

## Índice de contenido

5. GEOSFERA.....	2
5.1. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA TIERRA. TECTÓNICA DE PLACAS.....	2
5.1.1 La Geosfera como sistema.....	2
5.1.2. Composición de la geosfera.....	2
5.1.3. Modelo geoquímico y modelo dinámico.....	4
5.2. Flujos de energía y Circulación de la materia.....	7
5.3. Dinámica de la geosfera.....	8
5.3.1. Dinámica litosférica. Tectónica de placas.....	9
5.3.2. Dinámica Sublitosférica. La convección explica el movimiento de las placas litosféricas.....	15
5.4. Procesos geológicos internos y sus riesgos.....	17
5.4.1. Deformaciones plásticas. Pliegues.....	17
5.4.2. Deformaciones de rotura. Diaclasas y fallas.....	19
5.4.3. Deformaciones elásticas. Terremotos.....	20
5.4.4. Deformaciones y tectónica de placas.....	23
5.5. Procesos internos. Magmatismo y Rocas Ígneas.....	23
5.5.1. Evolución de los magmas.....	25
5.5.2. Vulcanismo y tectónica de placas.....	26
Riesgos asociados a los procesos geológicos internos.....	27
La importancia de un sismo puede medirse atendiendo a dos parámetros: intensidad y magnitud.....	29
Existen numerosos riesgos derivados de la actividad sísmica.....	29
Los métodos de predicción se basan en el estudio de la historia sísmica y de los precursores.....	30
Las normas de construcción sismorresistente intentan prevenir los daños provocados por los terremotos.....	31
Los asentamientos humanos próximos convierten a los volcanes en graves riesgos .....	31
5.7. PROCESOS GEOLÓGICOS EXTERNOS Y SUS RIESGOS.....	32
5.7.1. Dinámica externa.....	33
5.7.2. Procesos Geológicos Externos.....	33
Procesos dinámicos: erosión, transporte, sedimentación y diagénesis.....	34
Erosión.....	35
5.7.3. Principales agentes geológicos externos.....	36
5.7.4. Sistemas de ladera y sus riesgos.....	36
También pueden generarse fenómenos de subsidencias (hundimientos lentos), y colapsos (hundimientos bruscos).....	39
5.7.5. Los ríos son importantes agentes del modelado del relieve: Modelado fluvio-torrencial.....	41
Planificación del riesgo: Medidas predictivas y preventivas.....	43
5.7.6. Modelado Glaciar.....	44
5.7.7. Modelado Cárstico.....	44
5.7.8. Sistema litoral y sus riesgos.....	46

Los riesgos en las zonas litorales: la dinámica oceánica y atmosférica provoca diversos riesgos en las zonas litorales.....	49
Impactos en las zonas litorales: la alta densidad de población es responsable de muchos de los impactos que soportan los litorales.....	50
5.7.9. En las regiones áridas y semiáridas predomina la acción eólica. Modelado eólico.....	51
El Suelo.....	52
Composición del suelo: el suelo está formado por componentes orgánicos e inorgánicos.....	52

## 5. GEOSFERA

### 5.1. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA TIERRA. TECTÓNICA DE PLACAS.

#### 5.1.1 La Geosfera como sistema

La geosfera es el sistema natural de mayor tamaño y el soporte de los demás sistemas de la Tierra. Su estructura es básicamente rocosa; los elementos que la constituyen son minerales y rocas, distribuidos en capas concéntricas de distinta composición, estructura y grosor.

La materia que forma la geosfera está sometida a procesos geológicos que dan lugar al ciclo geológico de las rocas. Durante este ciclo, se llevan a cabo intercambios de materia y flujos de energía con otros sistemas, como es el caso del transporte del material erosionado por parte de los ríos. La geosfera es, por tanto un **sistema abierto**.

#### 5.1.2. Composición de la geosfera

La geosfera está constituida por minerales, que se agrupan formando rocas.

##### **Minerales**

Son sustancias químicas naturales que generalmente se encuentran en estado sólido. Algunos están formados por elementos químicos, como el grafito, compuesto por átomos de carbono; otros están constituidos por un compuesto químico, como la halita o sal gema, formada por NaCl .

Los átomos y los iones de los minerales pueden tener distinta disposición, de manera que presentan dos tipos de estructuras:

- **Estructura cristalina:** los átomos se disponen ordenadamente y la ordenación se repite de forma regular y periódica en las tres direcciones del espacio, por lo que se crea una red. Son minerales de estructura cristalina el cuarzo, la calcita y la pirita.

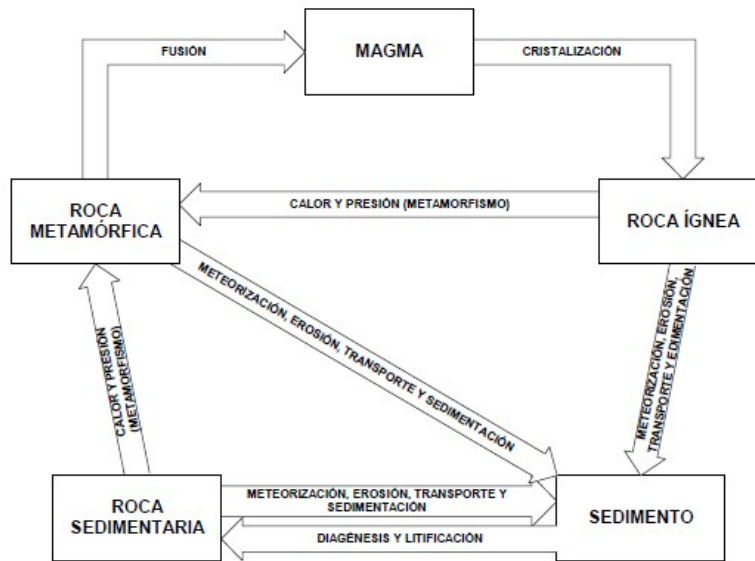
- **Estructura amorfa:** los átomos se disponen sin orden y no forman redes. En la naturaleza existen pocos casos de minerales con estructura amorfa.

### **Rocas**

Están formadas por uno o varios minerales. Se clasifican en tres grupos según su origen:

- **Rocas magmáticas o ígneas:** rocas que se originan por el enfriamiento y solidificación de un material fluido, el magma, formado mayoritariamente por silicatos, vapor de agua y gases disueltos. Se distinguen dos tipos de rocas magmáticas:
  - **Plutónicas:** se forman por solidificación lenta del magma en el interior de la Tierra. Éste es el caso del granito.
  - **Volcánicas:** se originan por solidificación del magma cuando es expulsado a la superficie de la Tierra en las erupciones volcánicas o al fondo de los océanos en las dorsales oceánicas. Por ejemplo el basalto.
- **Rocas Sedimentarias:** son rocas que se originan en la superficie terrestre como consecuencia de los procesos de erosión, transporte y sedimentación. Las partículas erosionadas y transportadas por los agentes geológicos externos se depositan por efecto de la gravedad, generando sedimentos, que se distribuyen en capas o estratos. Estos sedimentos son sometidos al proceso de litificación, que comprende tres etapas: compactación, cementación y diagénesis. Las rocas sedimentarias pueden ser de tres tipos:
  - **Detríticas:** proceden de la erosión de otras rocas, cuyas partículas son transportadas en suspensión, y que quedan unidas por la acción de un cemento. Ejemplo: la arcilla
  - **Químicas:** se producen por la precipitación química de las partículas que se encuentran disueltas en el agua de mar o lagos. Ejemplo las calizas.
  - **Organógenas:** proceden de restos de seres vivos que sufren compactación y transformación. Ejemplo el carbón.
- **Rocas metamórficas:** son rocas que se forman a partir de las magmáticas, sedimentarias u otras rocas metamórficas. Se originan en el interior de la corteza terrestre, donde son sometidas a elevadas presiones y temperaturas. Ejemplo: las pizarras.

El ciclo de las rocas nos permite examinar muchas de las interrelaciones entre las diferentes partes del sistema Tierra. Nos ayuda a entender el origen de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, y a ver que cada tipo está vinculado a los otros por los procesos que actúan sobre y dentro del planeta.



La corteza terrestre se encuentra en continua transformación como resultado de fuerzas antagónicas, externas e internas, que respectivamente tienden a destruir el relieve continental y a originar nuevos materiales que luego forman las montañas.

El ciclo geodinámico externo comprende la erosión o destrucción de las rocas superficiales, su transporte y la sedimentación de los materiales resultantes en las cuencas sedimentarias (principalmente el fondo del mar); su origen radica en la energía solar, que evapora el agua de los océanos precipitándola sobre los continentes, y en la fuerza de la gravedad, que la hace descender hacia las zonas más bajas.

En cambio, el ciclo geodinámico interno comprende los procesos orogénicos que forman nuevas montañas, e incluyen los fenómenos magmáticos, metamórficos y los procesos de deformación y elevación de las rocas; la energía necesaria procede del calor interno del globo terráqueo (energía geotérmica) y de la fuerza de la gravedad, que provoca las grandes presiones reinantes en el interior de la Tierra.

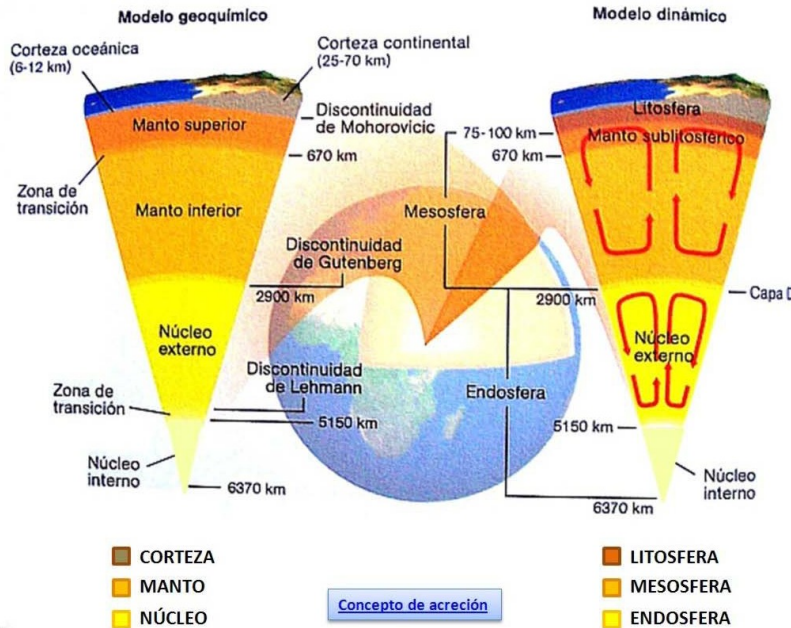
Según el principio del uniformismo “el presente es la clave para interpretar el pasado” puesto que los procesos geológicos han ocurrido en el pasado tal como están sucediendo en la actualidad. Estos procesos son generalmente muy lentos y sus efectos son difícilmente apreciables, pero en lapsos de tiempo suficientemente prolongados su acción incesante provoca grandes cambios. Sólo ocasionalmente los procesos geológicos ocurren de una forma rápida y violenta (fases paroxismales) como es el caso de las erupciones volcánicas y los terremotos.

### 5.1.3. Modelo geoquímico y modelo dinámico

# 1/Composición y estructura de la geosfera

Actividad 1 - "Formación de la atmósfera y la hidrosfera"

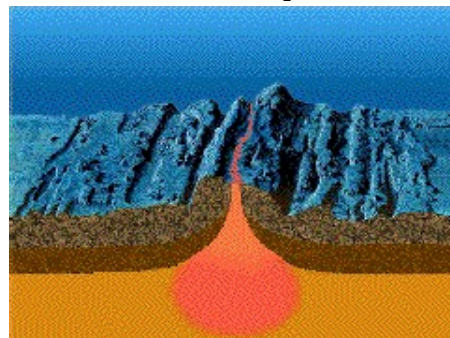
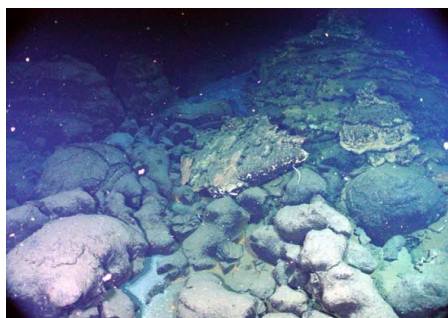
Actividad 2 - "Diferencias entre capas de los 2 modelos"



Los minerales y rocas que forman la geosfera se disponen en tres capas concéntricas de distinta **composición**: corteza, manto y núcleo.

**Corteza:** Es la capa más superficial y la menos densa, con una densidad media de 2,7 g/cm<sup>3</sup> y una profundidad media de 30 kilómetros. Presenta una gran variabilidad, desde 5 km bajo los océanos, a los 70 km bajo las grandes cordilleras. Aparentemente, es la más heterogénea, tal vez por ser la mejor conocida. Está formada por rocas que contienen oxígeno, silicio, aluminio y hierro. La temperatura en la superficie es de 22°C y en su límite inferior es de 400°C. Desde el punto de vista composicional y genético se presentan dos variedades bien definidas: Corteza oceánica y Corteza continental.

**Corteza oceánica: 0-10 kilómetros.** Es más densa y más delgada que la corteza continental, y muestra edades que, en ningún caso, superan los 180 millones de años. Se encuentra en su mayor parte bajo los océanos y manifiesta un origen volcánico. Se forma continuamente en las dorsales oceánicas y, más tarde, es recubierta por sedimentos marinos. Presenta una estructura en capas.



**Corteza Continental: de 0-70 kilómetros.** Menos densa y más gruesa que la Corteza Oceánica. Se encuentra en las tierras emergidas y plataformas continentales. Muestra edades mucho más antiguas que

la Corteza Oceánica, pudiendo encontrarse rocas que se formaron hace 4000 millones de años. Las rocas más antiguas tienden a presentarse en el interior de los continentes y a ser rodeadas por otras más modernas, siendo el aspecto de esta Corteza un continuo parcheo de todo tipo de rocas

**Manto:** De mayor densidad que la corteza. Está constituido básicamente por oxígeno, magnesio, silicio y hierro. Hacia 1.950, el objetivo prioritario consistía en la obtención de muestras directas del Manto por medio de sondeos, pero los métodos indirectos actuales han cubierto gran parte de ese objetivo. En términos generales, los cambios estructurales en los minerales que lo componen hacen que varíe de densidad y rigidez en profundidad, originándose dos divisiones:

**Manto superior:** Su parte superior, junto a la corteza, forma parte de la Litosfera. Llega hasta los 700Km.

**Manto inferior:** Más rígido, de composición similar al Manto superior, presenta una mayor densidad debido a un mayor empaquetamiento en los minerales. Alcanza los 2900 Km.

En el límite del Manto con el Núcleo se establece un nivel de transición (**nivel D**). Este nivel es el origen de las plumas del Manto y el final de los restos de Litosfera que subducen.

**Núcleo:** (desde los 2.900 hasta los 6.370 km). La densidad es muy alta, de tal manera que su composición debe ser parecida a los **sideritos** (meteoritos de hierro). Está constituido en su mayor parte por una aleación de hierro y níquel. El comportamiento de las ondas S nos muestra dos partes muy diferenciadas, separadas hacia los 5.100 kilómetros:

**Núcleo externo:** Fundido, puesto que las ondas S no lo atraviesan. La temperatura alcanza los 5.000 grados. La menor densidad con respecto al interno hace pensar que, además de hierro y níquel, puede haber otros elementos, fundamentalmente, azufre y, en menor cantidad, silicio y oxígeno. Presenta fuertes corrientes de convección.

**Núcleo interno:** Sólido, evidenciado por una mayor velocidad de las ondas P. Por su mayor densidad se piensa que su contenido en azufre es mucho menor que el del Núcleo externo. Esta circunstancia, junto con las mayores presiones existentes en el interior, posibilita su estado sólido pese a existir mayores temperaturas (superiores a 6000 ° C).

La densidad de los materiales y la temperatura a la que los minerales y rocas se ven sometidos determinan que tengan un comportamiento plástico o rígido. Esta propiedad hace que se puedan distinguir otras divisiones en el interior de la geosfera, según su **estructura** dinámica.

**Litosfera:** es una capa sólida y tiene un comportamiento rígido. Está dividida en grandes fragmentos que constituyen las placas litosféricas. Comprende la corteza oceánica y la continental y los primeros 100Km del manto superior.

**Astenosfera:** es una capa principalmente sólida aunque también contiene un aparte de materiales fundidos que le dan plasticidad. Estos materiales tienen movimientos de convección, responsables de la dinámica de las placas. Su grosor abarca desde el final de la litosfera hasta los 650-670Km de profundidad.

( Los últimos estudios demuestran que la astenosfera no existe, puesto que la zona de baja velocidad no es universal y, al parecer, las pequeñas zonas donde se encuentra un Manto más plástico, serían debidas a restos de antiguas plumas.)

