

## TEMA 5. DINÁMICA DE LA GEOSFERA.

### 1. LA GEOSFERA: ESTRUCTURA Y COMPOSICION.

#### 1.1 Concepto de Geosfera.

Es una capa sólida y rocosa que está en el interior de la Tierra. Es la parte de la Tierra formada por rocas y metales. Es la capa de mayor tamaño (ocupa casi toda la masa de la Tierra, las otras capas de la Tierra son atmósfera, hidrosfera y biosfera).

La Geosfera es la parte estructural de la Tierra que se caracteriza por ser la de mayores temperaturas, presión, densidad, volumen y espesor. Comprende desde la superficie hasta el centro de nuestro planeta (hasta los 6.370 Km. aproximadamente). Está compuesta principalmente de Hierro (Fe) en un 35%, Oxígeno (O) en 25% y Silicio (Si) en 18%. En la Geosfera se produce el aumento continuo de la densidad, presión y temperatura en relación directa con la profundidad.

La Geosfera se divide en tres capas, que son de la más externa a la más interna: Corteza, Manto y Núcleo. Su capa más externa (sólida y rígida), la "litosfera" que comprende la corteza y la parte superior del manto, es el lugar en donde suceden los procesos geológicos, se obtienen los recursos geológicos y suceden los riesgos geológicos.

<u>Procesos geológicos</u>	<u>Recursos</u>	<u>Riesgos</u>
Meteorización	Carbón	Volcanes
Erosión	Petróleo	Terremotos
Transporte	Minerales	Desprendimientos
Sedimentación	etc...	Inundaciones, etc...
Plegamientos, etc...		

- Corteza terrestre: Es la parte más superficial de la Tierra. Las rocas que la forman están compuestas principalmente de oxígeno, silicio, aluminio y hierro. Se pueden distinguir dos tipos de corteza:
  - La corteza continental: Tiene un espesor de unos setenta kilómetros aproximadamente y su roca más abundante es el granito.
  - La corteza oceánica: Tiene un espesor de unos diez kilómetros aproximadamente y su roca más abundante es el basalto.
- El manto. Es la capa que está situada debajo de la corteza. Las rocas que la constituyen son ricas en oxígeno, magnesio, silicio y hierro. Se encuentra a temperaturas situadas entre los mil quinientos y los tres mil grados centígrados.
- Núcleo. Ocupa el centro de la Tierra. Las rocas que lo constituyen fundamentalmente son de hierro y níquel. La temperatura puede llegar cerca de unos cinco mil grados centígrados.

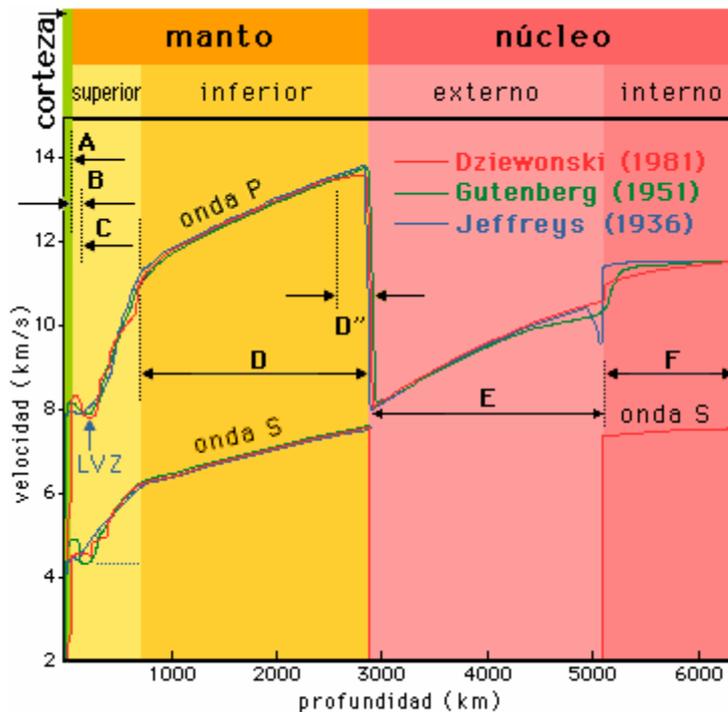
#### 1.2 ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA TIERRA.

En la actualidad los conocimientos que tenemos sobre el interior de la Tierra se obtienen tanto de manera directa: por ejemplo, a través de las erupciones volcánicas, perforaciones petroleras, cavernas y minas; así como de manera indirecta: cuando se registran las ondas sísmicas, la gravedad, el magnetismo o la electricidad terrestre, por ejemplo. Para estudiar la estructura y composición de la geosfera, los métodos indirectos son necesarios debido a la inaccesibilidad de la geosfera (por su gran profundidad sólo se puede estudiar los primeros kilómetros del interior terrestre, es decir, sólo una pequeña parte de la corteza).

Las ondas sísmicas P y S (producidas en los terremotos) son las que proporcionan mayor información sobre la estructura y composición del interior terrestre, al estudiar los cambios en su velocidad al propagarse bajo tierra. Las **discontinuidades** son zonas del interior de la Tierra en las que se producen

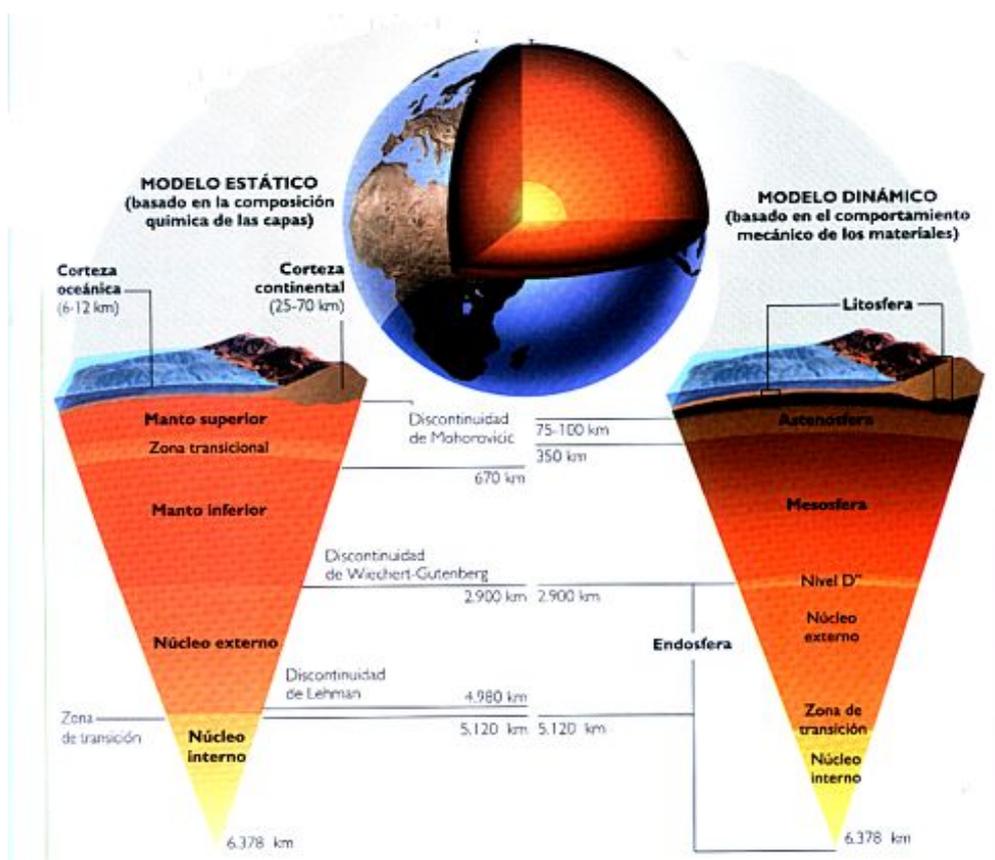
cambios bruscos en la trayectoria y velocidad de las ondas sísmicas, debido probablemente a que separan regiones con distintas características, indicándonos que pueden aparecer rocas distintas *porque cambia la densidad* o indicándonos que las rocas se pueden encontrar a mayor presión o temperatura o en estado líquido *porque cambia la rigidez* (la velocidad de las ondas sísmicas depende de la rigidez –más rigidez más velocidad– y de la densidad –más densidad menos velocidad–, como la discontinuidad es la zona donde cambia la velocidad nos indica que en esa zona cambia la rigidez o densidad).

La geosfera se divide en capas atendiendo a su composición química llamadas corteza, manto y núcleo o se divide en capas atendiendo al comportamiento, llamadas litosfera, astenosfera, mesosfera y núcleo o endosfera. El primero es la división desde el punto de vista geoquímico (o químico) y el segundo desde el punto de vista dinámico.



### 1.2.1 Punto de vista químico.

- **Corteza:** está delimitada por la discontinuidad de Mohorovic que se encuentra a unos 5 – 10 km profundidad en los océanos y a unos 30 – 70 km profundidad en los continentes, distinguiéndose así una corteza oceánica y una continental.
- **Corteza continental:** en su parte más externa predominan los sedimentos y rocas sedimentarias, mientras que en la parte media e inferior abundan las rocas metamórficas (como gneis y esquistos) e ígneas (como el granito).



