El núcleo del pliegue probablemente estuvo formado por rocas menos resistentes a la erosión marina litoral y resultó vaciado.

## Glosario

**Abanico aluvial** Depósito en forma de cono constituido por bloques, cantos, arenas, limos y arcillas, acumulados allí donde la pendiente del terreno se reduce y la velocidad del flujo disminuye.

**Abanico submarino** Conjunto de bloques caóticos encastrados en una masa arcillosa originados por las corrientes de turbidez al perder éstas capacidad de transporte. Sus depósitos pueden ser redistribuidos por el pie del talud gracias a corrientes de fondo paralelas al mismo.

**Albufera** Masa de agua poco profunda parcialmente aislada del mar por barras de arena, interrumpidas ocasionalmente por canales (en Valencia, golas) que permiten la entrada y salida de agua.

**Batolito** Masa rocosa intrusiva muy voluminosa, generalmente formada por rocas graníticas, que tiene una gran extensión de afloramiento y es subyacente —posee una raíz oculta—. Los batolitos están asociados a cinturones orogénicos, presentando un trazado más o menos paralelo a los mismos.

**Buzamiento** Es el ángulo que forma un plano geológico (estrato, superficie de

estratificación, plano de falla) respecto a un plano horizontal. Se mide siempre siguiendo la línea de máxima pendiente, es decir en un plano perpendicular a la **dirección** del estrato.

**Cámara magmática** Lugar del interior de la litosfera en el que se forma y/o se acumula el magma.

**Canchal** Acumulación de bloques y fragmentos rocosos en laderas y formaciones montañosas. Por extensión, también se denomina canchal al lugar del depósito.

**Corriente de turbidez** Avalancha de sedimentos que se produce desde la plataforma continental hasta zonas profundas del océano alcanzando velocidades de hasta 100 km/h y que transporta materiales del tamaño de grava fina. Se desencadenan por terremotos, tormentas o, simplemente, porque las acumulaciones en la plataforma se vuelven inestables.

**Delta** Cuña en abanico formada por sedimentos detríticos de todos los tamaños, acumulados en la desembocadura de un río al penetrar éste en una masa de agua (el mar o un lago grande) y experimentar una súbita disminución de la velocidad de la corriente.

**Dirección** Es el ángulo que forma la intersección de un plano geológico con un plano horizontal respecto al norte geográfico (si se mide en relación con el norte magnético se denomina **rumbo**).

**Duna** Acumulación de arena con una forma característica generada por la acción del viento sobre un sedimento no consolidado.

**Dureza** Resistencia de un mineral a ser rayado por otro o por un objeto afilado (por ejemplo, una navaja, o incluso una uña). La escala de Mohs clasifica a diez minerales (que sirven de patrón para comparar con los demás) por su dureza relativa: talco (dureza 1), yeso (2, se raya con la uña), calcita (3, se raya con una moneda de cobre), fluorita (4, se raya con la navaja), apatito (5), ortosa (6, se raya con una lima de acero), cuarzo (7, raya al vidrio), topacio (8), corindón (9) y diamante (10, el más duro, no se raya).

**Equilibrio físico-químico** Estado de un sistema material completamente caracterizado por unos pocos parámetros (presión, concentración de determinadas sustancias, temperatura...) que no varían en el tiempo, bien porque no actúa ningún proceso que los cambie, bien porque los cambios se compensan con otros en sentido opuesto (por ejemplo, por cada molécula de la sustancia A que se transforma en B, otra molécula de B se convierte en A).

**Esquistosidad** Acusada foliación de las rocas metamórficas, que las hace susceptibles de dividirse fácilmente a lo largo hojas o láminas.

**Grano** Porción pequeña y de forma redondeada de cualquier sustancia.

**Litológico** Relativo a las rocas. Conjunto de atributos macroscópicos de una roca, tales como la textura (tamaños y formas de las partículas de la roca y sus mutuas relaciones) y la petrología (modo de yacer de la roca, composición mineralógica, relaciones de campo...).

**Llanura de inundación** Parte de un valle fluvial que sufre inundaciones periódicas y está constituida por sedimentos no consolidados transportados por el río. Se llama también vega y es un terreno muy fértil para la agricultura.

**Marisma** Superficie extensa pobremente drenada próxima a una costa muy plana, que resulta cubierta periódicamente por la marea y que admite una vegetación especializada capaz de soportar aguas salobres.

**Meteorización** Denudación que experimentan las rocas en la superficie o cerca de ella, al disminuir la presión litostática o al ser expuestas a agentes atmosféricos —y, en menor medida, a seres vivos— que no transportan el material separado.

**Minerales máficos** Minerales de color oscuro ricos en hierro y magnesio.

**Morrena** Conjunto de materiales rocosos transportados por el hielo de un glaciar y depositados cuando éste retrocede. El tamaño de las partículas oscila desde bloques hasta arena fina.

**Playa** Acumulación de arena y grava depositada en el margen de un mar o de un lago.

**Polimórfico** Tendencia que presenta una sustancia para formar cristales con estructuras diferentes, en respuesta a distintas condiciones ambientales.

**Punto de fusión** Temperatura a la que un elemento o sustancia cambia de la fase sólida a la líquida, a la presión de una atmósfera.

**Rizadura** Ondulaciones que se forman en la arena a causa de las corrientes de agua, del viento o del oleaje. La distancia entre dos crestas sucesivas suele ser menor de 50 centímetros, y la altura de las crestas no sobrepasa los 20 centímetros.

**Terraza fluvial** Porción de terreno prácticamente plana originada cuando un río erosiona verticalmente su llanura de inundación y se encaja en la misma; la antigua llanura de inundación, que ya no vuelve a ser ocupada, queda como un escalón topográfico que retrocede a medida que es erosionado.

**Textura** Término que hace referencia a la forma, tamaño, distribución y relaciones mutuas entre los distintos granos minerales que forman las rocas.

**Tillita** Conglomerado resultante de la compactación de una antigua morrena, es decir, de los materiales arrastrados y depositados por un glaciar.

## Aviso legal

---

El contenido de esta unidad es adaptación del existente en el libro de Biología y Geología para 1º de Bachillerato a distancia (NIPO: 030-13-196-3).

Adaptación: César Martínez Martínez

Asesor Técnico Docente Biología y Geología. CIDEAD, 2015.

La utilización de recursos de terceros se ha realizado respetando las licencias de distribución que son de aplicación, acogiéndonos igualmente a los artículos 32.3 y 32.4 de la Ley 21/2014 por la que se modifica el Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual. Si en algún momento existiera en los materiales algún elemento cuya utilización y difusión no estuviera permitida en los términos que aquí se hace, es debido a un error, omisión o cambio de licencia original.

Si el usuario detectara algún elemento en esta situación podrá comunicarlo al CIDEAD para que tal circunstancia sea corregida de manera inmediata.

En estos materiales se facilitan enlaces a páginas externas sobre las que el CIDEAD no tiene control alguno, y respecto de las cuales declinamos toda responsabilidad.



DIRECCIÓN GENERAL DE  
FORMACIÓN PROFESIONAL