**Mesosfera:** Los materiales de esta capa se encuentran en estado sólido. Corresponde a una parte del manto superior y todo el manto inferior.

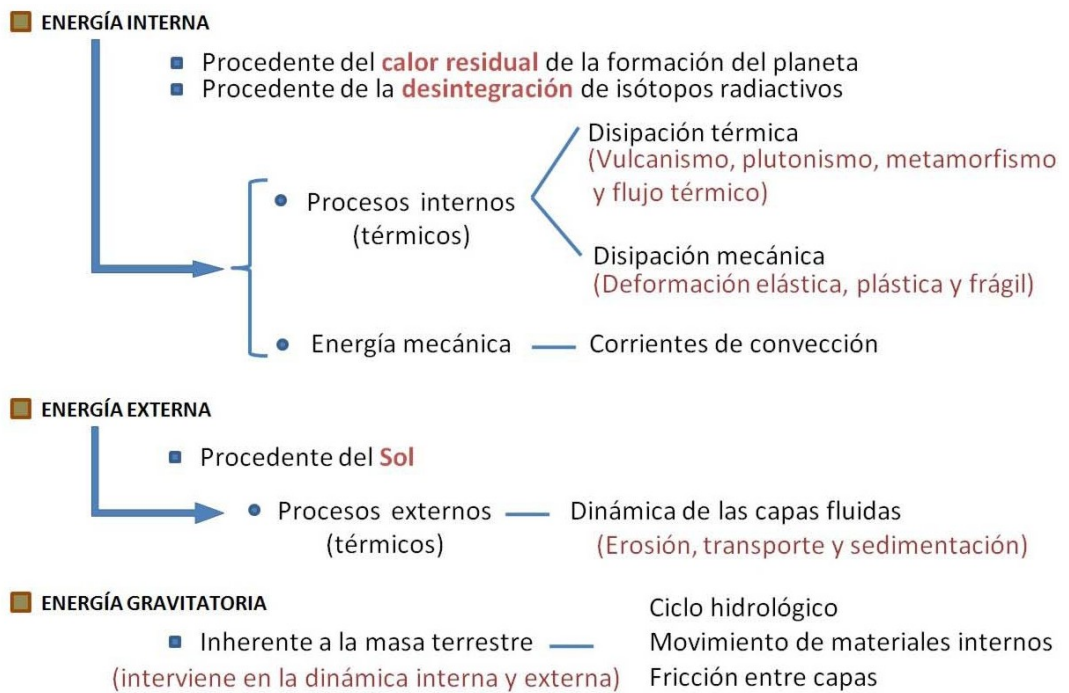
**Endosfera:** Corresponde a todo el núcleo. El núcleo externo es fluido y tiene un comportamiento plástico; el núcleo interno es sólido y, por tanto, tiene un comportamiento rígido.

## **5.2. Flujos de energía y Circulación de la materia.**

Las fuentes de energía que intervienen en la geosfera son la **energía interna** o energía térmica, procedente del calor de su interior; la **energía externa**, que procede del Sol, y la derivada de la masa que posee la Tierra, que es la **energía gravitatoria**.

La **energía térmica** es el motor fundamental de los procesos internos junto con la energía gravitatoria. Bien directamente por el calor o bien transformada en **energía mecánica**, provoca la circulación de la materia en el interior de la geosfera.

- **Circulación de la materia interna.** Las diferencias de temperatura en el interior del manto sublitosférico producen **corrientes de convección** mediante las cuales las rocas más profundas que están más calientes y son menos densas ascienden por gravedad hacia zonas más superficiales donde se enfrían. En las zonas de subducción, la litosfera oceánica, más fría y densa, desciende por el interior del manto hasta la capa D, donde se calienta, para volver a ascender hacia las dorsales y los puntos calientes. Pero no es un proceso absolutamente cíclico, pues la fusión parcial de la corteza oceánica en las zonas de subducción origina sobre ella una corteza continental más ligera, y la actividad volcánica produce la salida de gases del manto hacia la atmósfera.
- **Disipación del calor interno.** El calor interno va disipándose de dos formas: térmica y mecánicamente. La **disipación térmica** se produce por el vulcanismo, el plutonismo y el flujo térmico por conducción a través de la superficie terrestre. La **disipación mecánica** ocurre con las deformaciones tanto elásticas como plásticas y frágiles de los materiales.



### 5.3. Dinámica de la geosfera

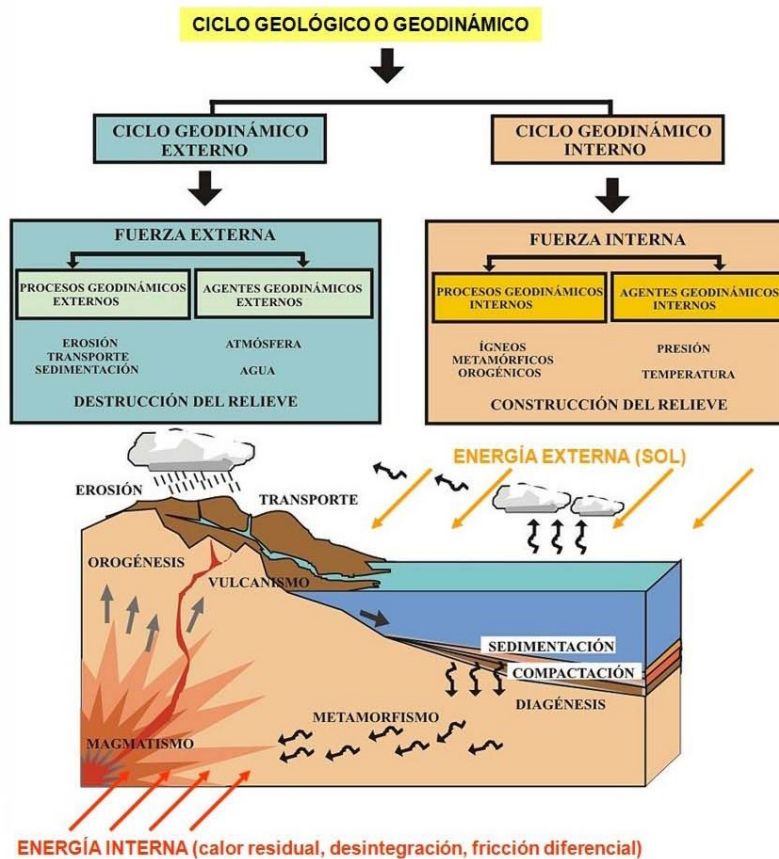
La energía interna y la gravitatoria mantienen convulso el interior de la geosfera, lo que provoca la rotura y el desplazamiento de la litosfera.

Por otra parte, la superficie terrestre es modificada por la acción de los agentes geológicos externos; el viento y el agua. Estos producen la erosión de las rocas, el transporte de los materiales y la sedimentación.

La geosfera por tanto es un **sistema dinámico**, en el que se produce una serie de **procesos geológicos** que moldean el relieve terrestre. Distinguimos entre **dinámica interna** y **dinámica externa**.

<i>Dinámica de la geosfera</i>			
<i>Dinámica interna</i>		<i>Dinámica externa</i>	
<i>Límites entre las placas</i>	<i>Procesos geológicos internos</i>	<i>Procesos geológicos externos</i>	<i>Agentes geológicos externos</i>
<i>Actividad de intraplaca</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Act. Sísmica</i></li> <li>● <i>Act. Volcánica</i></li> <li>● <i>Deformaciones</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Estáticos: meteorización</i></li> <li>● <i>Dinámicos: erosión, transporte y sedimentación</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>El agua</i></li> <li>● <i>El viento</i></li> </ul>
<i>Tectónica de placas</i>			





### 5.3.1. Dinámica litosférica. Tectónica de placas

La tectónica de placas o tectónica global intenta dar explicación, y en la mayoría de los casos lo consigue, a la totalidad de los grandes procesos geológicos: la deriva de los continentes, distribución y evolución de continentes y océanos, formación de cordilleras, origen y distribución de movimientos sísmicos, magmatismo y metamorfismo y la existencia de dorsales oceánicas, fosas oceánicas y arcos insulares.

La litosfera es la capa superficial rígida de la Tierra que descansa sobre la astenosfera, mucho más dúctil. Comprende la corteza terrestre y la parte del manto que se encuentra sobre el canal de baja velocidad (astenosfera).

La litosfera se encuentra dividida en una docena de grandes bloques denominados placas litosféricas. Los límites de estas placas coinciden con las zonas de mayor actividad sísmica y volcánica del planeta.



1.- indoaustraliana 2.- pacífica 3.- norteamericana 4.- sudamericana 5.- antártica 6.- africana 7.- euroasiática 8.- nazca 9.- caribe 10.- filipina 11.- Scotia 12.- arábiga 13.- Cocos 14.- Juan de Fuca

Los **límites entre placas** actuales son de tres tipos:

- constructivos (divergentes)
- destructivos (convergentes)
- neutros (transformantes o pasivos)

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



**5.3.1.1. En las dorsales oceánicas se forma continuamente litosfera oceánica**

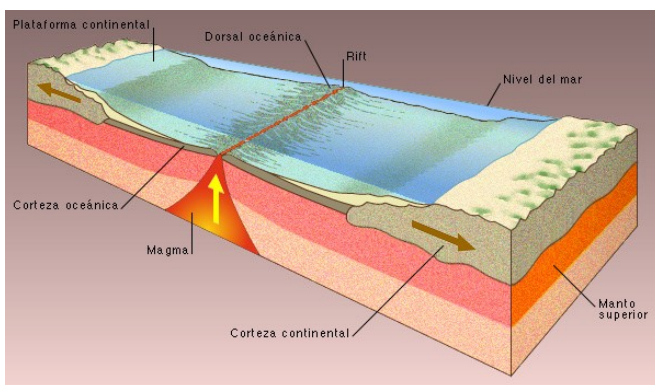
Las dorsales son cordilleras submarinas formadas por dos alineaciones montañosas paralelas separadas por una depresión denominada rift.

Las dorsales son límites constructivos porque en ellas se forma continuamente litosfera oceánica como consecuencia de la incorporación de materiales procedentes del manto. Esta formación de nueva litosfera oceánica provoca el alejamiento de las dos placas separadas por la dorsal, por lo que estos márgenes reciben también la denominación de límites divergentes o de separación.

Islandia se encuentra situada sobre la dorsal centroatlántica. Se cree que la existencia de un punto caliente bajo la dorsal en esa zona la ha hecho especialmente activa.

Las dorsales pueden aparecer donde previamente no existían como consecuencia de la fragmentación de un continente, se llama **rift intracontinental**, que suele ser un estadio previo a la formación de un nuevo océano por separación de los dos fragmentos continentales. Esto es lo que está ocurriendo en la zona del *Rift Valley* de África oriental.

En estos límites, se producen vulcanismo activo y sismo de foco poco profundo.



### 5.3.1.2. En los límites convergentes se destruye litosfera oceánica y se originan cadenas montañosas

Las **zonas de subducción** están ligadas a las fosas oceánicas. Pueden situarse en un borde continental activo o en un arco insular. En ellas, la litosfera oceánica se introduce hacia el manto, donde será digerida y destruida.

Las **zonas de colisión** se originan cuando la placa que subduce porta un continente, su parte oceánica desaparece y se produce una colisión continental. En las zonas de subducción y colisión se producen magmatismo volcánico y plutónico, sismo de diferente profundidad de foco, orogénesis, deformación de rocas y metamorfismo.

Estos límites de placa constituyen los **orógenos**, es decir, zonas de sismicidad elevada, deformación intensa, magmatismo y metamorfismo, resultantes de la interacción entre los bordes de las placas, una de las cuales subduce bajo la otra, y que normalmente originan una nueva cadena de montañas.

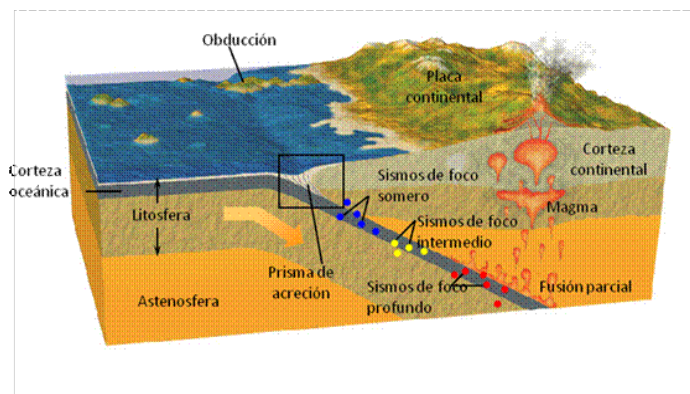
Existen tres tipos básicos de orógenos:

- los de tipo arco insular
- los de tipo andino
- y los de tipo alpino o de colisión entre continentes.

Cuando **se aproximan** dos placas litosféricas, **una continental y otra oceánica**, la más densa –es decir, la oceánica– se introduce bajo la otra. Esta región en la que la litosfera oceánica se reincorpora al manto se conoce como zona de subducción. Para introducirse bajo la otra, la placa oceánica se curva provocando la formación de una fosa oceánica en el borde del continente. La compresión de los materiales y el vulcanismo que aparece asociado al fenómeno de la subducción determinan la aparición de una cordillera paralela al borde continental (que en estos casos recibe el nombre de borde continental activo) denominada arco volcánico continental.

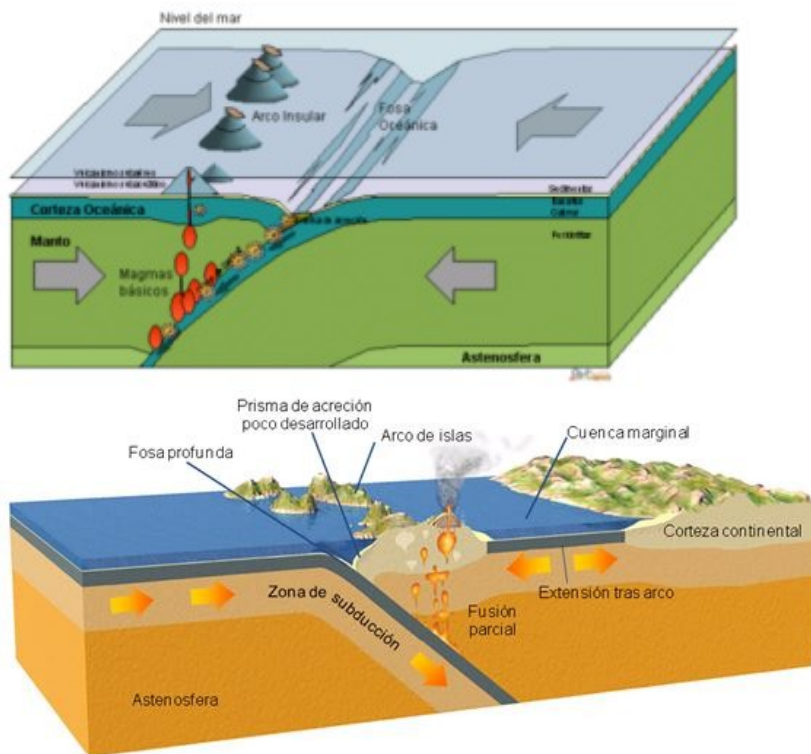
Los magmas ocasionados por la fusión parcial de la litosfera, debida al calor generado por la fricción de las placas, ascienden al ser menos densos y contener gases. Unos consiguen llegar a la superficie a través de fracturas, originando cadenas volcánicas, y otros se consolidan en profundidad, contribuyendo de esta manera a engrosar la corteza continental.

La cordillera de los Andes y las fosas oceánicas de Chile y de Perú son un buen ejemplo de esta situación.



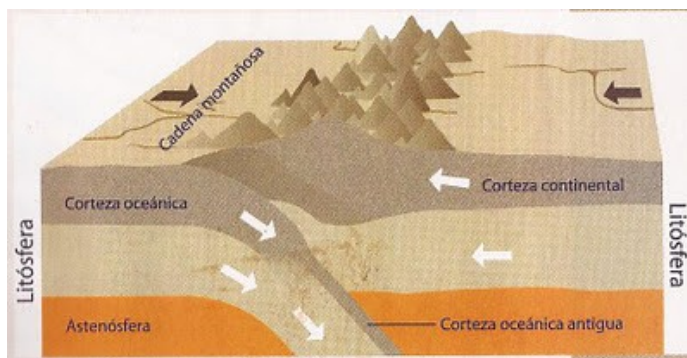
Los orógenos de tipo arco insular se originan como consecuencia de la **aproximación de dos placas oceánicas**, una de las cuales subduce bajo la otra. Como consecuencia se forma una fosa oceánica y, paralela a ella, un arco insular volcánico (principalmente se forma por acumulación de productos volcánicos procedentes de la fusión parcial de la placa que subduce). El mar que queda encerrado entre el arco insular y el continente más próximo recibe el nombre de cuenca marginal.