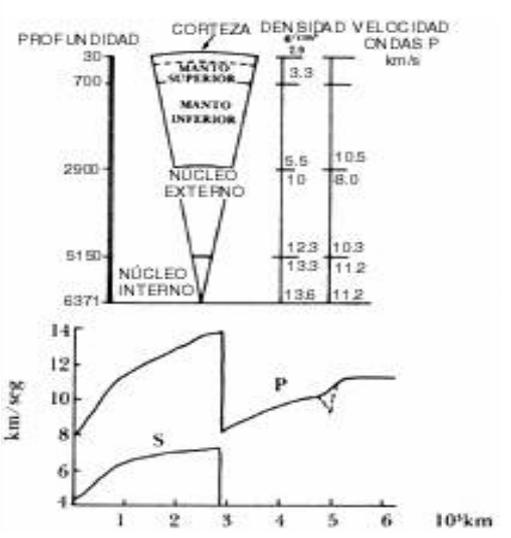
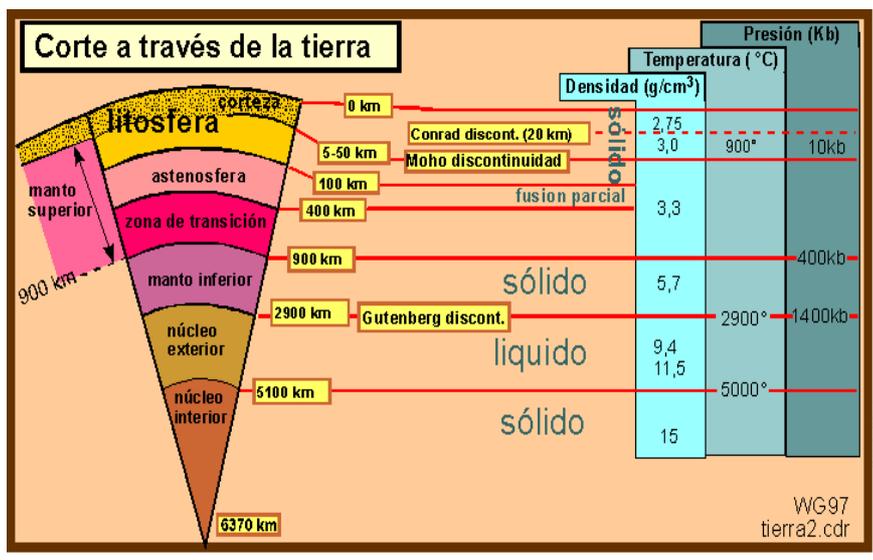
La antigüedad de la roca continental va de 0–4.000 millones de años. La corteza continental tiene una densidad media de  $2,7 \text{ gr / cm}^3$ .

- **Corteza oceánica:** tiene una fina capa de sedimento en la parte superficial, seguida en profundidad por roca volcánica (principalmente basalto) y por último gabro (roca plutónica) (recuerda que las rocas ígneas o magmáticas son las que se forman al enfriarse el magma, bien rápidamente al salir del volcán (roca volcánica) o bien lentamente al quedarse bajo la superficie terrestre (roca plutónica)). La antigüedad de la roca oceánica va de 0–180 millones de años, por lo que son más jóvenes que las rocas de la corteza continental. La corteza oceánica es un poco más densa que la continental, tiene una densidad media de  $3 \text{ gr / cm}^3$ .

➤ **Manto:** se encuentra desde la discontinuidad de Mohorovic hasta la discontinuidad de Gutenberg a 2.900 km de profundidad. El manto ocupa el 82 % del volumen de la Tierra, lo que equivale al 68 % de la masa de la Tierra (unos 2875 km de espesor). El manto se divide a unos 670 km de profundidad en manto superior y manto inferior. El manto está formado por rocas ultrabásicas del tipo de las peridotitas que contienen minerales del tipo olivino (silicatos). Conforme aumenta la profundidad la presión es tan grande que produce una reorganización de los minerales produciendo rocas más densas, por lo que podemos decir que el manto inferior tiene la misma composición que el manto superior pero con mayor densidad. La densidad del manto superior es  $3,5 \text{ gr / cm}^3$  aproximadamente y la del manto inferior  $5,5 \text{ gr/cm}^3$ . Las ondas P y S aumentan progresivamente su velocidad en profundidad.

➤ **Núcleo:** va desde la discontinuidad de Gutemberg (2.900 km de profundidad) hasta el centro de la Tierra que tiene aproximadamente 6.370 km. El núcleo ocupa el 16 % del volumen terrestre y representa el 32% de su masa (unos 3.470 km de espesor). La densidad del núcleo es de  $10 - 13 \text{ gr/cm}^3$ . En la discontinuidad de Gutemberg desaparecen las ondas S, por lo que se supone que los materiales están fundidos. A los 5150 km de profundidad aparece una elevación importante de las ondas P (discontinuidad de Lehmann) por lo que se considera sólida y divide el núcleo en núcleo interno sólido y núcleo externo líquido.

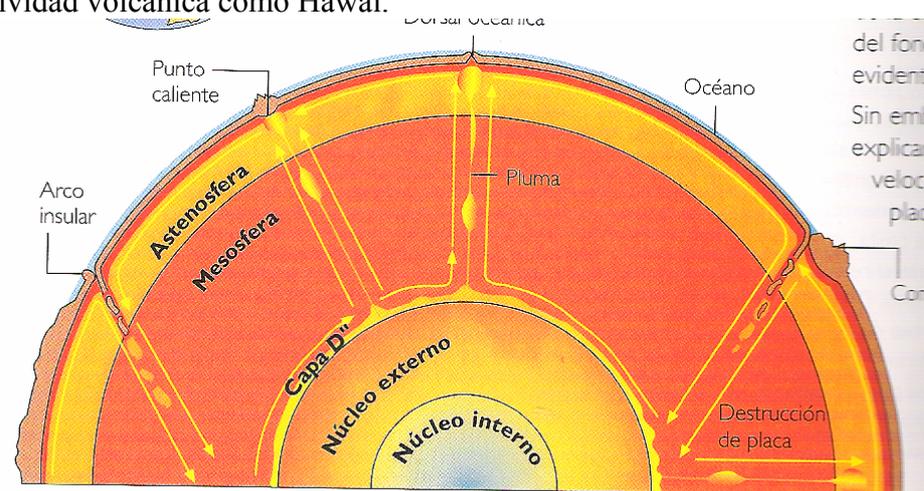
Su composición por comparación con los sideritos (meteoritos metálicos con 95% de Fe y 5% Ni), por la densidad tan elevada y por la formación del campo magnético terrestre, se supone que es fundamentalmente Fe con un 5 % de Ni y algunos elementos menos densos como S, Si y O. En el núcleo externo los movimientos de fluidos de minerales férricos serían los causantes de la inducción y mantenimiento del campo magnético terrestre. En el núcleo interno, que abarca desde 5.150 km de profundidad hasta el centro de la Tierra a 6.371 km, a pesar de la elevada temperatura, constituye una esfera totalmente sólida debido a la altísima presión reinante a esa profundidad.



## 1.2.2 Punto de vista dinámico.

Según el comportamiento de los materiales, tenemos la litosfera, astenosfera, mesosfera y endosfera.

- **Litosfera:** es la parte sólida y rígida que comprende la corteza y parte del manto superior, llega hasta los 50 – 100 km en los océanos (bajo las dorsales el espesor puede ser de tan sólo 5-10 km) y 100 – 200 km en los continentes (incluso bajo algunos continentes antiguos llega hasta 300 km), justo antes de llegar al canal de baja velocidad de onda.
- **Astenosfera:** se corresponde con el canal de baja velocidad de ondas (corresponde a la zona en la que la velocidad de las ondas sísmicas presenta fluctuaciones con descensos y elevaciones) que se relaciona con un descenso de la rigidez de los materiales. Se encuentra entre la base de la litosfera y unos 350 km de profundidad (algunos autores dicen que mucho más profundo). Dado que se trata de una porción del manto, la roca que la compone es peridotita y se encuentra en estado sólido, aunque próxima a la fusión, lo que permite que los materiales aunque sólidos, presenten corrientes de convección muy lentas (1- 12 cm/año) que provocan el movimiento de las placas tectónicas (según la teoría de la tectónica de placas) que generan procesos como la unión o división de los continentes, la formación de cordilleras... Algunos autores cuestionan la existencia de la astenosfera y piensan que es posible que la transmisión de energía a través del manto (corrientes de convección del manto) sea suficiente para explicar el movimiento de las placas tectónicas. En resumen, la astenosfera es sólida pero tiene cierta plasticidad.
- **Mesosfera:** comprende el resto del manto, es decir, la parte más profunda del manto superior y todo el manto inferior, es sólida (a pesar de las altas temperaturas la presión mantiene los materiales sólidos) aunque se postula que puede tener también corrientes de convección motivadas por las diferencias de temperatura y, por tanto, de densidad. En la base del manto se encuentra la capa D'' o **nivel D''** (se dice D doble prima) que es una capa discontinua e irregular con un espesor entre 0-300 km donde se depositan los materiales más densos y donde probablemente se originan las **plumas convectivas** que son corrientes ascendentes de materiales del manto originadas por el calor del núcleo en contacto con esta base del manto, estos materiales ascienden pudiendo llegar a la superficie terrestre originando los **puntos calientes** que son lugares en la superficie terrestre con gran actividad volcánica como Hawai.



44

- **Endosfera:** también llamada núcleo. Se divide en núcleo externo (desde 2.900 km hasta 5.150 km) fundido que presenta corrientes de convección (la circulación convectiva de cargas eléctricas en su seno origina y mantiene el campo magnético del planeta) y el núcleo interno sólido, donde se alcanzan las mayores temperaturas y presiones. A medida que el núcleo libera calor a través del manto, el hierro cristaliza y se acumula en el núcleo interno. Este hierro sólido, seguramente desprovisto de los elementos ligeros que existen en el núcleo externo, es el que constituye el núcleo interno (de esta manera aumenta el tamaño del núcleo interno, probablemente a un ritmo de algunas décimas de milímetro por año).

## 2. BALANCE ENERGÉTICO DE LA TIERRA.

En la Tierra está presente tanto la energía interna que hay bajo la superficie terrestre, como la energía externa que hay sobre la superficie y que procede del Sol y la gravedad. La energía interna es la responsable de que se produzcan los procesos geológicos internos (volcanes, terremotos, formación de montañas, movimiento de continentes...) y la energía externa es la responsable de que se produzcan los procesos geológicos externos (erosión, transporte, sedimentación, precipitaciones...). En los procesos geológicos internos se libera energía interna hacia la superficie terrestre y desde la superficie se libera energía hacia el espacio.