En la zona occidental del Pacífico podemos encontrar numerosos ejemplos de fosas oceánicas, arcos volcánicos insulares y cuencas marginales asociados.



La subducción de litosfera oceánica puede conducir al **encuentro de dos masas continentales**. En este caso, la litosfera continental es demasiado gruesa y poco densa como para subducir, por lo que el resultado es la formación de un orógeno muy voluminoso que se denomina cordillera intercontinental, debido a la imbricación y el cabalgamiento de un continente sobre otro.

Los Alpes y la cordillera del Himalaya han tenido este origen.



En las zonas de subducción, los focos de los terremotos se distribuyen en un plano inclinado en el sentido de avance de la placa que subduce (plano de Benioff).

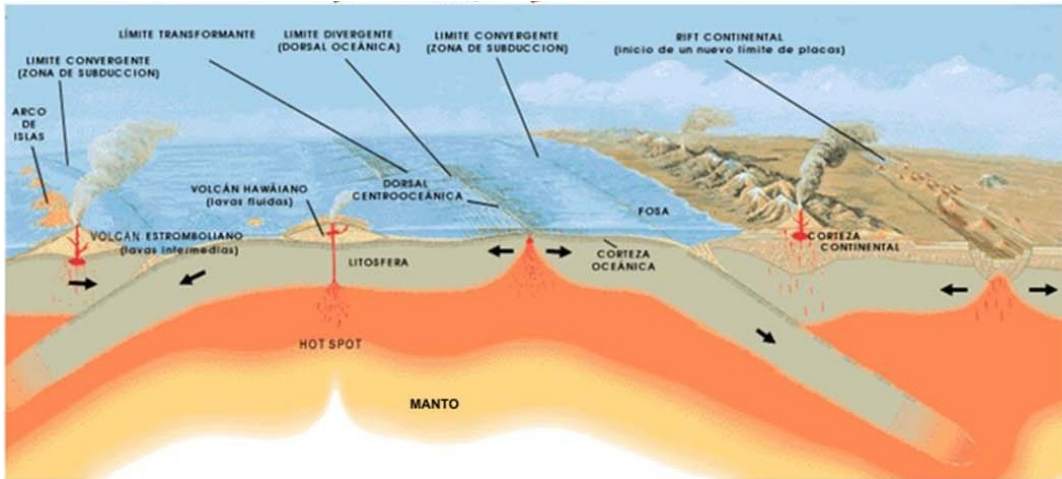
### 5.3.1.3. En los márgenes neutros ni se crea ni se destruye litosfera

Los bordes neutros son aquellos en los cuales no se crea ni se destruye litosfera, desplazándose las placas en sentidos opuestos, sin aproximarse ni separarse. Son zonas

de intensa actividad sísmica, pero un existen relieves llamativos como en los otros tipos de contactos.

Incluyen las zonas de fractura oceánicas (fallas transformantes), que atraviesan transversalmente a la dorsal dislocándola, y otras zonas en las que las placas se deslizan lateralmente. Generalmente sirven de conexión entre márgenes de otros tipos.

La falla de San Andrés, en California, es uno de los ejemplos más conocidos de este tipo de contacto ya que atraviesa una zona continental.

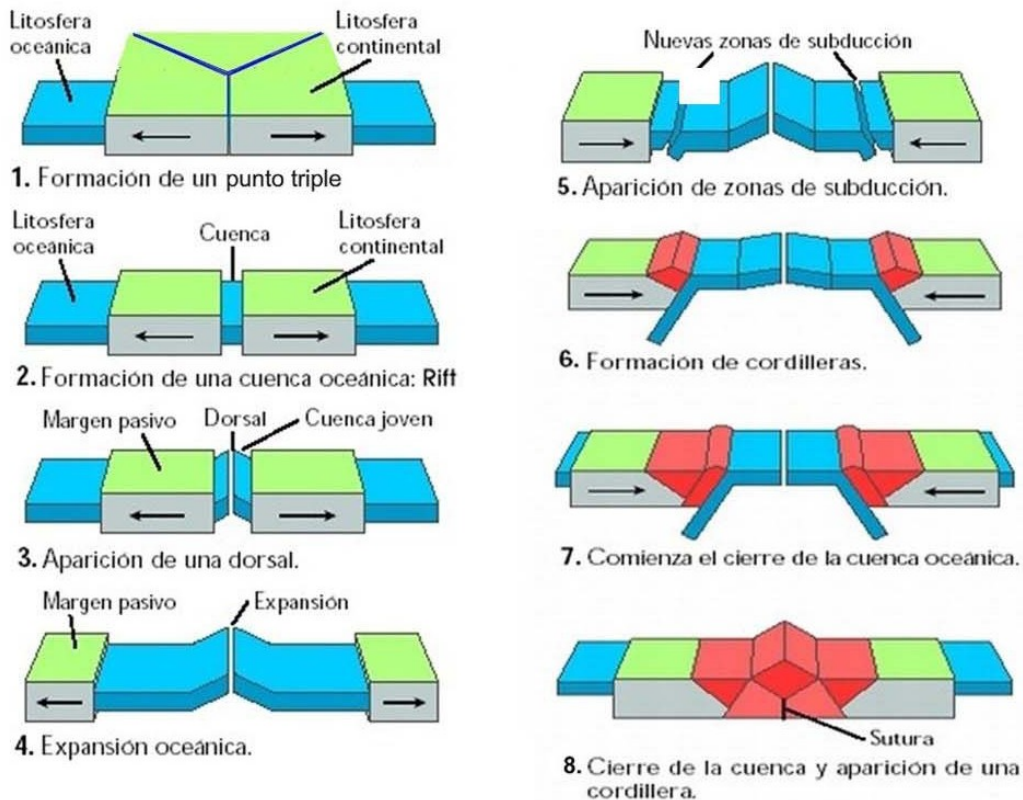


La litosfera aparece fragmentada en placas por la acción de la dinámica subyacente. Las placas se encuentran en movimiento continuo, interactuando en sus bordes. Éstos pueden ser:

- **Convergentes o destructivos** – Dorsales y rifts intracontinentales
- **Divergentes o constructivos** – Zonas de subducción y zonas de colisión
- **Transformantes o pasivos** – Fallas transformantes

La litosfera terrestre ha ido evolucionando desde poco después de formarse. La oceánica se ha ido creando y destruyendo continuamente, mientras que la continental ha permanecido en el tiempo, pero cambiando de forma; los continentes se han unido originando supercontinentes o pangeas, han crecido, y se han partido y separado en numerosas ocasiones.

Aunque no hay un acuerdo general en la regularidad de los períodos, ni tampoco en que se lleguen a formar siempre pangeas al final de cada ciclo, sí lo hay en que los procesos de separación y unión de continentes se han repetido varias veces en el tiempo a lo largo de la historia de la Tierra mediante procesos consecutivos que se denominan **Ciclos de Wilson**.



La dinámicas de

### 5.3.2. Dinámica Sublitosférica. La convección explica el movimiento de las placas litosféricas

Los mecanismos que originan el movimiento de las placas no son suficientemente conocidos. Sin embargo, la existencia de un flujo térmico elevado en las dorsales y anormalmente bajo en las fosas sugiere que alguna forma de convección térmica debe existir en el interior de la Tierra y que esta puede ser la causa del movimiento de las placas.

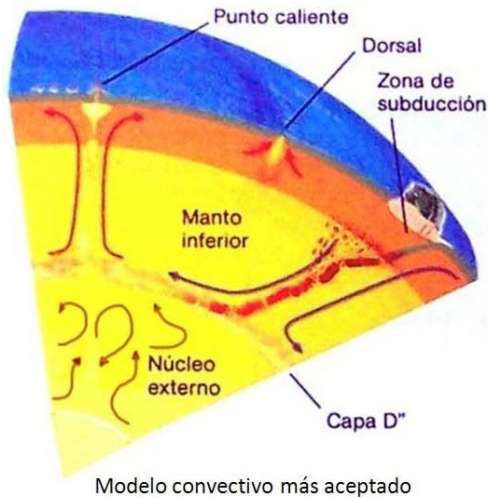
En la convección, una zona de un fluido se calienta, se dilata y pierde densidad, subiendo, enfriándose en la superficie, y volviendo a descender. De acuerdo con esta idea, las dorsales representarían las zonas donde tiene lugar el ascenso térmico y las fosas oceánicas las zonas donde tiene lugar el descenso del material ya enfriado.

Los esquemas de convección aceptados actualmente son más complejos y consideran que el ascenso convectivo es difuso y que, por lo tanto, no se limita a las dorsales. Según estos modelos, el principal motor de las placas sería el "tirón" provocado en las zonas de subducción por el aumento de densidad de los materiales debido a su enfriamiento.

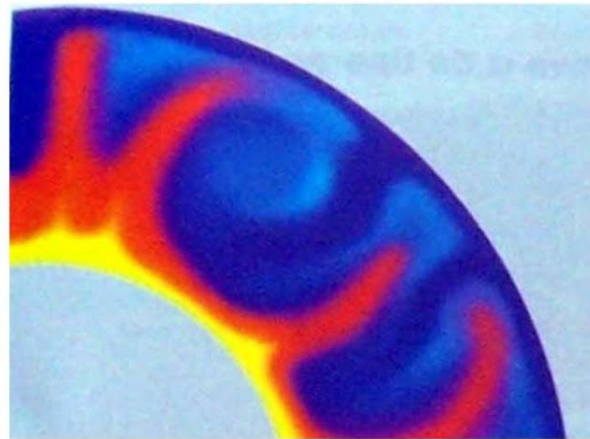
A este flujo convectivo de descenso en las zonas de subducción y ascenso difuso se superpone otro flujo ascendente concentrado consistente en penachos térmicos procedentes de zonas profundas del manto y que pueden llegar a perforar la litosfera (puntos calientes).

## ■ EL MOTOR DE LAS PLACAS.

- **Diferencias térmicas** → **Diferencias de densidad** → **Flujo plástico de materiales (movimientos convectivos)**



Modelo convectivo más aceptado



Simulación informática del modelo convectivo

Otros procesos:

- **Deslizamiento gravitatorio** de la litosfera desde las dorsales
- **Arrastre** de la litosfera subducente más fría sobre el resto (efecto "toalla").

La actividad volcánica y sísmica del planeta, aunque se concentra especialmente en los márgenes de las placas litosféricas, también afecta a zonas del interior de las placas (fenómenos intraplaca).

La tectónica de placas explica esta actividad geológica alejada de los límites de las placas como la consecuencia de la existencia de una zona de fractura, la presencia de un punto caliente o la combinación de ambos fenómenos.

En la litosfera oceánica, dado su menor grosor, la existencia de un punto caliente suele provocar la aparición de volcanes. En cambio, en la litosfera continental un punto caliente sólo originará volcanes si es una zona delgada de la litosfera, la placa está fija respecto al punto caliente o si la anomalía térmica es muy acusada. En otro caso, el resultado suele ser la formación de yacimientos de rocas plutónicas anorogénicas.

Las zonas de fractura pueden ir ligadas también a fenómenos de vulcanismo, debido a la reducción en el punto de fusión de los materiales que se produce por la descompresión, o de actividad sísmica como consecuencia de la reactivación de tales fracturas.

Las islas Hawai han sido originadas por un punto caliente que ha permanecido fijo mientras que la litosfera oceánica de la placa pacífica se iba desplazando. Nuestras islas Canarias, en cambio, se asocian a la existencia de una zona de fractura y no a una pluma térmica.



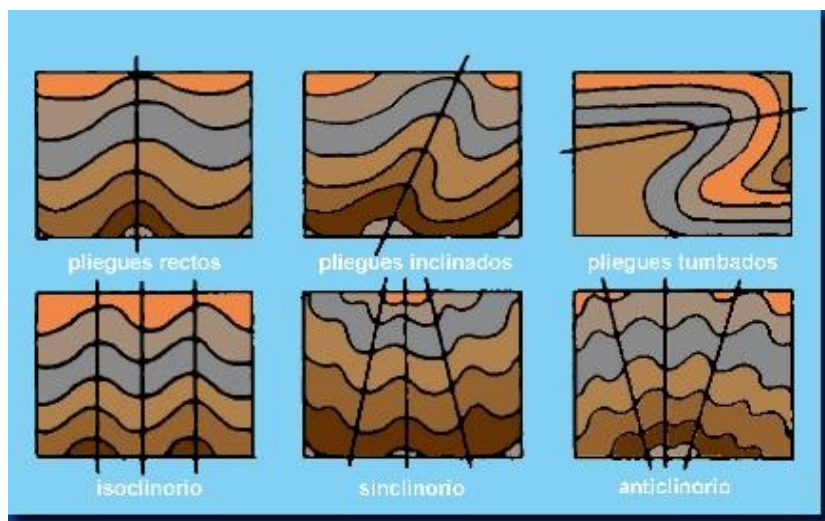
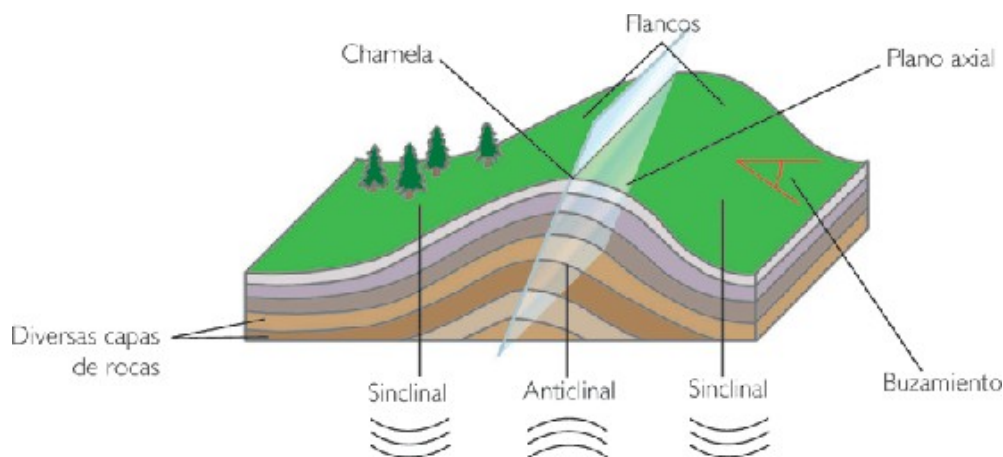
## 5.4. Procesos geológicos internos y sus riesgos.



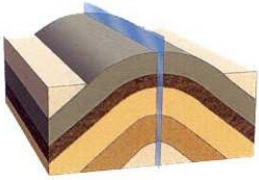

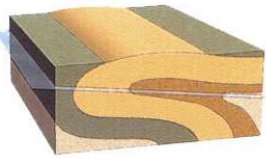
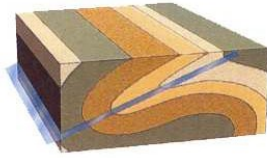
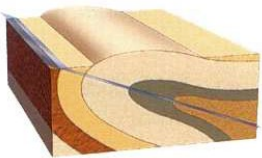

Las deformaciones de las rocas se producen por los esfuerzos a los que se ven sometidas. Existen tres tipos de esfuerzos: **compresión**, **tensión** y **cizalla**, y se pueden originar tres tipos de deformaciones: **elásticas**, **plásticas** y **de rotura**. Las deformaciones elásticas desaparecen al cesar el esfuerzo; por el contrario, las plásticas y las de rotura permanecen en el tiempo. Los materiales con un amplio campo de deformación plástica se denominan **dúctiles** y aquellos que lo tienen muy pequeño se llaman **frágiles**.

El tipo de deformación que se produzca no solo dependerá de la magnitud del esfuerzo que sufran las rocas, sino también de las condiciones en que se produce; condiciones como la **temperatura**, la **presión confinante** o **litostática**, la **presencia de agua** y el **tiempo** de actuación del esfuerzo.

### 5.4.1. Deformaciones plásticas. Pliegues

Las estructuras resultantes de estas deformaciones son los **pliegues**, se trata de ondulaciones de las rocas que se producen por esfuerzos de compresión, y que afectan sobre todo a las rocas sedimentarias y metamórficas. Los elementos de un pliegue y los diferentes tipos de pliegues se pueden ver en las siguientes figuras:



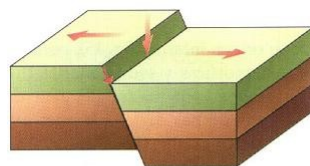
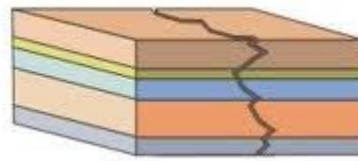
Según la edad relativa de los materiales	
	<b>Anticlinal.</b> Pliegue que tiene en el núcleo los materiales más antiguos.
	<b>Sinclinal.</b> Pliegue que tiene en el núcleo los materiales más modernos.
Según la posición de su plano axial	
	<b>Recto.</b> Pliegue cuyo plano axial buza 90° aproximadamente.
	<b>Inclinado.</b> Pliegue cuyo plano axial buza entre 85° y 10°.
	<b>Tumbado.</b> Pliegue cuyo plano axial buza menos de 10°.
	<b>Invertido.</b> Pliegue cuyo plano axial ha girado más de 90° con respecto a la posición vertical.
Según su simetría	
	<b>Simétrico.</b> El plano axial divide al pliegue en dos mitades aproximadamente simétricas.
	<b>Asimétrico.</b> El plano axial divide al pliegue en dos mitades claramente no simétricas.



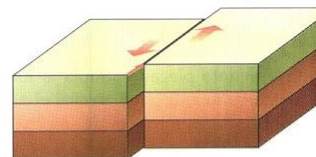
### 5.4.2. Deformaciones de rotura. Diaclasas y fallas.

Se producen cuando se sobrepasa el límite de plasticidad de las rocas. Estas fracturas pueden ser de dos tipos: **diaclasas** (los bloques de la fractura no se desplazan), y **fallas** (los bloques o labios sufren un desplazamiento relativo). Existen distintos tipos de fallas según el desplazamiento de los labios: **normales**, **inversas** y **de desgarre**.

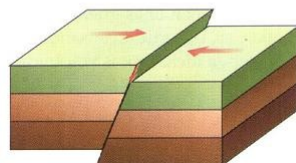
Además de la fallas existen otras deformaciones de rotura como los **cabalgamientos** y los **mantos de corrimiento**.



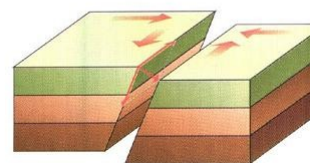
Normal



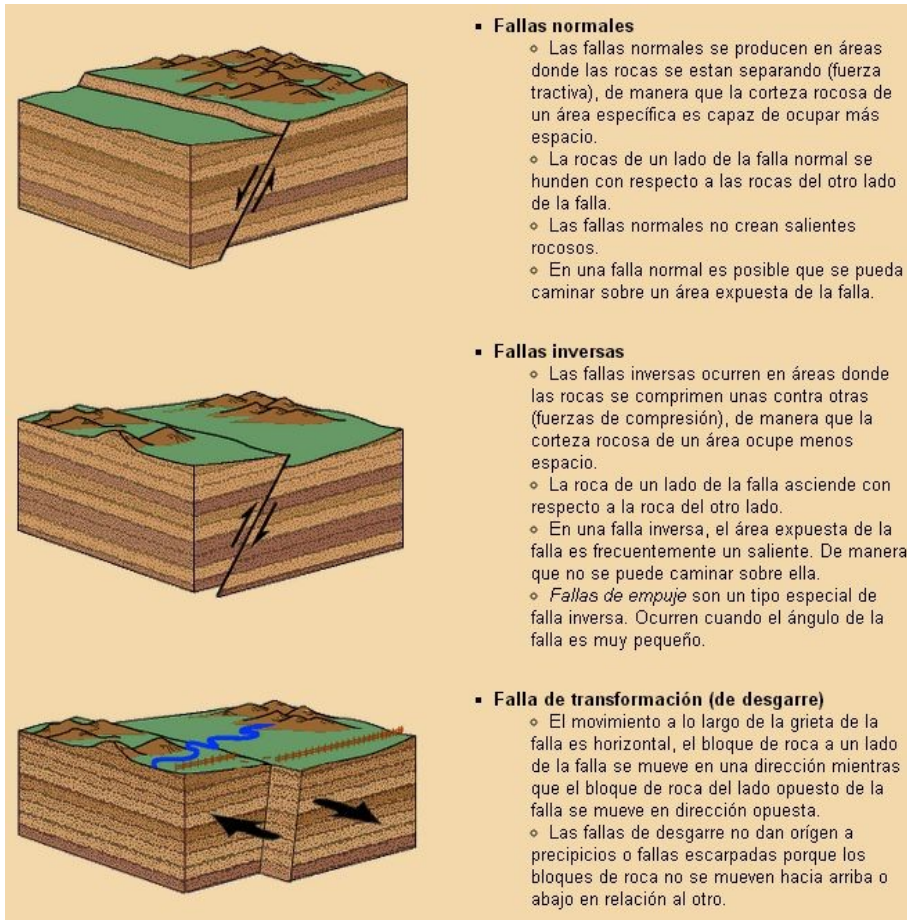
Horizontal



Inversa



Mixta

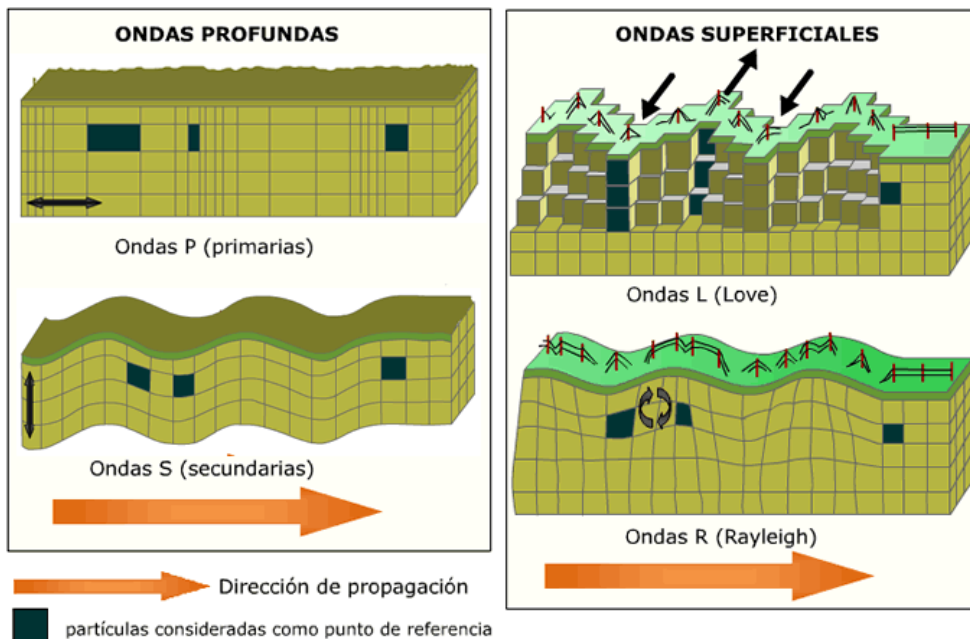
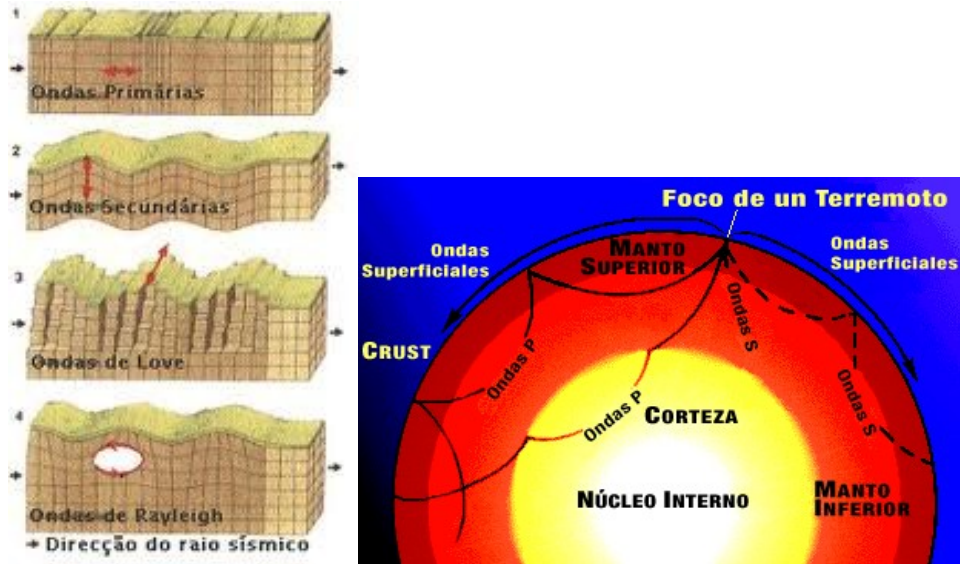


### 5.4.3. Deformaciones elásticas. Terremotos.

A partir del hipocentro, se propagan por el interior terrestre las **ondas sísmicas P** y **S**. Las ondas P se denominan **de compresión** o **longitudinales** porque el sentido del desplazamiento de las partículas a su paso es el mismo que el del desplazamiento de las ondas, y se propagan por todos los tipos de medios, sólidos y fluidos. Las S se denominan **de cizalla** o **transversales** porque las partículas se desplazan a su paso en sentido transversal al del desplazamiento de las ondas y solo se propagan por medios

sólidos. Al difundirse por el interior, no tienen participación directa en los riesgos sísmicos.

Cuando las ondas P y S llegan al epicentro, se originan y propagan por la superficie de la geosfera las **ondas superficiales** de **Rayleigh** y de **Love**, que son las que provocan los **riesgos sísmicos**.



Los terremotos son vibraciones de la superficie terrestre que se originan en un punto del interior, denominado foco o hipocentro, y se transmiten en todas direcciones en forma de ondas sísmicas. El punto de la superficie terrestre situado en la vertical del hipocentro se denomina epicentro.

Los terremotos se originan por la formación de una falla, por la reactivación de una ya existente o por fricción entre dos placas litosféricas. Según la teoría del rebote elástico el terreno próximo a una falla activa experimenta, como respuesta a los esfuerzos tectónicos, una deformación en los campos: elástico y plástico; la deformación elástica es la que explica el seísmo en sí, ya que cuando la tensión acumulada excede un valor crítico (que depende del valor del coeficiente de rozamiento interno de la roca) los bloques contiguos a la falla se desplazan bruscamente, con lo que la deformación elástica se recupera.

Las ondas producidas en un terremoto son de tres tipos: ondas P o longitudinales, ondas S o transversales y ondas L o superficiales. Los dos primeros tipos se originan en el hipocentro, mientras que el tercer tipo se originan al alcanzar la vibración la superficie terrestre.

- Las ondas P son las primeras en ser registradas en los observatorios sismológicos, ya que son las más rápidas. Se denominan longitudinales porque la vibración que provocan a las partículas se produce en la dirección de propagación de la onda. Se denominan también ondas de compresión porque provocan la compresión y dilatación alternantes de los materiales por los que pasan.
- Las ondas S son un poco más lentas y se denominan transversales porque provocan una vibración de las partículas perpendicular a la dirección del rayo sísmico. Se conocen también como ondas de cizalla porque provocan en los materiales un movimiento semejante al de las hojas de una cizalla.
- Las ondas L son las que producen los grandes daños que provocan los terremotos. En realidad corresponden a varios tipos de vibraciones: las ondas Rayleigh provocan un movimiento según una órbita elíptica orientada verticalmente en la dirección de propagación de la onda; el movimiento provocado por las ondas Love es íntegramente horizontal y consiste en sacudidas bruscas perpendiculares a la dirección de desplazamiento de la onda.

Los diversos tipos de ondas sísmicas son registrados gráficamente (sismograma) en los observatorios sismológicos por medio de unos instrumentos conocidos como sismógrafos.

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

#### 5.4.4. Deformaciones y tectónica de placas

Las deformaciones están ligadas a la tectónica de placas y se producen fundamentalmente en los límites de estas.

Límite de placas	Tipo de esfuerzo	Tipos de deformación	Estructura y Procesos
Convergente	Compresión	Elástica, Plástica y de rotura	Seísmos, pliegues, diaclasas de compresión, fallas inversas, cabalgamientos y mantos de corrimiento
Divergente	Tensión	Elástica y de rotura	Seísmos, diaclasas de tensión y fallas normales
Transformante	Cizalla	Elástica y de rotura	Seísmos, fallas transformantes y fallas de desgarre

#### 5.5. Procesos internos. Magmatismo y Rocas Ígneas

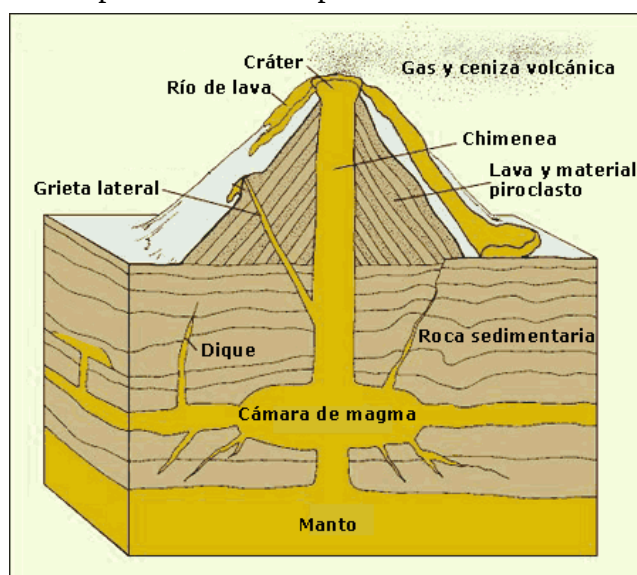
La variación de la temperatura con la profundidad se conoce como **gradiente geotérmico**. Éste alcanza un valor de 30 °C/km en la zona más superficial de la Tierra, sin embargo luego va disminuyendo de manera que en las zonas más profundas del planeta las temperaturas no superan los 4.500 – 6.000 °C.

Parte del calor interno de la Tierra es calor remanente de su formación, pero, sobre todo en las zonas más superficiales, existe otra importante fuente de calor: se trata de la desintegración de elementos radiactivos.

La actividad volcánica suele ser intermitente, alternándose largos periodos de inactividad con otros de actividad intensa. En la actualidad existen en la Tierra casi quinientos volcanes activos y cada año entran en erupción entre veinte y treinta de ellos.

Un volcán es cualquier lugar de la superficie terrestre por donde salen al exterior materiales fundidos procedentes del interior. En los volcanes fisurales estos materiales fundidos salen a largo de grietas que a veces pueden tener kilómetros de longitud; en cambio, en los volcanes centrales a través de un cráter más o menos puntual.

Los volcanes expulsan productos sólidos (piroclastos), líquidos (lavas) y gaseosos.



- Los piroclastos, según su tamaño, se diferencian en cenizas, lapilli y bombas volcánicas.
- La lava es el magma desgasificado y fluye por las laderas del volcán formando coladas (también se denominan así una vez solidificadas). La viscosidad de la lava depende de su temperatura y de su composición. Las lavas ácidas, con mayor contenido de sílice, son más viscosas y dejan escapar los gases con dificultad, al contrario que las lavas básicas, mucho menos viscosas.
- Al ascender a zonas de menos presión, los gases del magma tienden a escapar y provocan las erupciones volcánicas (efecto descorche) y las explosiones que suceden durante éstas. La mayor parte de los gases expulsados por un volcán consisten en vapor de agua, pero también emiten otros gases como, monóxido y dióxido de carbono, óxidos de azufre, ácido sulfhídrico, ...

Las erupciones se clasifican por la intensidad y la naturaleza de la actividad explosiva del volcán. El grado de explosividad depende, en gran parte, de la viscosidad de la lava; los más viscosos producen erupciones más violentas que generan grandes nubes ardientes, mientras que otras erupciones con magma de baja viscosidad no son muy violentas.

- Tipo Hawaiano: es relativamente tranquilo, y generalmente se caracterizan por los lagos de lava y flujos lávicos extensos que se generan.
- Tipo Estromboliano: erupciones que son de duración limitada en que los gases atrapados se acumulan debajo de la lava y periódicamente son expulsadas al aire masas de lava y cenizas.
- Tipo Vulcaniano: este tipo de erupción es el más violento, porque la lava más viscosa se solidifica entre las erupciones, y los gases atrapados, alcanzan una alta presión antes de que la lava superior sea expulsada del cráter.
- Tipo Pliniano: es muy violento; el magma saturado con gas es expulsado a una gran altura, generando grandes volúmenes de ceniza.
- Tipo Peleano: está caracterizado por la generación de flujos incandescentes de piroclastos (nubes ardientes) que bajan por las laderas del volcán a altas velocidades.

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

El magmatismo, incluye los procesos por los que se originan los magmas, evolucianan posteriormente hasta que se consolidan y se forman **rocas ígneas o magmáticas**.

Un **magma** es una roca fundida. Está formado por un fundido de silicatos a elevada temperatura que contiene gases y, generalmente también una fracción sólida formada por roca no fundida o por minerales ya consolidados.

La litosfera y la mesosfera terrestres son globalmente sólidas; solo se funden parcialmente para originar magmas allí donde se produce un **aumento de temperatura**, un **descenso de presión** o la **incorporación de agua**.