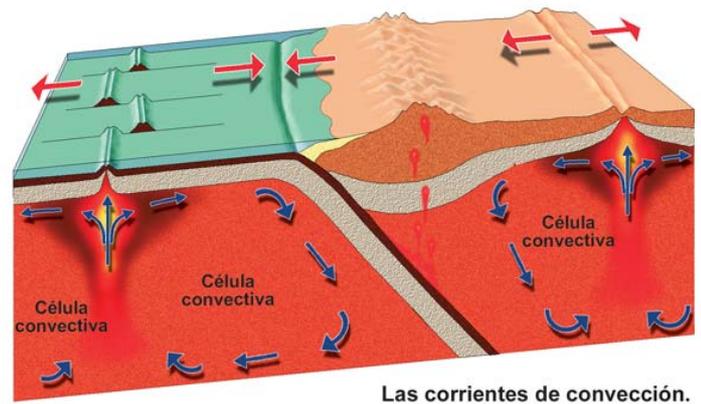
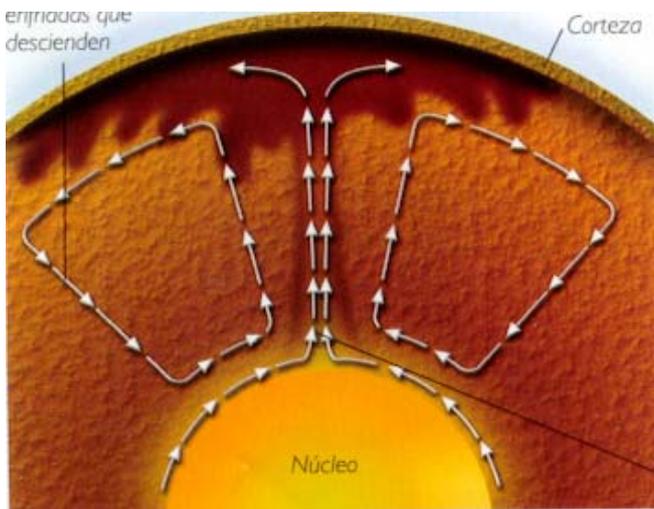
El flujo térmico es el calor que irradia del interior terrestre hacia el exterior. El flujo térmico se manifiesta principalmente en volcanes, cuando los volcanes no están en erupción puede producir aguas termales, géiseres y fumarolas que también irradian calor (producen flujo térmico). El flujo térmico en la superficie terrestre es de  $2,1 \cdot 10^{14}$  kw/h, es emitido, en parte, mediante radiación infrarroja de la Tierra al espacio, favoreciendo el que la temperatura terrestre se mantenga más o menos constante.

## 3. ORIGEN DE LA ENERGÍA INTERNA

- a) **Citar algunas manifestaciones de la energía interna:** se comprueba que existe energía interna en nuestro planeta por el gradiente geotérmico (cada vez que baja 100 m la temperatura sube 3,3 °C) que se demuestra al bajar a una mina donde a más profundidad más calor hace o por las aguas subterráneas, que al extraerlas salen más calientes cuanto más profundo esté el acuífero. Otras manifestaciones de la energía interna son las aguas termales y sobre todo volcanes y terremotos.
- b) **Concepto de grado geotérmico:** Es lo mismo que gradiente geotérmico terrestre (cada vez que baja 100 m la temperatura sube 3,3 °C), dicho gradiente solamente se mantiene durante los primeros kilómetros, ya que de mantenerse constante se alcanzarían en el centro de la Tierra temperaturas muchísimo más elevadas (unos 200.000 °C) de las que en realidad existen (unos 5.500 °C).
- c) **Origen energía planetaria y endógena:** La energía planetaria es la energía cinética que posee la Tierra por su movimiento de rotación y traslación. La energía endógena consta de energía térmica y elástica. La energía térmica proviene del calor residual de la formación de la Tierra y sobre todo de la descomposición de isótopos radiactivos. La energía elástica se almacena en las rocas cuando son deformadas por presiones y será liberada cuando la roca se fracture por llegar al límite máximo de elasticidad que puede soportar. Tiene que ver con fallas y pliegues. Las rocas son sometidas a presiones que las deforman, si las presiones continúan llega un momento en que la roca se fractura produciendo la liberación de la energía elástica almacenada por la deformación, la rotura de la roca producirá terremotos. Esto se creía que sólo aparecía en la litosfera, pero en realidad puede darse en cualquier lugar de la geosfera.

## 4. GEODINÁMICA INTERNA Y CICLO GEOLÓGICO.

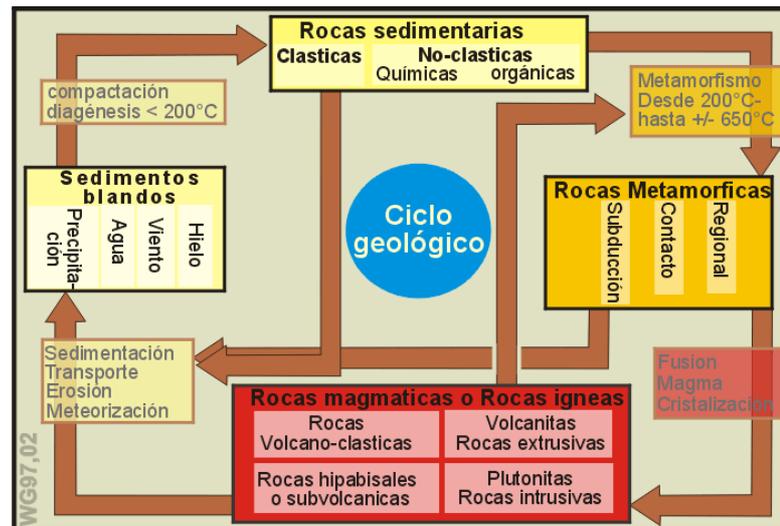
La geosfera no permanece estática, sino que sufre cambios a lo largo del tiempo que se manifiestan en la superficie. Estos cambios son producidos por la energía externa (energía solar y gravitacional) e interna (energía calorífica procedente del interior de la geosfera). Según el tipo de energía que actúe, los procesos que ocurren y los cambios producidos son distintos, por eso se habla de geodinámica externa y procesos geológicos externos y geodinámica interna y procesos geológicos internos. En ambos casos, además de cambios en la superficie terrestre, pueden provocar riesgos (terremotos, inundaciones, volcanes...) o pueden aparecer productos y sustancias, que pueden constituir recursos para la humanidad. La geodinámica interna se basa principalmente en los movimientos de las placas litosféricas originados por las corrientes convectivas (corrientes de convección) producidas por la energía interna, estos movimientos litosféricos con sus choques, rozamientos y separaciones de placas son los responsables de la geodinámica interna con sus procesos geológicos internos como los volcanes, terremotos, formación de islas, montañas, rocas magmáticas y metamórficas, movimientos de los continentes, pliegues, fallas...



Las corrientes de convección.

Las rocas y el relieve cambian a lo largo del tiempo debido tanto a procesos externos como internos, dividiéndose por ello en ciclo geológico externo e interno respectivamente. En el **ciclo geológico externo**, producido por la energía externa (radiación solar y fuerza gravitatoria), los agentes y procesos externos (seres vivos, cambios de temperatura, gases, agua, nieve, viento...) actúan realizando los procesos geológicos externos (meteorización y erosión de las rocas (ígneas, metamórficas y sedimentarias), transporte y sedimentación de los materiales erosionados).

En el **ciclo geológico interno** producido por la energía interna (calor del interior terrestre) las rocas se van transformando por diferencias de presión y temperatura en otras rocas distintas, por ejemplo a partir de los sedimentos se forman las rocas sedimentarias y éstas si son sometidas a muy altas presiones y temperaturas pero sin fundirse se transforman en rocas metamórficas y, si cualquiera de estas rocas se funde por altas temperaturas, se transforman en rocas ígneas, a su vez las rocas ígneas si son sometidas a muy altas presiones y temperaturas pero sin fundirse se transforman en rocas metamórficas, cualquiera de estas rocas si salen a la superficie por movimientos de las placas tectónicas son erosionadas en la superficie en el ciclo geológico externo formando sedimentos que darán lugar en el tiempo a rocas sedimentarias. En resumen cualquier roca puede ser transformada en otro tipo por acción de la energía interna y puede ser disgregada y erosionada por la energía externa, por tanto, la geosfera está en continuo cambio por acción conjunta de la energía externa e interna formando el ciclo geológico. La geodinámica externa e interna son las responsables de que se produzca el ciclo geológico.



## 5. RIESGOS GEOLOGICOS, RIESGOS NATURALES E INDUCIDOS

Definimos riesgo como cualquier condición, proceso o suceso que puede ocasionar heridas, enfermedades, pérdidas económicas o daños al medio ambiente. En muchas ocasiones el motivo real de los desastres naturales no es el riesgo en sí (inundación, terremoto...) sino el hacinamiento de la población humana en las áreas susceptibles de sufrir dichas catástrofes y la carencia de infraestructuras adecuadas para hacer frente a estas situaciones extremas.

Nuestro punto de vista en relación con los desastres y calamidades naturales es fundamentalmente antropocéntrico. Ello es lógico a la vista de las tragedias humanas que asolan a las colectividades ante fenómenos naturales a menudo violentos. Sin embargo, estos fenómenos en los sistemas naturales, carentes por su propia naturaleza de visión o contenido moral alguno, desempeñan y han desempeñado un papel objetivo a lo largo de la historia evolutiva de la vida. Por ejemplo la catástrofe global en el tránsito Mesozoico-Cenozoico (hace 65 millones de años), posiblemente provocado por el impacto de un meteorito en el golfo de Yucatán, fue la responsable de exterminar a una gran cantidad de especies, incluyendo a los dinosaurios. Ello

abrió el camino al progreso de los mamíferos, unos organismos marginales entonces, y por tanto a la aparición de los homínidos. En este caso, la posible catástrofe, que desataría gigantescos tsunamis en todo el mundo, una tremenda onda de choque en el medio marino y una drástica bajada de temperaturas por el velo de polvo y vapor, al exterminar a los organismos competidores, abrió, por azar, una vía evolutiva necesaria para la aparición de nuestra especie. Otro ejemplo de la función ambivalente de los desastres naturales sería una erupción volcánica, debido a la fertilidad de las tierras con cenizas volcánicas una vez se va constituyendo suelo edáfico, siendo usada para cafetales en Sudamérica y Centroamérica y para té en Tanzania. La isla de Java posee una agricultura más rica que la de las islas vecinas justamente porque tiene suelos de origen volcánico. Ello hace que la población, a pesar de las erupciones, se mantenga no muy lejos de los volcanes. El rico suelo de la Pampa argentina, debe mucho a las cenizas de las erupciones volcánicas de la Cordillera de los Andes. El mayor yacimiento de plata de la historia, el de Potosí, en Bolivia, que hizo de esta ciudad la más poblada del mundo en el siglo XVI, está asociado a una de estas grandes calderas, la de Kari Kari, que explotó hace unos 13 millones de años.