### 5.5.1. Evolución de los magmas

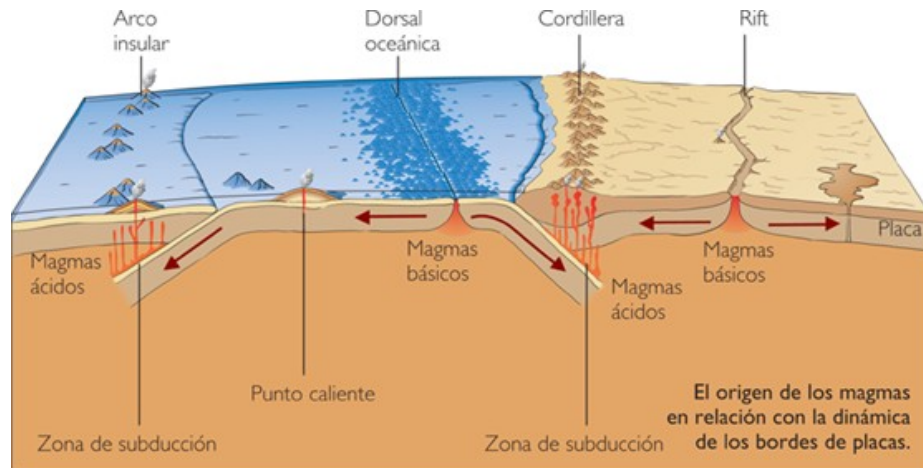
Los distintos materiales de las rocas funden a diferentes temperaturas; de manera inversa, cuando un magma se enfría con suficiente lentitud, se produce una consolidación por **cristalización fraccionada** siguiendo determinadas secuencias (series de Bowen). A lo largo de esa cristalización, pueden generarse distintos procesos que influyen en la evolución magmática. Los más frecuentes son:

- **La diferenciación.** Los minerales que cristalizan primero se van decantando por gravedad, por ser más densos que el resto fluido del magma. Si la fracción sólida cristalizada se separa, la fluida restante queda empobrecida en los elementos que esta contiene y sigue su evolución de la misma manera. Mediante este proceso, a partir de un magma de determinada composición inicial se puede formar toda una serie de rocas ígneas.
- **La asimilación.** Los magmas ascienden hacia la superficie atravesando las rocas encajantes e incorporando sus fragmentos. Estos fragmentos pueden ser totalmente digeridos y sus componentes al magma, que así cambia su composición inicial.
- **La mezcla de magmas.** Se produce cuando un magma penetra en la cámara de otro a través de fisuras, aportando sus componentes y variando así la composición del otro.

La formación de los magmas y sus tipos están relacionados con las dinámicas litosférica y sublitosférica.

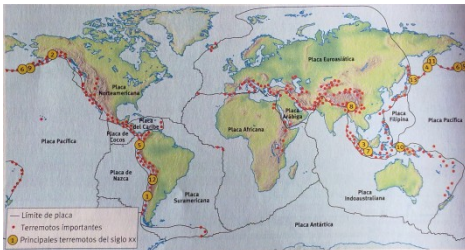
- **En las dorsales**, la separación de placas abre fracturas que hacen disminuir la presión del manto superior sublitosférico, lo que origina su fusión parcial, formándose **magmas basálticos toleíticos**.
- **En las zonas de subducción** se originan **magmas calcoalcalinos** por fusión parcial de la placa que subduce y el manto situado sobre ella. Si la subducción es oceánica-continental, al ascender, el magma se contamina con las rocas de la litosfera continental y se forman **magmas andesíticos y graníticos**. Si es oceánica-oceánica, el magma ascendente solo se contamina con sedimentos y se originan **magmas andesíticos**.
- **En las zonas de intraplaca**, el magmatismo está ligado al ascenso de plumas térmicas desde la capa D". Si se produce bajo una placa oceánica se originan **magmas basálticos alcalinos** por fusión parcial de la litosfera oceánica. Si se realiza bajo la litosfera continental, se funde la parte basáltica inferior y al ascender se contaminan, originando **magmas traquíticos y fonolíticos**.

## 5.5.2.



### Vulcanismo y tectónica de placas

Cuando los magmas, a través de fracturas llegan a la superficie, la menor presión en el exterior hace que los gases disueltos se separen bruscamente y se produzca una **erupción volcánica**. Este proceso se realiza tanto más fácilmente cuanto menor sea la viscosidad del magma. Las erupciones volcánicas son un factor muy importante de **riesgos geológicos de origen interno**.



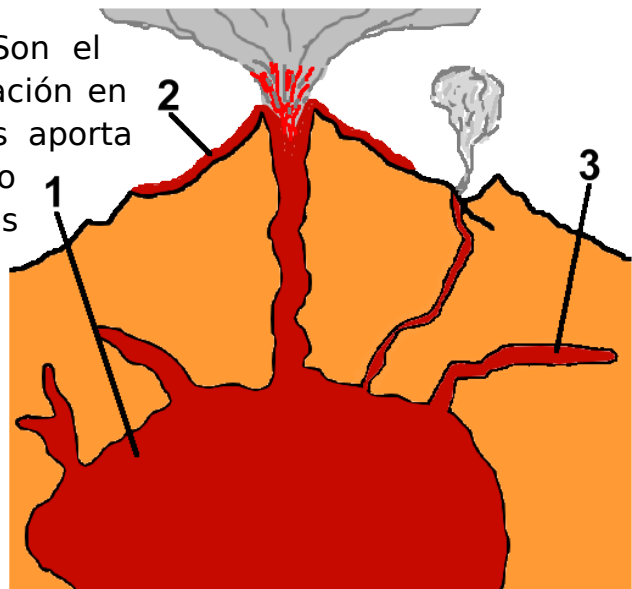
El vulcanismo está íntimamente relacionado con la tectónica de placas. Su distribución en la superficie terrestre fue una de las pruebas fundamentales de la dinámica litosférica, y sirvió para determinar la extensión y los límites de las placas.

En la figura se pueden ver las zonas principales en que se localizan los volcanes en relación con la tectónica de placas.

### • Rocas ígneas más frecuentes

La clasificación más extendida de las rocas ígneas o magmáticas se basa en el proceso que las origina. Así, se consideran tres tipos:

- **Rocas plutónicas (1):** Se forman cuando el magma se consolida en profundidad, lentamente, lo que les confiere una textura holocristalina y granuda.
- **Rocas volcánicas (2):** Son el resultado de una consolidación en superficie, rápida, que les aporta texturas vítreas o hipocristalinas. En algunas erupciones se arrojan productos sólidos o que se solidifican durante la



erupción y luego sedimentan y se consolidan, para constituir las **rocas piroclásticas**.

- **Rocas filonianas o subvolcánicas (3):** Se consolidan en profundidad, pero ceca de la superficie, generalmente, rellenando grietas y fracturas. Su velocidad de enfriamiento, intermedia entre las dos anteriores, hace que tengan características texturales también intermedias.

### Riesgos asociados a los procesos geológicos internos

Los riesgos pueden ocasionar daños al hombre o al medio ambiente o pérdidas económicas. Se considera **riesgo** a toda condición, proceso o evento que pueda causar heridas, enfermedades, pérdidas económicas o daños al medio ambiente.

Los riesgos se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Riesgos tecnológicos o culturales: consecuencia de errores humanos o de modos de vida peligrosos.
- Riesgos naturales. Pueden ser:
  - Biológicos
  - Químicos
  - Físicos
    - Climáticos o atmosféricos
    - Geológicos
    - Cósmicos
- Riesgos mixtos o inducidos: inducción o intensificación de riesgos naturales por la acción humana.

Los riesgos geológicos, pueden ser naturales, inducidos o mixtos.

Naturales	Geodinámicos internos	Volcanes Terremotos Diapiros
	Geodinámicos Externos	Terrenos expansivos Movimientos de ladera Subsidencias Dunas Inundaciones (riesgo geoclimático)
Riesgos naturales inducidos (por alteración humana de la dinámica de procesos naturales de erosión – sedimentación; estos riesgos aumentan la intensidad, extensión o probabilidad de ocurrencia de un riesgo natural)		Colmatación de estuarios y puertos Modificación de la dinámica costera Alteraciones de los deltas Radiactividad natural
Inducidos (debidos a las intervenciones humanas en el medio geológico).		Contaminación de aguas y suelos Agotamiento de recursos geológicos Subsidencias inducidas Rotura de presas

La **planificación de los riesgos geológicos** tiene por objeto la elaboración de medidas destinadas a hacer frente a los daños que estos pudieran provocar. Estas

medidas consisten en identificar, predecir, prevenir y corregir, cuando es posible, esos riesgos.

Al identificar riesgos hay que considerar factores como la **peligrosidad**, la **exposición** y la **vulnerabilidad**.

- La peligrosidad (P) es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno. Depende del propio evento y para determinarla hay que tener en cuenta:
  - Su distribución geográfica.
  - El tiempo de retorno (frecuencia con la que se repite).
  - Su magnitud o grado de peligrosidad.Frecuentemente no es posible reducir la peligrosidad de un riesgo natural, ya que no se puede evitar que estos ocurran. Cuando, más adelante, tratemos los principales riesgos naturales veremos las medidas que se pueden adoptar para reducir su peligrosidad cuando es posible.
- La exposición (E) es el número total de personas o bienes sometidos a un determinado riesgo. La superpoblación o el hacinamiento incrementan más el riesgo que la peligrosidad del proceso en sí. La exposición a un riesgo se puede valorar de dos formas:
  - Social: número de víctimas potenciales.
  - Económica: bienes expuestos.Se puede reducir la exposición a un riesgo mediante la ordenación del territorio, limitando o impidiendo la ocupación de las zonas de riesgo, o mediante el diseño de estrategias de emergencia (protección civil, sistemas de vigilancia, ...).
- La vulnerabilidad (V) representa el porcentaje, respecto al total expuesto, de víctimas mortales o de pérdidas de bienes materiales provocadas por un determinado evento.

Existen medidas destinadas a reducir este factor, como el diseño, el empleo de materiales y técnicas adecuados, etc.

Se considera riesgo (R) al producto de los tres factores implicados en él:  $R = P \cdot E \cdot V$   
Con la misma peligrosidad, aumentará el riesgo si cualquiera de los otros dos factores es elevado.

La planificación de riesgos tiene como objetivo la elaboración de medidas destinadas a hacer frente a todo tipo de riesgos. Se basa en la predicción y prevención de los mismos.

- Predicción: dónde va a ocurrir, cuándo y con qué intensidad.
- Prevención: prepararse con anticipación mediante medidas encaminadas a mitigar los daños o eliminar los efectos de los riesgos. Estas medidas pueden ser:
  - Estructurales: modificando las estructuras geológicas o haciendo construcciones adecuadas.
  - No estructurales: elaborando mapas de riesgos para hacer una adecuada planificación del territorio.
  - De protección civil:
    - Estructurales: vías de comunicación y refugios adecuados.
    - No estructurales: preparar y alertar a la población.

La cartografía de riesgos favorece la prevención de riesgos. La elaboración de mapas de riesgos es fundamental para hacer una correcta planificación del territorio y para preparar las medidas que permitan reducir los efectos de los riesgos.

Se pueden construir diversos tipos de mapas de riesgos:

- mapas de peligrosidad: se elaboran teniendo en cuenta la distribución geográfica, el tiempo de retorno y el grado de peligrosidad.
- mapas de exposición: para elaborarlos se puede tener en cuenta la densidad de población, el índice de población expuesta, el coeficiente de proximidad o el conjunto de los tres valores anteriores.
- mapas de vulnerabilidad: reflejan las pérdidas sociales o económicas.
- mapas de riesgo (social o económico): se elaboran a partir de los tres tipos anteriores.

El análisis de la relación coste/beneficio permite apreciar que es más económico prevenir los riesgos que reparar sus daños.

### ***La importancia de un seísmo puede medirse atendiendo a dos parámetros: intensidad y magnitud***

La intensidad es una medida de cómo se siente el terremoto y se mide por los efectos que produce el terremoto en cada punto. No depende sólo de la magnitud, sino de muchos otros factores. Aunque la intensidad propiamente se refiere a la alcanzada en una localidad, se suele usar también referida a un terremoto. En este caso se entiende como la intensidad máxima producida por el terremoto.

En los terremotos importantes las intensidades alcanzadas en las distintas localidades alrededor del epicentro se sitúan sobre un mapa en el que se separan por líneas las regiones de distinta intensidad. A estos mapas se les llama mapas de isosistas. La escala de intensidad más conocida es la propuesta en 1902 por G. Mercalli. La escala de intensidad actualmente en uso en Europa y oficial en España es la llamada MSK (propuesta en 1964 por Mendevev, Sponheuer y Karnik), que es una revisión de la de Mercalli y tiene también doce grados.

La magnitud de un terremoto representa la energía liberada en el foco. La escala para medir la magnitud fue establecida en 1935 por Charles F. Richter. En esta escala, un terremoto con foco a profundidad normal (entre 10 y 30 km) de magnitud menor de 3 apenas se siente en la zona cercana al epicentro. Entre 4 y 5 se siente y produce caídas de objetos y daños pequeños. Entre 5 y 6 los daños son apreciables, aumentando rápidamente para los grandes terremotos destructores de magnitud 7 y 8. Cuando un terremoto es muy superficial puede causar grandes daños, aunque su magnitud no sea muy grande.

La magnitud de un terremoto se determina midiendo la amplitud de las ondas sísmicas registradas por un sismógrafo.

### ***Existen numerosos riesgos derivados de la actividad sísmica***

Entre ellos podemos destacar:

- Daños en edificios e infraestructuras (vías férreas, carreteras, aeropuertos, ...).
- Inestabilidad de las laderas.
- Rotura de presas y conducciones de gas o agua (riesgo de inundaciones e incendios).
- Licuefacción del terreno (ocurre en ciertos terrenos arenosos o arcillosos que contienen mucho agua).
- Tsunamis (relacionadas con los maremotos).
- Desaparición de acuíferos y desviación del cauce de ríos.
- Rotura de cables y conducciones submarinas debido a corrimientos de tierra.
- Epidemias, relacionadas con la descomposición de los cadáveres y la rotura de las conducciones de agua potable y del alcantarillado.

### ***Los métodos de predicción se basan en el estudio de la historia sísmica y de los precursores***

Las zonas sísmicas pueden clasificarse mediante un índice de sismicidad, que es el número de seísmos registrados por cada 100.000 km<sup>2</sup> de superficie. El mayor índice lo tiene Japón (382) seguido por Chile, Nueva Zelanda e Italia.

El efecto potencial de los terremotos de una zona sobre las construcciones humanas se conoce como capacidad de daño, y la distribución de esta capacidad en el tiempo se denomina riesgo sísmico.

En principio, un terremoto se desencadena cuando la tensión acumulada en los labios de una falla supera el rozamiento en el plano de ésta. Por lo tanto, todo seísmo debe ir precedido de un periodo de acumulación de tensiones en el entorno de la fractura. Estas tensiones crecientes afectarán a las propiedades físicas del terreno, constituyendo estas variaciones indicios precursores del seísmo que se avecina. Los principales precursores sísmicos son:

- Elevaciones del terreno (unos centímetros).
- Reducción de la conductividad eléctrica del terreno.
- Variaciones en el campo magnético local.
- Disminución de la relación  $V_p/V_s$  en las ondas sísmicas que atraviesan el terreno próximo a la falla.
- Aumento de la cantidad de radón en el agua de pozos profundos.
- Aumento de la cantidad de microseísmos locales.

La predicción sísmica se basa en el estudio de la historia sísmica de una región y en el estudio de los precursores.

- El historial de los temblores de tierra en las regiones de alto índice de sismicidad permitirá definir una cadencia media de seísmos. A partir de ella, las zonas de mayor intervalo de calma sísmica son las de mayor riesgo, ya que llevan más tiempo acumulando tensiones.
- En cuanto al estudio de los precursores se aplicaría en las fallas de alto riesgo, controlando toda su longitud para poder detectar los segmentos que están acumulando mayor cantidad de tensión.

## ***Las normas de construcción sismorresistente intentan prevenir los daños provocados por los terremotos***

Muchas veces el daño originado por un terremoto se debe principalmente se debe principalmente al hacinamiento o a las deficiencias en las construcciones.

La normativa básica en zonas sísmicas va encaminada a reducir la vulnerabilidad y la exposición.

En sustratos rocosos los edificios deben ser lo más simétricos posible, estar contruidos sobre cimientos que absorban vibraciones y permitan la oscilación y mantener una distancia de separación que impida choques entre edificios.

Sobre suelos blandos los edificios deben ser bajos, rígidos y no demasiado extensos porque la vibración diferencial de distintas zonas puede originar su derrumbamiento.

La elaboración de mapas de riesgo resulta útil para la predicción y prevención ya que a partir de ellos se puede llevar a cabo una correcta ordenación del territorio.