### Clasificación de los riesgos: naturales, tecnológicos y mixtos

Atendiendo a su origen los riesgos se clasifican en **naturales** si son debidos al funcionamiento del medio natural, es decir, los que se producen sin intervención humana, **tecnológicos o culturales** si son debidos a las actividades humanas, pueden ser por actividades humanas productivas (contaminación industrial), por accidentes o fallos humanos (mareas negras, escapes radiactivos...) o por la actividad socio-política (guerras, deportes peligrosos, drogadicción, malos hábitos alimentarios...) y los riesgos **mixtos o inducidos** si tienen un origen natural pero las actividades humanas los magnifica o los provoca, por ejemplo la desertización provocada por la deforestación. Pero prácticamente todos los riesgos naturales pueden ser intervenidos por el hombre, por lo que resulta muy difícil su clasificación exacta ya que una inundación es un riesgo natural, pero la pérdida de cobertura vegetal, la rectificación de cauces, las basuras acumuladas en cauces temporalmente secos (ramblas), las construcciones que afectan al normal curso natural del agua, el efecto invernadero... son multitud de acciones humanas que magnifican e incluso aumentan la frecuencia de las inundaciones.



Además, cabe destacar por su efecto a nivel mundial, los riesgos de los Sistemas Terrestres Globales que están asociados a los desequilibrios de los grandes ciclos y sistemas de la Tierra: el ciclo hidrológico, el ciclo erosión-sedimentación global, los grandes ciclos biogeoquímicos: C, O, N, P, S, etc. Ejemplos conocidos son el "efecto invernadero", asociado al ciclo del C y del vapor de agua; el problema de la capa de ozono, protectora frente a los rayos ultravioleta; etc.

Los Riesgos Naturales se subdividen en Biológicos, Químicos y Físicos:

Los Riesgos Biológicos son las enfermedades causadas por todo tipo de microorganismos parásitos (bacterias, virus...), pólenes o animales como avispas o serpientes venenosas. Ejemplos plagas, epidemias...

Los Riesgos Químicos son debidos a los productos químicos peligrosos contenidos en comidas, aire, agua o suelo. Ejemplo el pesticida DDT, los metales pesados, dioxinas...

Los Riesgos Físicos son de diversa índole como las radiaciones ionizantes, el ruido, los incendios..., destacan:

- Climáticos o atmosféricos como huracanes, olas de frío/calor, rayos, granizo, tornados...
- Geológicos que son los riesgos ligados a la procesos geodinámicos externos (deslizamientos, desprendimientos, flujos, avalanchas, torrentes y ramblas, hundimientos cársticos, pérdida de suelos, expansividad, invasión de dunas y erosión litoral) e internos (volcanes, terremotos, diapiros, tsunamis, movimientos de fallas). Los externos tienen en mayor o menor grado una dependencia del clima.
- Geoclimáticos como las inundaciones (es climático y geológico).
- Cósmicos son los procedentes del espacio como la caída de meteoritos o las variaciones en la radiación solar incidente.

Hay riesgos naturales de tipo biológico, como las plagas y epidemias, y riesgos tecnológicos como las mareas negras o las fugas radiactivas, cuyo origen tiene escasa o nula relación con la geología y no estudiaremos en este tema, donde nos centraremos en los riesgos geológicos, entendiendo por tales las situaciones o sucesos del medio geológico, naturales, inducidas o mixtas, que pueden generar daños económicos o sociales, y en cuya predicción, prevención o corrección hayan de emplearse criterios geológicos. Veremos los siguientes:

- Riesgos derivados de procesos geodinámicos internos: sísmicos y volcánicos.
- Riesgos derivados de procesos geodinámicos, externos: meteorológicos (inundaciones, y gota fría), movimientos del terreno (deslizamientos de ladera, desprendimientos, flujos y avalanchas) y litorales (retroceso de acantilados y erosión de playas).

## 7. RIESGOS VOLCÁNICO Y SÍSMICO: PREDICCIÓN Y PREVENCIÓN. SU INCIDENCIA EN LA REGIÓN DE MURCIA

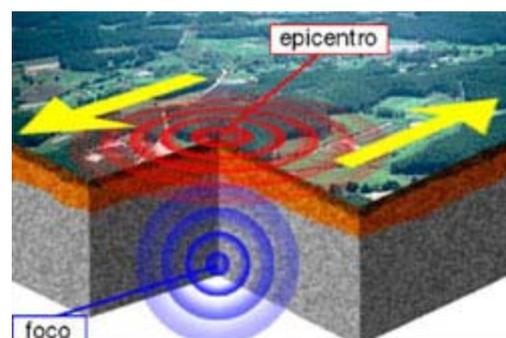
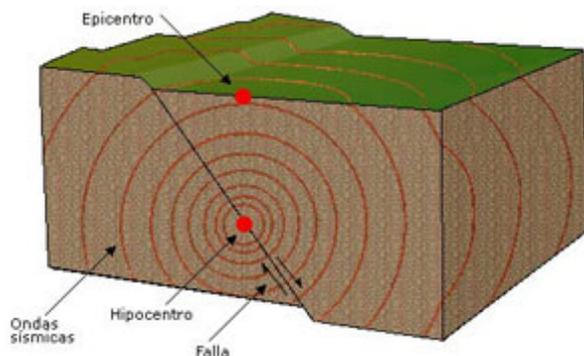
### 7.1 EL RIESGO SÍSMICO

#### 7.1.1 Introducción.

Los grandes terremotos (la gran mayoría son tan pequeños que ni los notamos) ocasionan enormes desastres en un tiempo muy breve, sus principales efectos son las sacudidas del suelo y de los edificios, desplazamientos superficiales del suelo, deslizamientos de tierras y tsunamis.

#### 7.1.2 Conceptos básicos: tipos de ondas sísmicas.

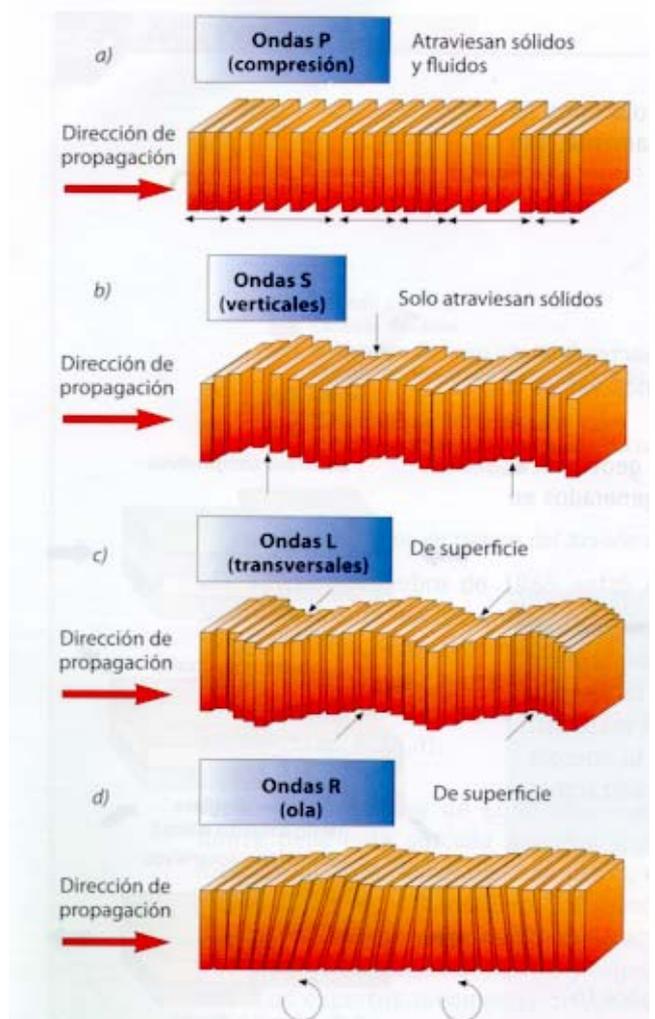
Los terremotos (o sismos o seísmos) son producidos por la liberación de grandes cantidades de energía en forma de ondas elásticas, llamadas **ondas sísmicas**. En profundidad las ondas sísmicas que se forman en el **hipocentro** (lugar del interior terrestre donde se origina el terremoto) del terremoto son las ondas P y S (muy útiles para estudiar la estructura interna de la Tierra) que al llegar a la superficie terrestre se transforman en las ondas L (Love) y R (Reyleigh), que se transmiten en forma circular a partir del **epicentro** (lugar de la superficie terrestre más cercano al hipocentro y por tanto, donde la intensidad del terremoto es mayor) y son las que causan la mayor parte de los destrozos de los terremotos.



Las ondas L y R también son llamadas ondas superficiales porque se transmiten por la superficie terrestre (por eso son las responsables de los destrozos), a diferencia de las ondas P y S que van en profundidad.

Las roturas (con desplazamiento de las rocas) de grandes masas rocosas en el interior de la Tierra son las (fallas) que producen terremotos. Esta rotura produce vibraciones, ondas sonoras de tres tipos que veremos en mayor detalle:

- **Ondas P:** también llamadas primarias o longitudinales. Son las de mayor velocidad, y por tanto las que llegan las primeras. Son ondas longitudinales porque las partículas del terreno vibran en la dirección de la onda (avanzan mediante sucesivos impulsos de expansión y compresión como en un acordeón), es decir, las ondas comprimen las partículas a su paso. Como los cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos se pueden comprimir, las ondas P pueden propagarse en todos los medios.
- **Ondas S:** también llamadas ondas secundarias o transversales. Viajan con menor velocidad que las ondas P, y se reflejan en los sismogramas después de éstas. Hacen vibrar las partículas del terreno en una dirección perpendicular a la de propagación de la onda (avanzan mediante un movimiento ondulatorio perpendicular a la dirección de propagación). Las ondas S sólo se propagan en sólidos (si dejan de propagarse a cierta profundidad indica que las rocas están fundidas a esa profundidad, es decir en estado líquido, así es como se sabe que el núcleo externo está líquido).
- **Ondas superficiales (R y L):** son las últimas que se registran en los sismogramas, aparecen como consecuencia de la llegada de trenes de ondas P y S a las superficies de contacto entre materiales de características mecánicas distintas, principalmente la superficie de contacto tierra-aire y tierra-océano. Son las que provocan las catástrofes superficiales asociadas a los terremotos de gran intensidad. Se producen 2 tipos de ondas superficiales las R o Rayleigh que producen una oscilación ascendente y descendente como el oleaje y las ondas superficiales L o Love con una propagación similar a las ondas S pero, en este caso, en el plano horizontal como el movimiento de una serpiente; aunque estas ondas no penetran a mucha profundidad, son las mayores responsables de los daños producidos en los cimientos y estructuras de las construcciones.



Las ondas P y S proporcionan información sobre la estructura y composición del interior terrestre, mientras que las superficiales no porque no aparecen en profundidad.

### 7.1.3 Causas de los terremotos

Los fenómenos que pueden desencadenar los riesgos sísmicos son aquellos que puedan producir una liberación de energía suficiente y su posterior transmisión en forma de ondas, su origen puede ser muy variado: erupciones volcánicas, impacto de meteoritos, explosiones nucleares, asentamiento de grandes embalses, deslizamientos, inyección de fluidos en el terreno, actividades mineras,

subsidiencias..., pero la más importante es la actividad tectónica (los movimientos de las placas tectónicas pueden producir la rotura con desplazamiento de grandes masas rocosas, es decir, fallas) que deforma las rocas almacenándose en ellas energía elástica que será liberada cuando la deformación supere su límite de elasticidad, entonces se romperá produciendo una falla (fractura con desplazamiento de estratos) que liberará toda la energía elástica almacenada. Por este motivo, los terremotos se producen mayoritariamente en los bordes de las placas tectónicas (límites de placa), asociados normalmente con áreas volcánicas y cadenas montañosas jóvenes (Andes-Rocosas, Mediterráneo, Himalaya).

### 7.1.4 Conceptos de magnitud e intensidad sísmica

Los terremotos son medidos por unos aparatos llamados sismógrafos, y la importancia del terremoto puede cuantificarse atendiendo a dos parámetros: la intensidad y la magnitud del seísmo.

La **magnitud** se representa por medio de la escala de Richter elaborada en función de la energía liberada, los grados de esta escala se representan en números árabes y crecen exponencialmente, de manera que cada punto de aumento significa un incremento de la energía del terremoto de diez veces más. Teóricamente no hay un límite máximo en la escala, el máximo registrado en la actualidad es de 9,5.

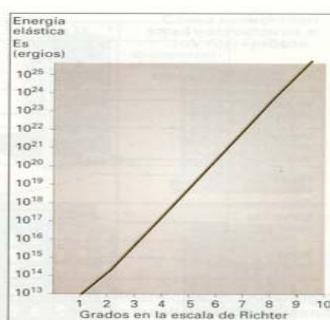


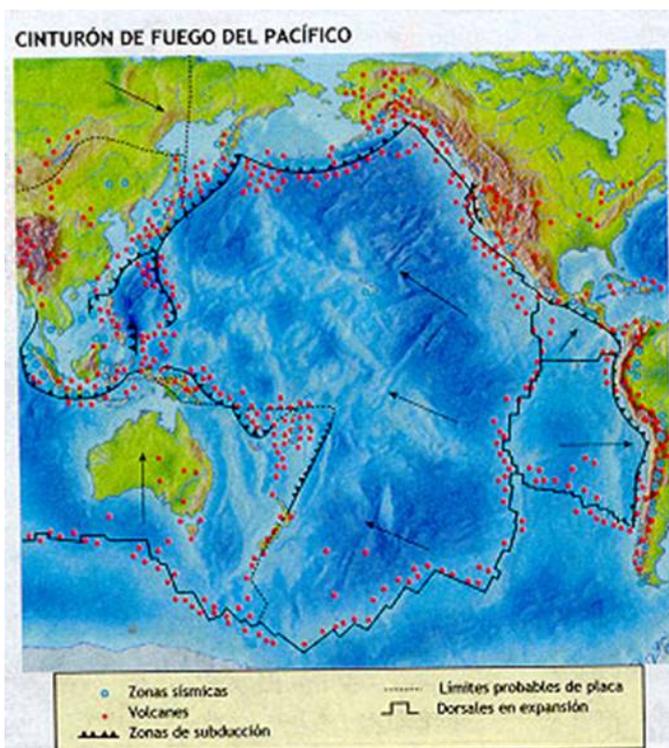
Figura 8.12. Representación gráfica de la escala de Richter.

Grado I	Grado II	Grado III	Grado IV	Grado V	Grado VI
No perceptible. Microsismos.	Perceptible por algunas personas en reposo; se mueven algunos objetos que estaban en equilibrio inestable.	Perceptible en los interiores. Se mueven en la calle algunos coches no frenados.	Perceptible en los interiores; la gente se inquieta; vibran las ventanas.	Perceptible por todo el mundo. Caen algunas cornisas y se rompen algunos cristales. Se paran los relojes de péndulo.	Perceptible por todo el mundo; producen inquietud. Caen algunas chimeneas. Se mueven los muebles.
Grado VII	Grado VIII	Grado IX	Grado X	Grado XI	Grado XII
La gente sale a la calles, se percibe en los coches en marcha. Se producen algunos daños en las estructuras de los edificios.	Alarma general. Muy destructivo en las estructuras ligeras; produce algunos daños en las estructuras sólidas. Caen algunas estatuas y muros. Se producen cambios en los niveles acuíferos.	Pánico general. Destrucción total de las estructuras ligeras y parcial de las sólidas. Rotura de conducciones subterráneas. Formación de grietas en el suelo.	Pánico general. Sólo quedan en pie los mejores edificios. Se produce torsión de raíles. Desplazamiento de masas de agua.	Pánico general. Quedan en pie pocos edificios. Se producen fallas en el terreno, con desplazamientos sensibles.	Destrucción total. Aparecen ondulaciones en el terreno. Proyección de objetos y rocas en el aire.

Richter

Mercalli

La **intensidad** se mide por medio de la escala de Mercalli elaborada en función de la sensación percibida por la gente y de los daños observables producidos, por tanto, tiene un cierto grado de subjetividad. Además, los daños observables varían según la naturaleza del sustrato, el tipo de construcciones, la densidad de población..., por tanto 2 seísmos en zonas diferentes, de igual magnitud en la escala de Richter, pueden tener distinta intensidad en la escala de Mercalli porque los daños serán menores en una zona con construcciones sismorresistentes que en otra zona con construcciones de mala calidad. Es expresada en números romanos y tiene 12 grados.



### 7.1.5 Localización espacial de los terremotos

Los terremotos se sitúan fundamentalmente en los límites de las placas tectónicas (95% de los terremotos), destacan el Cinturón de fuego del Pacífico (es el que presenta mayor sismicidad con gran diferencia), el Cinturón Alpino-Himalayano y las crestas de las dorsales mediooceánicas.

El Cinturón de fuego del Pacífico también llamado Cinturón circumpacífico conecta los arcos insulares de Asia y Australia y continua por la costa

occidental de todo el continente americano. Presenta una alta actividad sísmica, además de volcánica (es la zona con más terremotos del planeta y donde suelen aparecer los terremotos de mayor magnitud). Coinciden con bordes de placa destructivos de subducción (choque de 2 placas tectónicas).

La distribución de la sismicidad en la áreas continentales es mucho más difusa que en los océanos. Sin embargo, los estudios de detalle muestran que los epicentros se concentran según alineaciones que se corresponden con fallas.

### 7.1.6 Factores de riesgos: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad sísmica

Los factores que hay que tener en cuenta a la hora de estudiar un riesgo son 3:

La **peligrosidad** es la probabilidad de que en una determinada zona ocurra un fenómeno geológico destructivo determinado en un intervalo de tiempo, la frecuencia con la que un riesgo se repite es el tiempo de retorno por ejemplo un terremoto cada 100 años. La peligrosidad además del tiempo de retorno depende de la magnitud o grado de peligrosidad, es decir, de la intensidad del riesgo, por ejemplo un terremoto de intensidad 7 de la escala de Richter es más peligroso que uno de escala 3. La peligrosidad es el factor más difícil de predecir, se suelen elaborar mapas de peligrosidad donde aparecen las zonas históricamente afectadas.

La **exposición o valor** es el número de personas o bienes sometidos a un determinado riesgo, por ejemplo si es afectada una zona grande y muy poblada con edificios, industrias, comercios..., está más expuesta (tiene más valor) que si es afectada una zona pequeña donde sólo había agricultura, y ésta última está más expuesta que una zona despoblada y sin ningún uso como un desierto.