Como norma de prevención también hay que citar los planes de emergencia, de alerta y de protección civil, que incluyen las campañas de información a la población sobre cómo actuar en caso de terremoto.

## ***Los asentamientos humanos próximos convierten a los volcanes en graves riesgos***

Los factores que intensifican el riesgo volcánico son:

- El incremento de población en sus proximidades.
- El tipo de erupción: depende de la viscosidad de la lava y de la presencia o ausencia de gases. Un mismo volcán puede experimentar erupciones de distintos tipos. Ver cuadro de la página siguiente.
- Los principales riesgos derivados de la actividad volcánica son:
  - Riesgos directos: coladas de lava, lluvias de piroclastos, nubes ardientes y formación de calderas.
  - Riesgos derivados:
- Erupciones freato-magmáticas: el magma entra en contacto con agua provocando su vaporización y originando grandes explosiones.
- Lahares: corrientes de fango producidas por fusión de nieve o hielo en la cumbre del volcán.
- Tsunamis: gigantescas olas originadas por el hundimiento de calderas submarinas.
- Movimientos de ladera: deslizamientos, desprendimientos y avalanchas.
- Emisión de venenos y gases asfixiantes.

## TIPOS DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA

IEV *	% de piroclastos o coladas piroclásticas	Denominación	Materiales emitidos	Peligrosidad
0 – 1	0 - 3	Hawaiana	Coladas	Arrasamiento de cultivos Cortes en vías de comunicación
1 – 2	40	Estromboliana	Piroclastos y coladas	Explosiones frecuentes pero poco peligrosas Enterramiento por cenizas
2 – 4	60	Vulcaniana	Coladas y piroclastos	Aplastamiento por caída de piroclastos Explosiones violentas
4 – 8	99	Pliniana	Coladas piroclásticas	Caída de piroclastos Enfriamiento del clima (emisión de aerosoles)
5 – 8	99	Ultrapliniana	Coladas piroclásticas	Lluvias torrenciales (condensación de vapor de agua emitido) Lahares y avalanchas Calderas de colapso Riesgo de sismos y tsunamis consecuentes

\* IEV= Índice de Explosividad Volcánica. Los valores bajos indican vulcanismo efusivo y los altos explosivo.

La predicción de la actividad volcánica se hace desde dos puntos de vista:

- Análisis de la historia eruptiva del volcán.
- Diversos precursores geofísicos y geoquímicos como:
  - Pequeños temblores de tierra.
  - Ruidos.
  - Cambios en la topografía.
  - Variaciones en el potencial eléctrico de las rocas (por el aumento de temperatura).
  - Anomalías gravimétricas.
  - Análisis de gases emitidos.

Los métodos de prevención requieren la elaboración previa de mapas de peligrosidad y de riesgo. Algunas medidas que se pueden adoptar para reducir los daños pueden ser:

- Desviar las coladas de lava mediante muros o zanjas.
- Construir túneles de descarga del agua de los lagos del cráter para evitar la formación de lahares.
- Vigilar permanentemente los volcanes activos y evacuar poblaciones que pueden verse afectadas por una erupción si se detecta cualquier actividad anormal (precursores).
- Contratar seguros que cubran la pérdida de propiedades en caso de desastre natural.
- Evitar la construcción en zonas de riesgo elevado y cambiar el emplazamiento de núcleos de población ya existentes.
- Construir de viviendas con tejados semiesféricos en los que no se pueda acumular la ceniza.

## **5.7. PROCESOS GEOLÓGICOS EXTERNOS Y SUS RIESGOS.**



### 5.7.1. Dinámica externa

La superficie de la litosfera está en contacto con los otros sistemas naturales: atmósfera, hidrosfera y biosfera. La dinámica de estos sistemas produce diversas modificaciones del relieve. Estas modificaciones reciben el nombre de **procesos geológicos externos** (meteorización, erosión, transporte, sedimentación y diagénesis)

Los procesos geológicos externos están producidos por la acción de los **agentes geológicos externos**, que son principalmente el agua y el viento, impulsados por la energía solar y la energía gravitatoria.

Los procesos geológicos externos producen dos efectos fundamentales sobre la geosfera: **Originan rocas sedimentarias** y provocan el **modelado del relieve**.

### 5.7.2. Procesos Geológicos Externos

A expensas de la energía solar transformada en energía potencial, los agentes geológicos (atmósfera, agua y viento) modifican la superficie terrestre por medio de acciones o procesos geológicos (meteorización, erosión, transporte y sedimentación), dando lugar al modelado del relieve. La fuerza de la gravedad favorece el transporte desde las zonas elevadas a las deprimidas.

Las formas de modelado resultantes dependen del agente geológico predominante (que viene determinado por el clima), del tipo de rocas y de la disposición estructural de éstas.

Los procesos geológicos externos se dividen en: **procesos estáticos** y **procesos dinámicos**.

#### Procesos Estáticos: La Meteorización

La meteorización es la disgregación y descomposición de las rocas provocada por el agua, el aire, los cambios de temperatura, así como de algunos seres vivos. La meteorización es un proceso que ocurre *in situ*, es decir, sin que la roca experimente ningún transporte.

La meteorización de las rocas favorece su erosión posterior por la acción de los agentes geológicos externos. El grado de meteorización depende de la composición de las rocas, las características climáticas y el tiempo de exposición a las condiciones que provocan la meteorización.

La meteorización puede ser **química** (alteración o descomposición) o **mecánica** (disgregación), según se produzcan o no transformaciones químicas en los componentes de la roca. La meteorización mecánica favorece a la química puesto que aumenta la superficie de contacto de la roca con la atmósfera.

La meteorización mecánica se ve favorecida en los climas extremos (desiertos y zonas glaciares y periglaciares) en los que apenas hay agua en estado líquido. La meteorización química, en cambio, requiere la presencia de agua líquida y se ve favorecida por los climas cálidos y húmedos.

- **Meteorización mecánica.** Consiste en una disgregación progresiva de las rocas sin que cambie su composición química. En función del agente que actúe, se consideran los siguientes tipos:
  - **Gelifracción, gelivación o crioclastia:** El agente es el hielo, que realiza el “efecto cuña” en las grietas de las rocas.
  - **Termoclastia.** Se debe a los calentamientos y enfriamientos cíclicos de las rocas, lo que desemboca en rotura por fatiga mecánica.
  - **Bioclastia:** Debida a la acción de los seres vivos (crecimiento en grosor de raíces, perforaciones para hacer madrigueras, etc...)
  - **Haloclastias.** Se da por el crecimiento de cristales de sales en las grietas de las rocas generando también el llamado “efecto cuña”.
  - **Descompresión:** Las rocas que se forman en el interior de la tierra pueden aflorar a la superficie. En este caso, la presión y la temperatura disminuyen, y las rocas experimentan una descompresión que produce rotura.
  
- o **Meteorización química o alteración:** ya que se dan cambios en la composición química de las rocas debido a las reacciones químicas entre los minerales y los componentes de la atmósfera, hidrosfera y biosfera. Las principales reacciones son:
  - **Hidrólisis:** es una reacción que se produce entre el agua y algunos minerales, de forma que la red cristalina se altera y se forman nuevos minerales.
  - **Oxidación:** reacción de determinados iones con el oxígeno (en presencia de agua)
  - **Disolución:** El agua disocia en iones los minerales solubles y los transporta disueltos en ella.
  - **Carbonatación:** El CO<sub>2</sub> del aire forma ácido carbónico con el agua que reacciona con las rocas calizas, disolviéndolas con más facilidad.
  - **Hidratación:** las moléculas de agua se insertan en las estructuras cristalinas de algunos minerales, lo que produce un cambio de volumen, y ello facilita su disgregación.

### **Procesos dinámicos: erosión, transporte, sedimentación y diagénesis.**

Los procesos dinámicos son los que implican un movimiento de las rocas a las que afectan. Se produce la secuencia siguiente:

- Erosión del terreno, que se disgrega
- Transporte de los materiales erosionados
- Sedimentación de estos materiales en otra zona.

A continuación, describimos estos pasos con mayor detalle.

## Erosión

Mediante este proceso, los materiales resultantes de la meteorización son evacuados hacia otros lugares, con lo que el relieve se modifica. Es el desgaste de las rocas producidas por el agua o el viento. En ocasiones, quedan in situ y constituyen la materia prima a partir de la que se va formando y evolucionando el suelo.

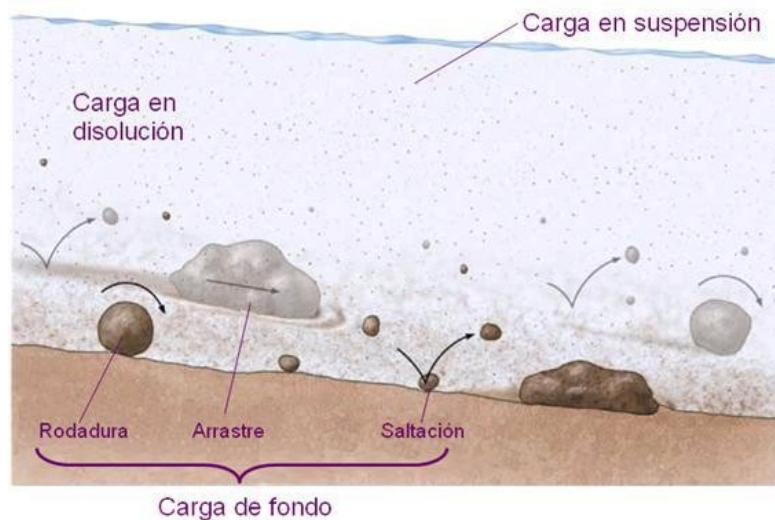
La erosión se produce de dos maneras:

- **Desprendimiento** de partículas de roca por la fuerza del agua o del viento.
- **Abrasión** de las rocas, proceso mediante el cual las partículas sólidas que transportan el agua y el viento chocan contra la superficie de las rocas.

## Transporte

Es el proceso por el cual los materiales, resultantes de la meteorización y erosionados son trasladados a otro lugar por la acción de diversos agentes. El tipo de transporte depende del agente que lo realice (agua, aire, hielo o procesos gravitacionales), de la energía que este desarrolle y del tamaño de las partículas transportadas. El tipo de transporte aporta a los sedimentos desplazados características que quedan reflejadas en su textura.

Denominamos transporte **químico**, a aquel en que las partículas son transportadas disueltas en el agua; y **físico**, si el agua o el viento transportan las partículas por arrastre, rodadura, saltación o en suspensión.



## Sedimentación

Se produce cuando cambian las condiciones de transporte o el medio de transporte pierde energía. Puede ser de dos tipos: **mecánica** y **química**. Mediante la sedimentación mecánica, se depositan los materiales detríticos de diferentes tamaños, mientras que los iones lo hacen por sedimentación química. Si en la sedimentación química intervienen directa o indirectamente los seres vivos, se denomina **sedimentación bioquímica**.

También podemos hablar de sedimentación **repentina**, si los sedimentos de distintos tamaños quedan mezclados; o bien, sedimentación **gradual**, de forma que primero se depositan los sedimentos de mayor tamaño y, después, los más pequeños.

## Diagénesis

Una vez que se produce la sedimentación, el resultado es un **sedimento** constituido por materiales sueltos, sin cohesionar. La diagénesis es el proceso por el que este sedimento se transforma en roca sedimentaria. Durante la diagénesis suceden una serie de procesos.

- o **Compactación.** La presión litostática que genera el peso de los materiales superiores disminuye el volumen de los sedimentos al acercar las partículas unas a otras, reduciendo el contenido de aire y de agua de los sedimentos originales.
- o **Cementación.** Se produce al precipitar químicamente los minerales disueltos en el agua que circula entre los poros de los sedimentos. Los minerales precipitados actúan de cemento de unión entre los granos del sedimento. Los cementos más frecuentes en las rocas sedimentarias son la calcita y la sílice.
- o **Recristalización.** Ocurre cuando los granos minerales del sedimento, sin cambiar de composición, aumenta de tamaño.

### 5.7.3. Principales agentes geológicos externos

Son los responsables de los procesos geológicos externos que hemos descrito. Los principales son el agua y el viento. Los seres vivos también son agentes geológicos externos y participan en la meteorización mecánica del suelo.

Los agentes geológicos pueden actuar conjuntamente, aunque el predominio de uno u otro viene determinado, principalmente, por el clima.

Los agentes geológicos originan distintos **modelados** o modificaciones de la superficie terrestre.

El agua				El viento	
Aguas Continentales				Aguas oceánicas	
De escorrentía	Torrentes y ríos	Glaciares	Subterráneas	Modelado Costero	Modelado eólico
Modelado de ladera	Modelado fluvio-torrencial	Modelado glaciar	Modelado cárstico		

### 5.7.4. Sistemas de ladera y sus riesgos



Las aguas de arroyada o salvajes son las procedentes de las lluvias o del deshielo que discurren por las laderas sin cauce fijo. Su acción

va a depender de la



cantidad de precipitaciones, de la pendiente, del tipo de material y de la cobertura vegetal. Pueden actuar de forma difusa (**arroyada difusa**), en cuyo caso su acción es muy escasa, sobre todo si existe vegetación, o concentrada, formando surcos (**cárcavas**) que pueden crecer y unirse formando barrancos. La acción de estas aguas es especialmente notable en laderas empinadas, formadas por rocas blandas y con escasa vegetación.

Los fenómenos de ladera, o movimientos en masa, son todos los desplazamientos producidos, por la acción de la gravedad. Junto a los ríos, son los fenómenos erosivos más ampliamente repartidos y, por tanto, los más importantes de todo el planeta.

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

- En las coladas de barro se produce un flujo rápido de materiales de grano fino (limos o arcilla) saturados de agua que repentinamente se comportan como un fluido viscoso. Generalmente el proceso se desencadena como consecuencia de una vibración brusca (caída de un gran bloque rocoso, terremoto, ...).



- La reptación (*creep*) es un fenómeno lento que se produce como resultado de la suma de dos movimientos: elevación perpendicular al suelo como consecuencia del aumento de volumen (por hidratación o congelación) y caída vertical al recuperar el suelo el volumen inicial. El movimiento ladera abajo es tan lento que solo se puede percibir por los efectos que provoca (árboles arqueados, inclinación de vallas y postes, ...). La reptación es especialmente intensa en zonas periglaciares.



- La solifluxión es un proceso en el que participan el flujo y la reptación sobre suelos saturados de agua, característico también de las zonas periglaciares. Se trata de pequeños y lentos flujos viscosos producidos intermitentemente en cada ciclo de hielo-deshielo.



- Los deslizamientos (traslacionales y rotacionales) son característicos de medios sólidos. En ellos existe una superficie de despegue que separa el material desplazado del inmóvil; el movimiento se inicia cuando se supera la fuerza de rozamiento entre ambos. El agua juega un doble papel en estos fenómenos: por un lado reduce el rozamiento y, por otro, aumenta el peso de la masa potencialmente deslizante.



- Los desprendimientos consisten en la caída brusca y aislada de bloques o fragmentos rocosos de un talud.



- Las avalanchas y los aludes son flujos turbulentos o caóticos de material rocoso o de hielo y nieve respectivamente.



La vegetación tiene un importante papel en el efecto de las aguas de escorrentía sobre los terrenos. Así, en una ladera poblada por un bosque, la erosión es casi inexistente, mientras que en terrenos sin vegetación, la erosión es mucho mayor.

Además, el lavado prolongado de la superficie produce suelos desprovistos de nutrientes, sobre los que pueden crecer escasas especies vegetales.

Con el paso del tiempo, la acción prolongada de las aguas de escorrentía origina formas espectaculares, como las **chimeneas de las hadas** o los **badlands**.



Este riesgo de movimientos de ladera puede verse reducido o incrementado por diversos factores:

Reducen el riesgo:

- La elevada cohesión de los materiales.

- La existencia de vegetación fuertemente enraizada.
- Pendientes inferiores al 15%.

Aumentan el riego:

- La alternancia de épocas de lluvia o de deshielo.
- El aumento de la escorrentía.
- El estancamiento del agua.
- Los cambios frecuentes en el nivel freático.
- La alternancia de estratos con diferente permeabilidad.
- La fuerte pendiente.
- La presencia de materiales alterados.
- Los planos de estratificación paralelos a la pendiente.
- La presencia de fallas o fracturas.