La **vulnerabilidad** es la proporción del valor que puede perderse (pérdidas humanas y bienes) como consecuencia de un determinado suceso, respecto al total expuesto. La vulnerabilidad es mayor en países subdesarrollados que en países desarrollados (se producen 6 veces más víctimas en cada catástrofe en los países subdesarrollados que en los desarrollados) por no tener viviendas ni medidas preventivas adecuadas. Los países desarrollados presentan medidas estructurales como la cimentación adecuada o la construcción sobre pilares en el caso de las inundaciones, la edificación sismorresistente en zonas propensas a terremotos, los edificios preparados para resistir los huracanes, la instalación de pararrayos, las vacunas para prevenir enfermedades... Aparte de las construcciones correctoras para atenuar los efectos previsibles de un riesgo están los planes de actuación sobre la población por parte de protección civil.

La peligrosidad de un seísmo será mayor en los bordes de placa y dependerá de la magnitud del terremoto en la escala de Richter, lo cual es imposible de predecir, la exposición es incrementada por el incremento de población en la zona y la vulnerabilidad será mayor en países subdesarrollados que en países desarrollados por no tener viviendas sismorresistentes ni medidas preventivas adecuadas, la escala de Mercalli nos indica la vulnerabilidad de la zona.

### 7.1.7 Predicción y prevención de los terremotos

#### 7.1.7.1 Predicción.

Para la **predicción** (averiguar los fenómenos de riesgo antes de que ocurran). La **neotectónica** se encarga del estudio de las estructuras tectónicas que se han formado o que muestran evidencias de actividad reciente, su estudio ayuda en la predicción de terremotos. Para la predicción es fundamental el estudio del registro histórico de seísmos en la zona (**método histórico**) ya que los grandes terremotos se suelen repetir a intervalos más o menos fijos. La **localización de las fallas activas** es un método eficaz, ya que el 95% de los seísmos se originan en ellas y se detectan fácilmente a partir de imágenes de satélites y de interferometría de radar, sistema que sirve además para cuantificar la velocidad de desplazamiento relativo de los labios de falla. Son también útiles para la predicción la detección de los **precursores sísmicos** que son modificaciones en la zona que ocurren previamente al terremoto como pueden ser el

aumento del volumen de las rocas (teoría de la dilatancia) con elevaciones del terreno, variaciones en los niveles de agua en los pozos, microseísmos, emisión del gas radón, cambios en el campo magnético local, disminución de la resistencia eléctrica en las rocas y alteración de la conducta de los animales. La predicción de los terremotos es un problema todavía no resuelto porque se presentan frecuentemente sin manifestaciones previas perceptibles y los intervalos a los que se suelen repetir no son muy exactos.

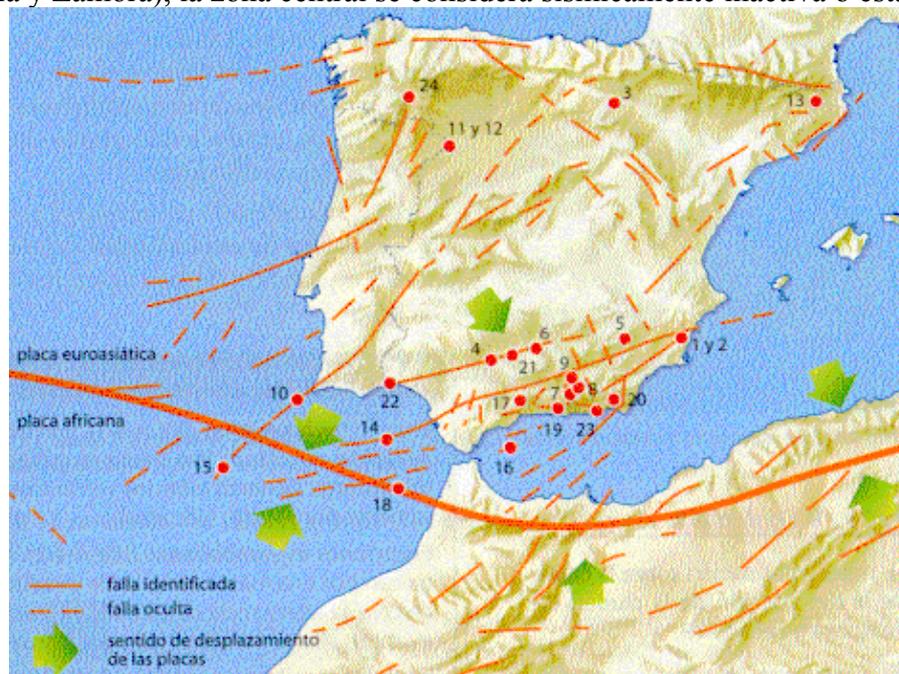
### 7.1.7.2 Prevención.

La prevención incluye tanto medidas estructurales como no estructurales. Las más efectivas son las **medidas no estructurales**, en las que en base a mapas de riesgo se elaboran planes de ordenación del territorio, estos planes deben evitar grandes densidades de población en las zonas con fallas activas, con probabilidad de movimientos de ladera, las costas propensas a tsunamis, las licuables... Otra medida no estructural son las medidas de protección civil para informar, alertar y evacuar a la población. La contratación de seguros que cubra la pérdida de propiedades.

Entre las **medidas estructurales** tenemos la inyección de fluidos en las fallas activas (“lubricar” periódicamente las fallas), provocar pequeños seísmos de baja magnitud para reducir las tensiones acumuladas en las rocas y evitar seísmos de gran magnitud y, como no, aplicar las normas antisísmicas, es decir, pautas de construcción, diseños y materiales sismorresistentes. En suelos rocosos, los edificios deben ser altos, rígidos y simétricos, con cimientos flexibles (caucho) que permitan la oscilación completa del edificio (manteniendo una distancia de separación entre edificios para que no choquen durante su vibración), en suelos blandos los edificios deben ser bajos, rígidos y con poca extensión superficial.

### 7.1.8 El riesgo sísmico en España

La península Ibérica está situada en la parte occidental de la placa Euroasiática y su parte S coincide con el borde de esta placa y la Africana (lo que la llevan a soportar 2 tipos de tensiones: un movimiento lateral a lo largo de la falla Azores-Gibraltar y otro frontal en el que colisionan Eurasia y África), el choque de la placa Africana contra la Euroasiática afecta principalmente a la zona S y SE de la península Ibérica (sobre todo en la región de Granada y costa de Almería) que es donde se registra el mayor índice de actividad sísmica y donde han tenido lugar los terremotos más destructores en España, aunque más bien está caracterizada por la frecuencia de terremotos de magnitud intermedia. Se estima que la península presenta un período de retorno de unos 100 años para terremotos de gran intensidad (mayor de 6 en la escala de Richter). Otras zonas menos relevantes sería el noroeste (Pirineos, Cataluña y Teruel) y noroeste (Galicia y Zamora), la zona central se considera sísmicamente inactiva o estable.



**El riesgo sísmico en Murcia:** En relación con el resto de España, la Región de Murcia se halla en una zona de sismicidad media-alta (la tasa anual de terremotos es doble en Murcia que en la media de la Península Ibérica), considerada la Península Ibérica a su vez como de sismicidad moderada.

En la región de Murcia existe una de las zonas sismotectónicas más importantes en el corredor del Valle del Guadalentín y del Bajo Segura (la falla del valle de Guadalentín es una de las más activas de la Península Ibérica, teniendo una incidencia muy directa en edificaciones y conducciones situadas en su plano de falla, entre ellas el propio canal del Trasvase Tajo-Segura). Otro área de gran relevancia es el Campo de Cartagena o sector del Mar Menor, siendo zonas muy peligrosas ya que, aparte de la alta sismicidad, son las más vulnerables como consecuencia del tipo de materiales (poco consolidados) que forman el relleno; este hecho puede provocar amplificaciones de ondas que llegado el caso podrían resultar catastróficas. Dada la gran densidad de fallas que se cruzan en la región de Murcia no parecen probables terremotos de grandes magnitudes; por ejemplo superiores a 6.

## 7.2 EL RIESGO VOLCÁNICO

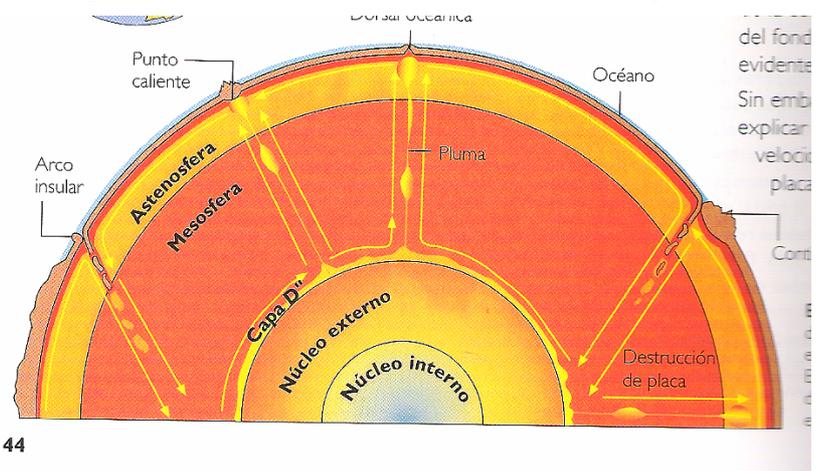
### 7.2.1 Introducción.