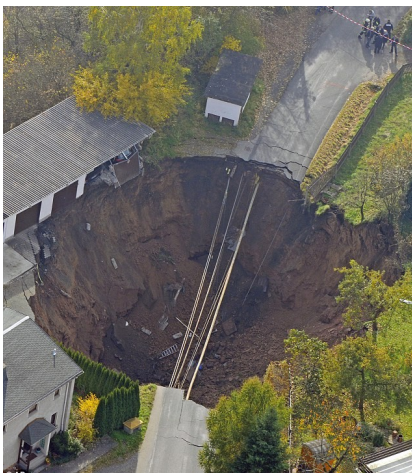
Sin embargo, existen formas de **Predicción**:

- Existen diversas técnicas que suministran información sobre la evolución de las laderas: (Seguimiento de cambios en la superficie entre puntos de referencia, Medidas de dilatación de grietas en las rocas, Determinación del nivel freático o piezométrico, Clinómetros y extensómetros ...) para la elaboración de mapas de riesgos

**Prevención:**

- Construcción de diques y presas para regular el caudal (laminación del caudal: se reduce el caudal punta) reteniendo el agua e inundando zonas de manera controlada. Cuando los diques o presas se desbordan pueden originar un desastre de mayores proporciones que la inundación natural.
- Ensanchamiento de cauces.
- Desvío y canalización de los cauces.
- Reforestación y conservación de suelos.
- Inyección de sustancias que incrementen la cohesión
- Ordenación del territorio encaminada a regular determinados usos de las zonas propensas a las inundaciones.
- Planes de alarma y evacuación (protección civil).
- Contratación de seguros.

También pueden generarse fenómenos de **subsidiencias** (hundimientos lentos), y **colapsos** (hundimientos bruscos)



Las posibles causas de las subsidiencias y los colapsos son:

- Hidrocompactación: los limos y loess, al saturarse por primera vez, pierden por disolución el cemento que los une.
- Licuefacción de formaciones arcillosas durante terremotos.

- Procesos de tipo cárstico por disolución de sales, yesos o formaciones calcáreas.
- Contracción del terreno debido a la pérdida de humedad en turberas, formaciones arcillosas y arenosas. Puede ser por causas naturales (periodos especialmente secos) o inducidas (sobreexplotación de acuíferos, derivación de aguas de escorrentía para otros usos, ...).
- Compactación de terrenos no consolidados debido al exceso de carga.
- Explotaciones mineras subterráneas.

#### Riesgos derivados

- Pueden afectar a estructuras aisladas o, en ocasiones, a grandes áreas, incidiendo en la infraestructura y en los servicios básicos.

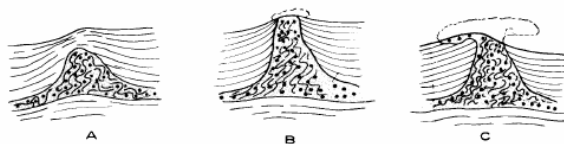
#### Predicción:

- Estudios geotécnicos previos a la realización de construcciones (investigación de las características geológicas –litológicas y estructurales– y reológicas –comportamiento frente a la deformación– de los materiales).
- Elaboración de mapas de riesgo.

#### Prevención:

- Ordenación del territorio y establecimiento de normativas de construcción o de explotación.
- Sobrecarga durante cierto tiempo (un año) previo a la construcción.
- Drenaje, también para acelerar la consolidación.
- Consolidación dinámica (apisonado).

Los **diapiros** se forman en series sedimentarias que llevan intercalados estratos de rocas salinas. Estas rocas, al ser muy plásticas tienden a acumularse en las charnelas de los anticlinales y además, al ser menos densos, tienden a ascender perforando los materiales superpuestos.



#### Riesgos derivados:

- Deformaciones del suelo e inestabilidad de las construcciones.
- Hundimiento del terreno por disolución.

#### Predicción::

- Elaboración de mapas de riesgo y estudios gravimétricos (los materiales poco densos de los diapiros provocan anomalías gravimétricas negativas).

#### Prevención:

- Relleno de las cavidades originadas por disolución.



**Ciertos materiales se hinchan al hidratarse:** Las arcillas, los limos arcillosos, las margas y las anhidritas (que al hidratarse forma yeso) forman suelos expansivos porque aumentan de volumen cuando se hidratan; cuando se deshidratan se agrietan como consecuencia de la retracción que sufren.

Riesgos derivados:

- Roturas en edificios
- Pérdida de asentamiento en los cimientos y muros
- Rotura de cañerías
- Deformación de pavimentos

Predicción:

- Estudios geotécnicos previos a la realización de construcciones (investigación de las características geológicas –litológicas y estructurales– y reológicas –comportamiento frente a la deformación– de los materiales).

Prevención:

- Tratamiento químico (inyección de cal o potasio)
- Corrección de pendientes.
- Construcción de drenajes
- Empleo de cimentaciones especiales.
- Restricciones de uso en zonas susceptibles (ordenación del territorio)

### 5.7.5. Los ríos son importantes agentes del modelado del relieve: Modelado fluvio-torrencial

(Ver Tema pasado)

Recordamos:

Río			Torrente		
Curso Alto	Curso Medio	Curso Bajo	Cuenca de recepción	Canal de desagüe	Cono de deyección
Erosión	Transporte	Sedimentación	Erosión	Transporte y erosión	Sedimentación

Los ríos son los principales transportadores de materia mineral de los continentes a los océanos, ya que conducen el 89% de los materiales que llegan al mar.

Las corrientes fluviales poseen gran cantidad de energía que se utiliza en procesos de erosión y transporte de materiales, además de erosionar y profundizar el propio cauce, que adquiere una forma típica en “V”.

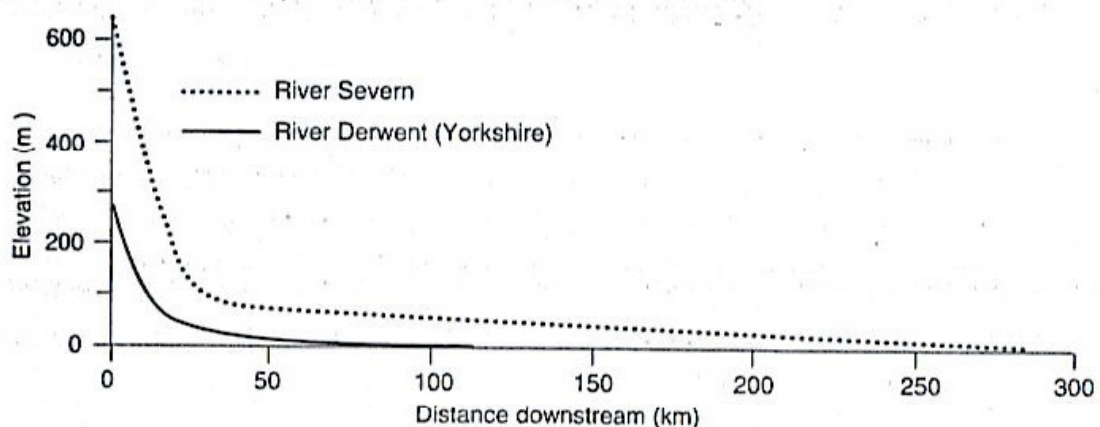
La erosión fluvial depende del caudal, de la pendiente y del tipo de materiales que arrastre la corriente. La abrasión fluvial es un proceso de desgaste mecánico que se produce cuando las partículas transportadas por la corriente golpean las paredes del cauce. Esta abrasión crea pilancones o marmitas de gigante (oquedades cilíndricas

excavadas en el lecho rocoso del curso alto de un río) y cascadas con cavidades en su base.

La sedimentación se produce cuando la velocidad del flujo decrece, generalmente como consecuencia de la disminución de la pendiente.

Las terrazas fluviales son depósitos aluviales antiguos que han quedado colgados al encajarse el río y erosionar su propia llanura de inundación. Tradicionalmente se relacionan con las glaciaciones cuaternarias, cuando el poder erosivo del río pudo reactivarse como consecuencia del deshielo en los periodos interglaciares.

El **perfil de equilibrio de un río** es el estado estacionario (o estado de equilibrio dinámico) de un curso fluvial, en el que el perfil longitudinal de éste no cambia su forma en el tiempo. Se puede entender como un balance entre el alzamiento tectónico (asumido constante a lo largo del tramo del río a considerar), y la tasa de erosión que actúa sobre el lecho del río.



La parte más baja del curso de un río es el llamado **nivel de base**. En los ríos que desembocan en el mar, éste es su nivel de base, mientras que para los afluentes es el nivel del propio río en que desembocan. Si el río desemboca en un lago, entonces el nivel de base es el de la propia masa de agua del lago.

En un río hay que considerar los siguientes parámetros:

1. **Caudal:** Es el volumen de agua que se transporta por unidad de tiempo. Se expresa en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ). El caudal varía en los distintos puntos del curso de un río y también a lo largo de las estaciones, según las precipitaciones. Los ríos españoles presentan mayor caudal en primavera y otoño, épocas en que pueden experimentar grandes crecidas. Los **hidrogramas** son las gráficas que representan las variaciones del caudal de un río en distintas épocas del año. Las medidas que se realizan para confeccionar estas gráficas se deben realizar siempre en el mismo punto para que sean representativas.

2. **Carga (C):** Es la cantidad de materiales que transporta un río o un torrente en un tramo determinado.

3. **Capacidad (Q):** Es la cantidad máxima de materiales que puede transportar una corriente de agua en cada tramo. Cuando mayores son el caudal y la velocidad del agua, mayor es la capacidad. La relación entre la carga y la capacidad varía a lo largo del curso de un río de esta forma:

Río		
Curso Alto	Curso Medio	Curso Bajo
Erosión	Transporte	Sedimentación
$Q > C$	$Q = C$	$Q < C$

### Riesgos: Las inundaciones

El origen de las inundaciones y avenidas (inundaciones de gran magnitud) puede ser muy variado:

- **Climático:** huracanes, lluvias torrenciales, marejadas, fusión rápida de las nieves por aumento de temperatura, ...
- **Geológico:** fusión rápida de la nieve por la erupción de un volcán, obstrucción de un cauce como consecuencia de una avalancha o de un deslizamiento, tsunamis, ...
- **Humano:** alteración del régimen hidrológico normal. Puede deberse a dos tipos de causas:
  - **Directas:** cambios en el cauce (diques, canalizaciones), rotura de presas o descarga súbita del agua de las mismas, obras de minería y escombreras, ...
  - **Indirectas:** deforestación (disminuye la retención de agua y aumenta la erosión y la consiguiente colmatación de los embalses), modificación de la permeabilidad del suelo (en el uso agrícola o por el asfaltado),...

Los **Riesgos** derivados de los modelados de ladera, son:

- **Pérdidas humanas y económicas** como consecuencia de la ocupación de las llanuras de inundación al tratarse de zonas muy fértiles, con topografía suave y fácil acceso al agua.

En España la zona de mayor riesgo de inundaciones corresponde a Levante, donde en determinadas épocas, principalmente a finales de otoño, se producen situaciones de inestabilidad atmosférica que generan precipitaciones abundantes (gota fría).

### Planificación del riesgo: Medidas predictivas y preventivas

La **predicción** de riesgos de inundación se basa en el análisis de las predicciones meteorológicas sobre precipitaciones y las variaciones del caudal de los ríos.

Se pueden llevar acabo **medidas preventivas** funcionales y estructurales. Las **funcionales** más frecuentes son:

- Ordenación del territorio
- Elaboración de mapas de riesgo de inundación
- Planes de protección civil de información y evacuación.

Las medidas **estructurales:**

- Construcción de embalses y presas en los ríos

- Regulación de los cauces fluviales, a través de su desvío de poblaciones y su dragado
- Encauzamiento artificial, mediante diques en las orillas de sus cauce
- Reforestación de la cuenca hidrográfica, para aumentar la retención de agua y su infiltración en el suelo.
- Protección y conservación de los ecosistemas de ribera.

### 5.7.6. Modelado Glaciar

*VER TEMA ANTERIOR*

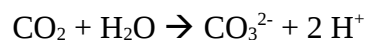
### 5.7.7. Modelado Cárstico

El karst es propio de rocas carbonatadas (calizas y dolomías), aunque a veces se designan de la misma manera las estructuras de disolución originadas en los yesos y otras rocas salinas.

Las calizas son rocas compactas y frágiles, con numerosas superficies de discontinuidad (planos de estratificación, diaclasas) que favorecen la infiltración de las aguas y que se ensanchan progresivamente por la disolución ejercida por el agua cuando penetra en las mismas.

Como son rocas de gran consistencia, soportan pendientes muy verticales, incluso extraplomadas, al igual que bóvedas y conductos subterráneos.

El carbonato de calcio es una sustancia insoluble, sin embargo cuando reacciona con el ácido carbónico, procedente de la disolución del anhídrido carbónico en el agua, se transforma en bicarbonato, que sí es soluble.



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

Como el ácido carbónico procede de la disolución del anhídrido carbónico en el agua, cualquier proceso que tienda a incrementar la cantidad de este gas en el agua favorecerá la disolución, y viceversa. De esta manera los factores que favorecen la disolución son:

- La vegetación, puesto que la descomposición de compuestos orgánicos incrementa la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto.
- La presión también incrementa la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto, por lo que la disolución va a ser más importante en profundidad, por debajo del nivel freático.

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

- La temperatura reduce la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto.
- La presencia de otras sales puede provocar el efecto del ion común.

Las formas kársticas pueden agruparse para su descripción en formas debidas a la erosión (disolución) y formas de acumulación (sedimentación y precipitación). Las primeras pueden agruparse, a su vez, en formas exokársticas (externas) y formas endokársticas o del interior del karst.

### **Formas exokársticas**

- La caliza es una roca muy consistente que da lugar a paredes verticales, las cuales retroceden y se erosionan paralelamente a sí mismas, ya que la disolución suele atacar más intensamente la base de dichos escarpes, llamadas simas.
- La cabecera de algunos valles suele ser un anfiteatro, también muy escarpado (valles en fondo de saco), que retrocede por la acción remontante de las surgencias o manantiales que hay en su fondo.
- Al escurrir, el agua forma sobre la superficie de la roca acanaladuras de disolución que reciben el nombre de lapiaces.
- La disolución suele progresar más rápidamente a favor de las diaclasas y los planos de estratificación, dando lugar a relieves ruiformes denominados en España torcales, o a formas caprichosas, como las de la Ciudad Encantada de Cuenca.
- Las dolinas son depresiones circulares formadas, bien por disolución durante la infiltración de las aguas (dolinas de disolución), o bien por el hundimiento de la bóveda de cavernas subterráneas (dolinas de colapso o torcas). En el primer caso suelen presentar una forma de embudo en cuyo fondo puede abrirse una sima. En el segundo, las paredes suelen ser verticales y el fondo plano y cubierto de arcilla.

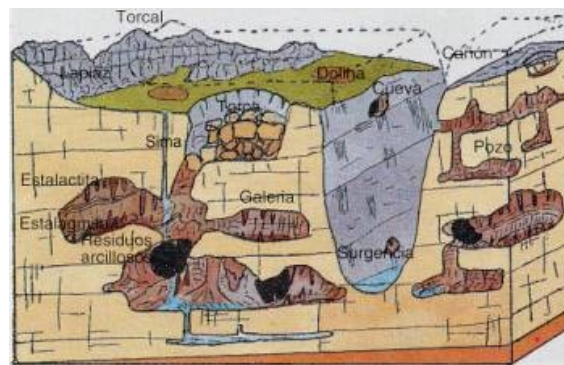
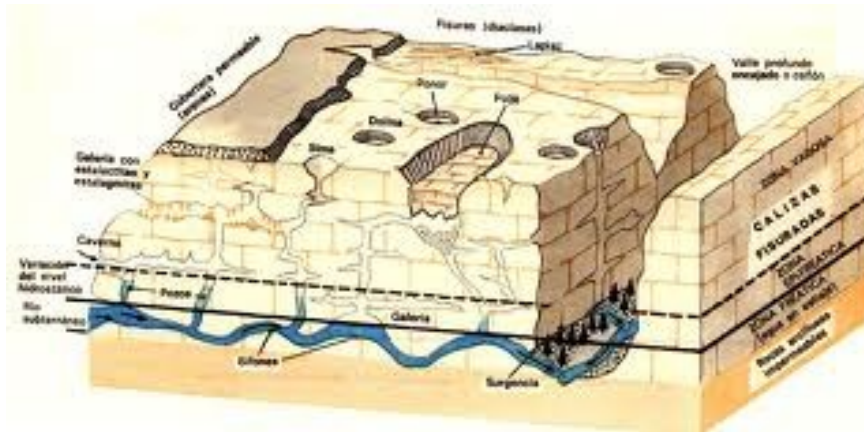
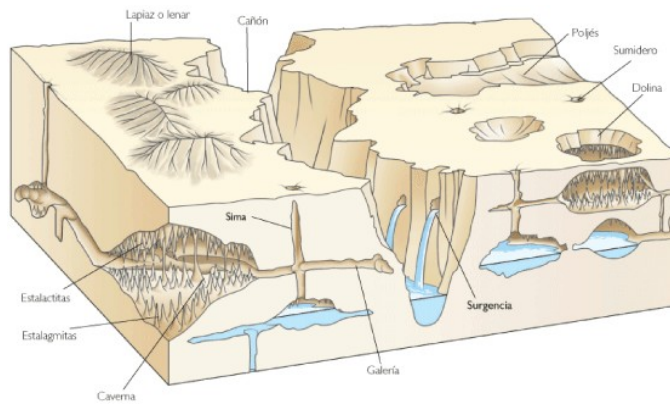
### **Formas endokársticas**

- Su desarrollo, distribución y geometría están condicionados, la igual que las formas exokársticas, por la fracturación y planos de estratificación de la roca. Dichos planos junto con la presencia de niveles impermeables y no fisurados y la situación de un nivel de base local (sustrato rocoso no karstificable), configuran las pautas de circulación de las aguas subterráneas.
- Como en cualquier acuífero, pueden distinguirse una zona vadosa (o zona de aireación) o de circulación vertical, un nivel freático con su zona de fluctuación y la zona freática, en la cual todos los huecos se encuentran inundados.
- En la zona vadosa predominan las simas o conductos verticales, mientras que en la zona de fluctuación y en la zona freática predominan las galerías o conductos horizontales.
- La intersección de conductos verticales y horizontales suele dar lugar a la formación de cavernas, formadas no sólo por disolución, sino también por la caída de grandes bloques desde el techo y paredes, que luego pueden ser evacuados mediante disolución por la escorrentía subterránea.

### **Formas de acumulación**

- En el fondo de las depresiones y de las cavidades del karst aparece un manto de arcilla, conocida como arcilla de decalcificación, formado por los residuos no solubles que suelen aparecer en las rocas carbonatadas.
- Las tobas son concreciones calcáreas formadas por precipitación de carbonato de calcio sobre la vegetación.

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



### 5.7.8. Sistema litoral y sus riesgos.

El **sistema o ambiente litoral** es una interfase determinada por la confluencia de los sistemas marinos y terrestres. Se define por la interacción entre geosfera, atmósfera y la parte marina de la hidrosfera, aunque también se incluye la parte de los ríos que se encuentran dentro de la influencia costera.

Ecológicamente, se trata de un **ecotono** o sistema limítrofe entre los grandes tipos de ecosistemas marinos y terrestres.

El límite entre el mar y tierra es la **costa**. La línea de costa ha variado, y varía, en el tiempo geológico, debido a las variaciones del nivel de los mares y a los movimientos de elevación o hundimientos relativos de las zonas litorales de los continentes.

El ambiente litoral puede subdividirse en:

- **Zona terrestre de transición:** formada por las tierras permanentemente emergidas salvo en circunstancias excepcionales.
- **Zona mixta**, se trata de la zona de confluencia entre los grandes ambientes o sistemas.
- **Zona marítima de transición**, es la zona acuática que recibe influencia directa de las acciones terrestres.

### Factores Geológicos que actúan en el litoral

- **El oleaje:** las olas creadas generalmente por el viento, son el factor marítimo que proyecta más energía sobre la línea de costa.
- **Las mareas:** determinada por la acción gravitatoria de la Luna y el Sol, suponen cambios diarios en la altura de la superficie del mar.
- **Las corrientes costeras o litorales:** se trata de movimientos en masa de las aguas costeras.
- **Las formas y tipos de relieve terrestre y subacuático:** la forma que adopta el relieve costero influye sobre la acción de los otros factores, determinando en buena medida sus efectos sobre el litoral. El relieve a su vez, es modificado por los demás factores en una constante interacción.
- **Los tipos de rocas presentes en el litoral:** La litología de la línea de costa determina en buena medida el carácter que adoptará esta. Rocas resistentes a la erosión constituirán sobre todo litorales acantilados, mientras que aquellas fáciles de erosionar darán preferentemente costas bajas.
- **Las desembocaduras fluviales:** la llegada de las aguas de los ríos hasta la costa constituye un factor importante que incide en el modelado costero, tanto por el aporte de sedimentos terrestres como por la interacción entre las aguas marinas y continentales.

Podemos distinguir dos tipos de modelado costero, según los procesos geológicos predominantes: de erosión y de sedimentación.

### Formas costeras de erosión

Las formas de erosión costeras pueden ser propias del ambiente costero o heredadas. Entre las últimas están los fiordos y las rías, formadas por inundación de antiguos valles glaciares y fluviales respectivamente.

La energía que actúa en el ambiente costero tiene tres orígenes:

- La energía del viento es transportada por las olas hasta los continentes, donde se libera. El impacto de las olas constituye el principal agente erosivo costero.
- La energía de las mareas amplía el campo de actuación del oleaje.

- La energía procedente del continente, principalmente ríos y fenómenos de ladera.

La erosión del agua del mar sobre la costa determina la meteorización, el desgaste y el arranque de los materiales existentes. A ella también contribuye la acción de los organismos que viven en el litoral, así como la acción química del agua marina (salinidad, acidez, etc). Las costas erosivas son por lo general **costas altas**. Son costas de relieve abrupto en las que destaca la erosión producida por el embate de las olas.

Las formas costeras erosivas típicas son:

- El **acantilado**: tipo de costa definida por un escarpe más o menos vertical, generalmente constituido por rocas resistentes sobre las que impacta el oleaje. Al desgastarse la parte basal produce su socavamiento, lo que motiva que la parte alta se desplome poco a poco por falta de sustentación y se genere con ello su retroceso, conservado la forma vertical del escarpe.
- La **plataforma de abrasión**: como consecuencia del retroceso erosivo del acantilado en su base queda una superficie plana que permanece generalmente sumergida con marea alta.
- Los **promontorios acantilados**: la presencia de salientes o promontorios en las costas determina que los frentes de olas sufran cambios en su dirección al llegar a ellas. Esto provoca que se concentre su mayor acción erosiva en el frente y los laterales de los promontorios, desgastándolos activamente. En ocasiones, esta acción socava sobre todo los laterales del promontorio, creando **arcos marinos** o aislándolo en forma de **islote rocoso**.
- Las **rasas costeras**: se trata de superficies planas que coronan una costa acantilada. Se interpretan como antiguas plataformas de abrasión elevadas o el levantamiento del continente o el descenso del nivel del mar aunque en algunos casos se puede tratar también de **superficies de erosión continental**.

Predominan en Cantabria, y algunas zonas de Andalucía, Cataluña y Canarias.

### Formas costeras sedimentarias

Cuando los procesos geológicos sedimentarios son los predominantes, se forman **costas bajas**. Las formas costeras sedimentarias más típicas son:

- Son costas con **playas** de arena. El desarrollo de las formas de acumulación costeras depende del balance entre la cantidad de sedimentos que llega a la costa y la capacidad de las distintas corrientes para transportarlos mar adentro. Sobre la superficie de la arena playera es frecuente la formación de microondulaciones llamadas rizaduras, mientras que en la parte interior pueden formarse dunas por la acción eólica.
- Las barras: son formas de avance o progradación de las playas en dirección al mar. Suelen formarse por la acción de corrientes litorales de deriva que hacen que la arena se mueva en la dirección que marca la corriente. Las barras pueden extenderse desde algunos salientes costeros formando flechas litorales. En ocasiones, estas flechas o barras terminan cerrando bahías transformándolas en albuferas o uniendo pequeños islotes cercanos a la costa constituyendo los tómbolos.



- La llanura de marea o intermareales: formas planas generadas por las mareas.
- Los deltas: son formas sedimentarias costeras que se extienden de forma subacuática en dirección al mar desde la desembocadura de un río. Constituidos por sedimentos terrestres debido al encuentro de las aguas fluviales y marinas.

Cuando un río desemboca en una albufera, se produce un depósito de arcillas que tiende a rellenar la albufera. Se originan así llanuras mareales cuya parte más alta se denomina **marisma**, zonas pantanosas relacionadas con los canales fluviales.

En un punto de la costa en la que desemboque un río importante, los sedimentos detríticos aportados por el propio río se depositan masivamente forzando al río a bifurcarse en múltiples canales, distribuyendo los sedimentos y formando un **delta**. Si existe alguna circunstancia (gran profundidad, fuertes corrientes) que impida la acumulación de demasiados sedimentos en la boca del río, se forma un **estuario**; la línea de costa no es deformada ni se forman isletas, como en los deltas.

### **Evolución de un litoral**

En una primera fase, las costas jóvenes, suelen ser irregulares, definidas por los relieves continentales que alcanzan el litoral originando numerosos entrantes y salientes, cabos, promontorios, golfos, bahías, etc.

Al concentrarse la erosión del oleaje en los salientes y promontorios de la costa, estos retroceden lentamente dando lugar a la formación de acantilados a cuyos pies, aparecen plataformas de abrasión.

Las bahías y entrantes costeros son ambientes sedimentarios sobre los que se extienden playas que avanzan desde el interior, así como flechas litorales que van cerrando las bahías y formando tómbolos con los promontorios aislados de tipo islote.

El cierre de las bahías determina la aparición de albuferas que se van colmatando por sedimentación.

De esta forma, la evolución de las costas irregulares consideradas como relieves “juveniles” lleva hacia costas rectilíneas de tipo “maduro”.

### **Los riesgos en las zonas litorales: la dinámica oceánica y atmosférica provoca diversos riesgos en las zonas litorales**

Las **olas** pueden suponer un riesgo para las construcciones que se encuentran más cerca de la línea de costa. También pueden producir un efecto indirecto como consecuencia del retroceso del borde de los acantilados que provocan y que puede alcanzar zonas habitadas.

Los **tsunamis**, olas gigantescas producidas por terremotos o erupciones volcánicas, tienen un efecto devastador que puede penetrar cientos de metros en el continente.

La **elevación del nivel del mar** que se producirá como consecuencia del calentamiento global pone en peligro a los núcleos de población que se encuentran a poca altura sobre el nivel del mar. Numerosas islas del Pacífico y del Índico pueden desaparecer como consecuencia de este proceso. Para hacernos una idea de la magnitud de este problema basta un dato: más de cien millones de personas viven a menos de un metro sobre el nivel del mar.

Las **dunas litorales** también pueden suponer un riesgo para la población, especialmente en zonas más áridas, donde son más difíciles de retener por la dificultad de crecimiento de la vegetación. Su avance puede cubrir viviendas, zonas de cultivo o instalaciones industriales.

Los **huracanes o tifones** que se originan en mares cálidos a finales del verano o principios del otoño afectan especialmente con sus lluvias torrenciales y fuertes vientos a las zonas litorales.

Las **inundaciones fluviales en la zona de litoral**, por desbordamientos debido a lluvias torrenciales, episodios de gota fría,... La coincidencia de esos episodios con mareas altas o tormentas litorales puede agravar seriamente los efectos fluviales.

## **Impactos en las zonas litorales: la alta densidad de población es responsable de muchos de los impactos que soportan los litorales**

La contaminación:

- Es debida principalmente a los vertidos urbanos o industriales de las zonas costeras, a la desembocadura de ríos con aguas contaminadas o los derrames de petróleo producidos en accidentes o por la limpieza de tanques.
- Resulta especialmente peligrosa en los mares pequeños y cerrados (como el Mediterráneo o el Báltico).
- Reduce la productividad de los ecosistemas litorales. Además, ciertos contaminantes, como los metales pesados, pueden incorporarse a las cadenas tróficas y llegar hasta los seres humanos.

La eutrofización es un tipo especial de contaminación que se puede producir en aguas tranquilas del litoral por el aporte de fosfatos y nitratos. Ya ha sido estudiada en el tema 6 “Recursos hídricos y contaminación del agua”.

Las bioinvasiones consisten en la introducción de especies exóticas (normalmente mediante los transportes marítimos) en los ecosistemas litorales que, por tener una alta tasa de reproducción, proliferan y compiten con la flora y la fauna autóctonas llegando a desplazarlas en muchas ocasiones.

Algunos de los casos que han afectado a nuestras costas son:

- El mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*), procedente de Rusia. Ponen en peligro especies de interés pesquero y, además, puede remontar los ríos y crecer en conducciones de agua de embalses, regadíos, etc., taponándolos y provocando cuantiosas pérdidas económicas.
  - El alga asesina (*Caulerpa taxifolia*) originaria de China, Japón y Corea. Es muy prolífica y puede hacer desaparecer las praderas de posidonia que proporciona alimento a organismos como las tortugas marinas, las langostas y los salmones, entre otros.
  - Las mareas rojas se deben a la proliferación de algas unicelulares de los géneros *Gymnodinium* y *Alexandrium*.
- Estas algas producen toxinas que envenenan a los organismos que las consumen e, indirectamente, al resto de los organismos de la cadena trófica, incluido el hombre.

La sobreexplotación de los recursos que ofrece el mar, especialmente de la pesca.

Los impactos paisajísticos que se producen por la construcción de grandes bloques de apartamentos y hoteles en las zonas litorales turísticas. También pueden deberse a otros tipos de construcciones, como industriales y portuarias.

Algunas normas incluidas en la actual ley de costas han llegado un poco tarde y el daño producido en muchas zonas es ya irreversible.

Predicción:

- Estudios geotécnicos.
- Elaboración de mapas de riesgos.

Prevención:

- Construcción de muros en la base de los acantilados.
- Rompeolas.
- Espigones, que favorecen la sedimentación y evitan la erosión de las playas.
- Legislación que establezca normas sobre la ocupación de determinadas zonas. En España la Ley de costas establece las siguientes zonas:
  - Zona de servidumbre de protección: se extiende 100 m tierra adentro y está prohibido cualquier uso, salvo servicios de utilidad pública o instalaciones deportivas al aire libre.
  - Zona de influencia: hasta los 500 m, en la que existen unas normas de ordenación urbanística.

### **5.7.9. En las regiones áridas y semiáridas predomina la acción eólica. Modelado eólico**

El viento transporta materiales de forma análoga a los ríos: por arrastre, saltación y suspensión, según el tamaño. El viento erosiona de forma selectiva los suelos, arrastrando sólo las partículas finas. Este proceso se conoce como deflacción, y como

resultado del mismo se forman los **desiertos de piedras** o **reg**, en los que sólo quedan las partículas que no han podido ser arrastradas por el viento.

El viento cargado de partículas ejerce un desgaste o corrosión (**abrasión**) sobre todos los obstáculos que encuentra a su paso como consecuencia del golpeteo de las partículas transportadas. El depósito de la arena arrastrada por el viento origina los desiertos arenosos denominados **erg**.

El modelado eólico más común originado por sedimentación son las **dunas** y los **loess**.

**Dunas:** son acumulaciones de arena que pueden adquirir diversas formas, las más comunes son las dunas de media luna o barjanas (altura de 1m a 500m). Si no están cubiertas por vegetación, las dunas se desplazan siguiendo el sentido del viento. Propio de desiertos como el Sahara.

**Loess:** son depósitos de partículas de menor tamaño que la arena. Estas partículas son limos que forman un polvo fino de color amarillento cuando están en suspensión. Los suelos constituidos por loess son muy fértiles. Propio de llanuras de Asia Central.

## El Suelo

Se define en geología como la capa superficial de la corteza terrestre, de grosor variable, que procede de la alteración de rocas preexistentes y sobre la que se desarrolla la cubierta vegetal.

Desde un punto de vista sistémico, el suelo es la interfase tres de los subsistemas estudiados hasta ahora: biosfera, atmósfera y geosfera. Como toda interfase, el suelo posee gran riqueza y diversidad y es muy sensible a los cambios, por lo que puede degradarse con facilidad e, incluso, llegar a desaparecer.

La edafología se encarga del estudio de los suelos, empleando métodos y conceptos geológicos, biológicos y agronómicos.

## Composición del suelo: el suelo está formado por componentes orgánicos e inorgánicos

Los **componentes inorgánicos** de los suelos pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos.

1. Los componentes sólidos son los fragmentos de rocas y minerales procedentes de la meteorización. Suponen el 45% de la composición del suelo. Estas partículas se clasifican de mayor a menor tamaño en: gravas, arenas, limos y arcillas.
2. Los líquidos, el agua de infiltración, más o menos cargada de sales en disolución que tiende a ocupar el espacio poroso que queda entre las partículas sólidas y disuelve las sales del suelo. Si las precipitaciones son

abundantes, las sales del suelo serán arrastradas a mayor profundidad. Este proceso se denomina lixiviación.

3. Los gaseosos corresponden a aire atrapado en los poros del componente sólido, más o menos oxigenado según sea la porosidad del material.

Los **componentes orgánicos** están formados por restos de seres vivos que dan lugar al humus o mantillo, que presenta un característico color oscuro. El humus es el producto resultante de la transformación de la materia orgánica, proveniente de la descomposición de restos de animales o plantas que se depositan sobre el suelo, por la acción natural de los microorganismos. A causa de este proceso denominado humificación se forman compuestos que liberan nutrientes para los vegetales, aumentan la fertilidad, favorecen el desarrollo de las raíces,... Constituyen aproximadamente el 5% de la composición del suelo