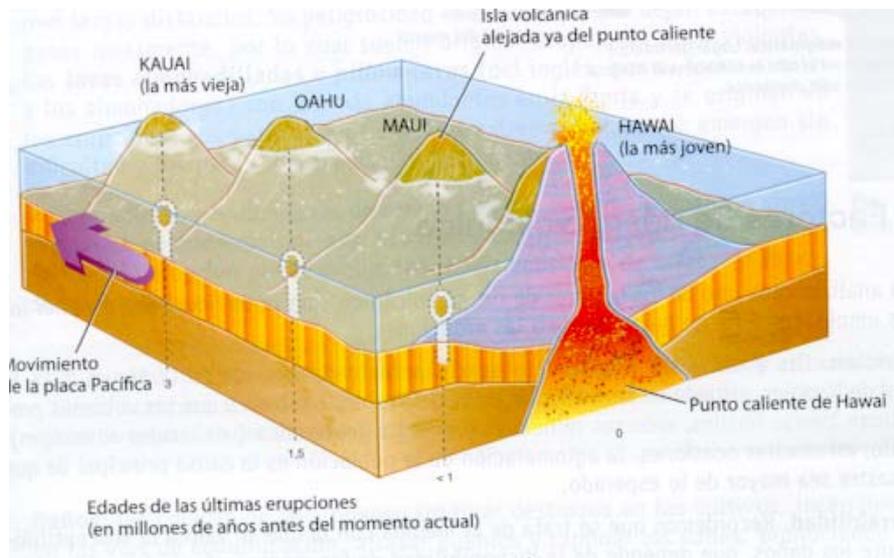
Los riesgos volcánicos son menos perceptibles para la población que los riesgos sísmicos, debido a que los volcanes permanecen inactivos durante largos períodos de tiempo y proporcionan una falsa sensación de seguridad. Los riesgos derivados de fenómenos volcánicos, a pesar de su espectacularidad, originan un número de víctimas pequeño (comparado con otras catástrofes naturales) pero grandes pérdidas económicas. Los volcanes proporcionan tierras fértiles, recursos minerales y energía geotérmica por lo que el ser humano ha ocupado su área geográfica, convirtiendo así un proceso natural en un grave riesgo, por tanto la influencia de las erupciones volcánicas pueden ser negativas y positivas. Las erupciones volcánicas son de los pocos procesos geológicos que se desarrollan en su totalidad a una escala temporal humana.

### 7.2.2 Localización espacial de los volcanes

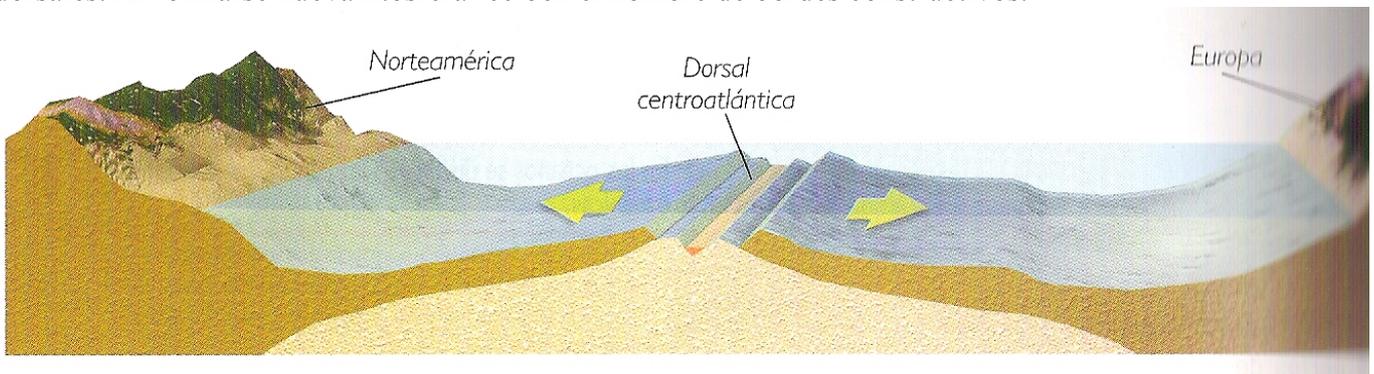
La distribución geográfica de los volcanes coincide (al igual que la gran mayoría de seísmos) con los bordes de las placas tectónicas, el 95% se sitúa en los bordes y el 5% en el interior de las placas (**magmatismo de intraplaca**). Abundan más en los **bordes constructivos (dorsales)**, pero son más peligrosos los que se producen en los **bordes destructivos**. Los volcanes situados en el interior de las placas son debidos a las plumas convectivas (penachos convectivos) provenientes de zonas muy profundas del manto.

**Magmatismo de intraplaca:** Hay volcanes que no pueden ser explicados por la tectónica de placas, ya que no están situados en los límites de placas, sino en zonas de intraplaca llamados puntos calientes. El origen de estos puntos calientes parece venir de la zona D'' (en la base del manto), que sometida al excesivo calor del núcleo origina una pluma convectiva de material más caliente que atraviesa todo el manto y la corteza, originando volcanes submarinos e islas volcánicas (este es el origen de las islas Hawai), los puntos calientes se reconocen por formar islas lineales y ordenadas según la antigüedad (el punto caliente está en el mismo sitio pero la placa se mueve a lo largo del tiempo, por eso en el tiempo los volcanes aparecen alineados).





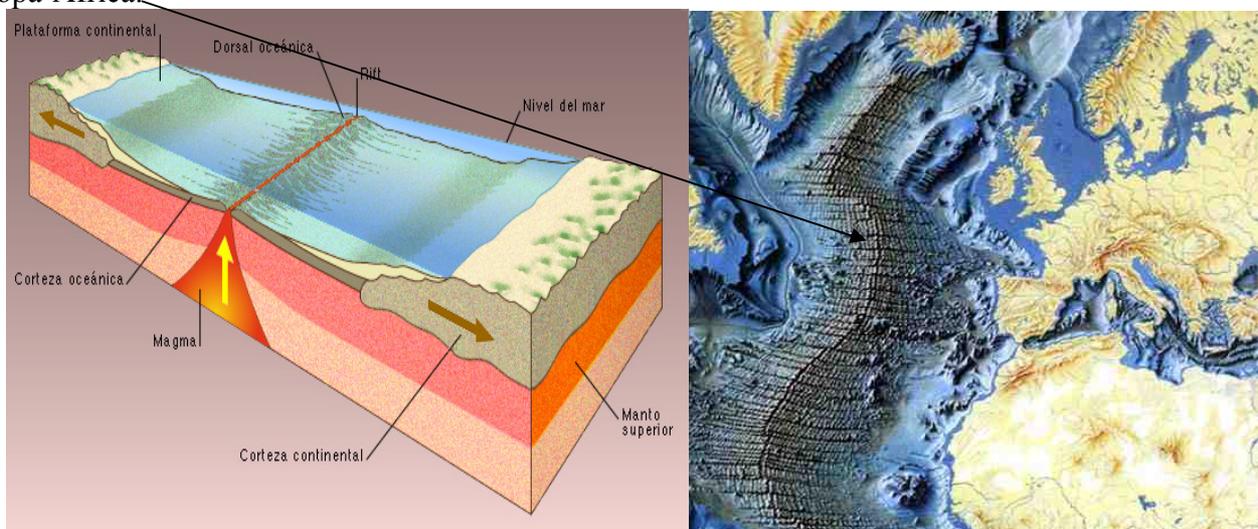
**bordes constructivos (dorsales):** Son fracturas de la litosfera por donde sale magma que se enfriará formando nueva litosfera, dando lugar a cordilleras montañosas submarinas de gran longitud llamadas dorsales. Al formarse nueva litosfera reciben el nombre de bordes constructivos.



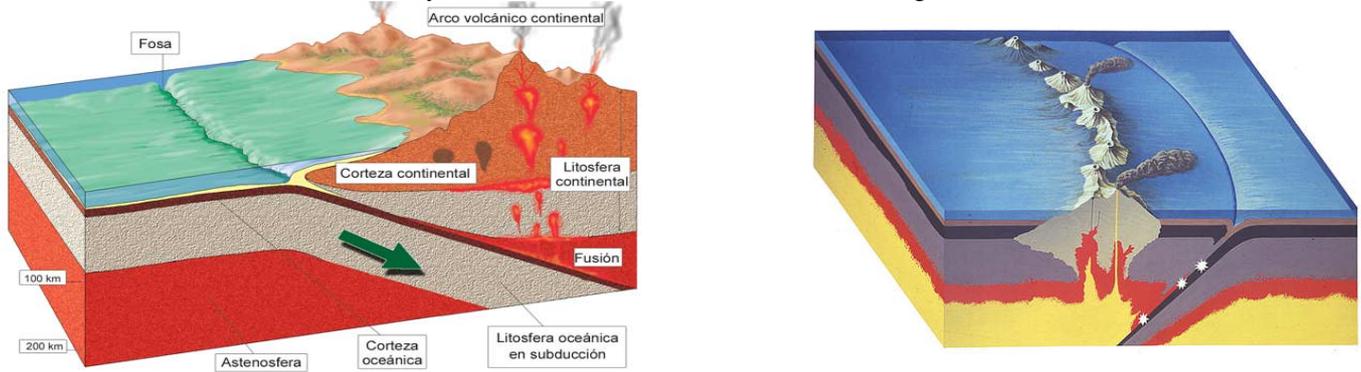
Las dorsales son cadenas montañosas submarinas con una longitud de miles de kilómetros y con una altura sobre el nivel del fondo oceánico entre 1.500 y 2.000 metros. En las dorsales aparece una depresión central llamada rift que es por donde sale el magma. Las fracturas del fondo del rift, originadas por la distensión de la litosfera entre las placas que se separan, producen una disminución de la presión sobre las rocas calientes del manto sublitosférico (Astenosfera) y causan su fusión. La salida al exterior de estos magmas, produce la constante actividad volcánica característica del fondo del rift, que aparece lleno de coladas de lava recientes que van formando nueva litosfera. Al formarse nueva litosfera produce la separación de las dos placas en sentido contrario, al separarse las placas reciben el nombre de bordes divergentes.

Con el tiempo este efecto provoca el aumento de las dimensiones del océano y el alejamiento de los continentes en el caso de que los haya (ejemplo Europa y Norteamérica se separan 2,5 cm/año).

Estos bordes constructivos presentan pocos terremotos pero abundantes volcanes. Un ejemplo es la gran dorsal atlántica presente en el centro del océano Atlántico, entre Norteamericana-Sudamericana y Europa-África.



**bordes destructivos:** Se producen cuando chocan (convergen) dos placas, una de ellas (la más densa o de menor flotabilidad en el manto) se hunde introduciéndose bajo la otra placa (**subducción**), lo que produce la pérdida de litosfera, de ahí el nombre de bordes destructivos. El ángulo con el que la placa que subduce se introduce en el manto es mayor cuanto más alta es la velocidad de convergencia.



Debido al rozamiento entre las placas durante la subducción, se produce un aumento de la temperatura que funde algunas rocas de la zona de contacto entre las placas, dando lugar a magmas, que si ascienden a la superficie forman volcanes. Los terremotos se producen por la liberación brusca de las tensiones que se acumulan en la superficie de máxima fricción entre las placas. Los bordes convergentes son las zonas más inestables del planeta. Ejemplos: Japón, donde suceden muchos terremotos se encuentra en un borde convergente que además produjo la isla; la cordillera de los Andes en Sudamérica ha sido formada por el choque de la placa Nazca con la placa Sudamericana.

En estos límites abundan los volcanes y terremotos, también producen islas si las placas son oceánicas y cordilleras montañosas si al menos una de las dos placas es continental. La placa que subduce origina grandes depresiones lineales de mucha profundidad llamadas fosas tectónicas o fosas submarinas, por ejemplo la Fosa de las Marianas. La Fosa de las Marianas es la fosa marina más profunda conocida, y es el lugar más profundo de la corteza terrestre. Se localiza en el fondo del Pacífico norte-occidental, al este y sur de las Islas Marianas, cerca de las Filipinas, tiene poco más de 11.000 m de profundidad. La formación de cordilleras es la consecuencia del levantamiento y de la deformación de la placa que queda en la superficie al ser empujada por la que subduce.

### 7.2.3 Principales factores de riesgo volcánico.

Los factores que intensifican el riesgo de vulcanismo además del aumento de población en la zona son el tipo de erupción (las explosivas son las más peligrosas), la frecuencia con que se produce y riesgos asociados a la actividad volcánica como los flujos de lodo (lahares), emisión de gases tóxicos, tsunamis, hundimientos volcánicos (ocasionando avalancha de derrubios)... Destacamos 4 principales factores de riesgo volcánico:

**7.2.3.1 Viscosidad del magma:** la frecuencia de erupciones y la explosividad depende de la viscosidad de la lava y de la presencia o ausencia de gases. En los magmas de baja viscosidad, el gas disuelto se libera fácilmente a la atmósfera, y la tendencia a la obturación del conducto de salida, por enfriamiento de la lava, se resuelve con explosiones rítmicas de escasa intensidad que fragmentan la lava y provocan la dispersión de piroclastos en un área relativamente reducida. En los magmas de elevada viscosidad se suele producir acumulación de materiales de sucesivas erupciones, dando lugar a edificios de gran altura y frecuentemente taponados o fácilmente obstruibles. Esto hace que los gases atrapados adquieran grandes presiones, que se liberan con fuertes explosiones, que provocan el hundimiento del edificio volcánico y la expulsión de piroclastos a grandes distancias. Curiosidades: en los bordes constructivos las erupciones son de tipo basáltico, con erupciones tranquilas de lavas fluidas y escasos productos piroclásticos; por el contrario, en los bordes destructivos las erupciones normalmente son de tipo silíceo, de lavas ácidas y viscosas que provocan erupciones violentas, explosivas y con abundantes piroclastos. En 1883 la isla de Krakatoa (Indonesia) voló en pedazos, murieron 36.000 personas.

**7.2.3.2 Lluvias piroclásticas:** los productos sólidos que expulsan los volcanes se llaman piroclastos, que según su tamaño se clasifican en cenizas (tamaño de la arena o menor), lapilli (tamaño de las gravas) y bombas (gran tamaño). Los piroclastos son lanzados verticalmente a grandes velocidades

(hasta 600m/s) y su caída puede provocar debido al impacto y temperatura a la que se encuentre muertes, hundimiento de construcciones o destrozos de cultivos. Pueden sepultar grandes superficies por ejemplo la ciudad romana de Herculano fue descubierta en 1709 sepultada por 20 metros de materia volcánica procedente de la erupción del Vesubio, en el año 79, mientras que Pompeya “sólo” estaba cubierta por 3,5 metros de cenizas volcánicas y piedra pómez. Curiosidad: las cenizas, debido a su pequeño tamaño, pueden permanecer largo tiempo en la atmósfera.

**7.2.3.3 Coladas piroclásticas o nubes ardientes. Ignimbritas:** las nubes ardientes son nubes de gases a centenares de grados que llevan en suspensión cenizas (piroclastos) y se desplazan a gran velocidad por las laderas (la masa densa de cenizas es la que hace que rueda la mezcla ladera abajo debido a su peso) del volcán arrasando todo lo que encuentran en el camino. Las ignimbritas son sedimentaciones ocasionadas por las nubes ardientes, compuestas por cenizas, lapilli y bombas soldadas entre sí. Las nubes ardientes es, sin duda, el fenómeno más destructivo de las erupciones volcánicas. Ejemplo el Mont Pelée (isla de Martinica) entró en erupción en 1902, la nube ardiente liberada se precipitó a casi 500 Km./h y más de 1.000 °C de temperatura sobre la población de St. Pierre, a 8 Km. de distancia, tardó en alcanzarla menos de un minuto, arrasándola por completo. De sus 30.000 habitantes, sólo 2 sobrevivieron.

**7.2.3.4 Coladas de barro o lahares:** los lahares son coladas de barro y avalanchas de derrubios que se forman al fundirse rápidamente la nieve de la cima del volcán por efecto de una erupción, o a causa de fuertes lluvias que arrastran los depósitos no consolidados de piroclastos (cenizas y lapilli principalmente). Ejemplo: en 1985, en el Nevado del Ruiz (Colombia) la erupción produjo la fusión del hielo que cubría la cima del volcán. El agua y los piroclastos formaron enormes masas de barro, que sepultaron la ciudad de Armero muriendo más de 20.000 personas.

## **7.2.4 Vigilancia y prevención de los riesgos volcánicos**

Las erupciones volcánicas frecuentemente acontecen sin previo aviso, por ejemplo en la erupción en 1985 en el Nevado del Ruiz (Colombia) que causó más de 20.000 muertos, el día anterior al suceso, varios geólogos visitaron el interior de su cráter, lo que indica la impredecibilidad de los volcanes. La principal medida preventiva sería la ordenación del territorio, delimitando las áreas de asentamientos humanos, pero es una medida inútil, ya que son áreas de gran densidad de población, debido a la productividad de los terrenos volcánicos, siendo la única defensa eficaz la evacuación de la población en una erupción, aunque se perderán cultivos, viviendas y bienes. Podemos destacar las siguientes actuaciones:

- a) **Elaboración de mapas de riesgos** y peligrosidad basados en los datos registrados, es decir: tiempo de retorno (frecuencia de sus erupciones), intensidad, tipo de erupción..., de cada volcán.
- b) **Vigilancia con técnicas que permitan la detección con antelación del inicio de la erupción.** Las redes de vigilancia permiten detectar los precursores indicadores del comienzo de la erupción tales como análisis de los gases emitidos (como gas radón) y aguas termales para detectar cambios químicos relacionados con el ascenso del magma, pequeños temblores (seísmos de baja intensidad detectados con los sismógrafos) y ruidos, cambios magnéticos, eléctricos y gravimétricos en la zona, variaciones en el flujo térmico y en el nivel freático de la zona, elevaciones en el terreno (por ascenso del magma)... Por desgracia, estos fenómenos precursores de las erupciones son los mismos que aparecen cuando sólo se produce una intrusión de magma en las fracturas cercanas a la superficie, lo que dificulta hacer predicciones exactas sobre la inminencia de una erupción. En la actualidad se cuenta con la ayuda de los GPS o de la interferometría de radar o de cualquier otro tipo de imágenes tomadas por satélite.
- c) **Planificación anticipada de las medidas a adoptar al producirse la crisis**, como la evacuación, la contratación de seguros que cubra la pérdida de propiedades, sistemas de alarma, construcción de viviendas semiesféricas o tejados muy inclinados que impidan el hundimiento debido al peso de las cenizas y piroclastos, habilitar refugios incombustibles para protegerse de las nubes ardientes (si el estudio histórico muestra que sus erupciones fueron de

tipo viscoso), desviar las corrientes de lava hacia lugares deshabitados, la construcción de túneles de descarga del agua de los lagos del cráter para evitar la formación de lahares...

### 7.2.5 El riesgo volcánico en España.

En la península existe un volcanismo relativamente reciente (menos de 10 millones de años) en ciertas zonas de Girona (Olot), Ciudad Real (Campo de Calatrava) y SE de Andalucía (Cabo de Gata). Estas zonas carecen de riesgo volcánico ya que la actividad en la zona se considera extinguida por completo.

La prevención del riesgo se limita a las islas Canarias, única región en la que actualmente existe actividad volcánica activa (en los últimos milenios han sufrido cientos de erupciones), concretamente en Lanzarote (última actividad en 1824), Tenerife (última actividad del Teide en 1909) y La Palma (última erupción del volcán Teneguía en 1971). El riesgo es mucho menor en las islas de Hierro y Gran Canaria, y prácticamente nulo en las restantes (Fuerteventura y Gomera). El vulcanismo canario es de tipo intraplaca (no está situado en los bordes de placa como sucede en la gran mayoría de los volcanes) y está ligado a la orogenia Alpina y no a los puntos calientes (si fuera debido a un punto caliente las islas más activas deberían ser La Palma y El Hierro y nunca, por ejemplo Lanzarote) como se suele pensar cuando está situado en una zona de intraplaca (fue lo que se pensó en un principio). Además, su actividad (cuando ocurre) es muy baja limitándose a la expulsión de piroclastos en un radio de pocos kilómetros y a la salida de coladas de lava de lento avance, siendo el riesgo volcánico en Canarias muy pequeño por su carácter fluido y de baja explosividad. Un poco diferente es el centro de la isla de Tenerife que posee un edificio volcánico de 3.718 metros de altitud, con magmas más viscosos y con mayor cantidad de gases, lo que implica una mayor explosividad, el volcán permanece activo ya que existen anomalías térmicas, fumarolas, emanaciones de gases y actividad sísmica.

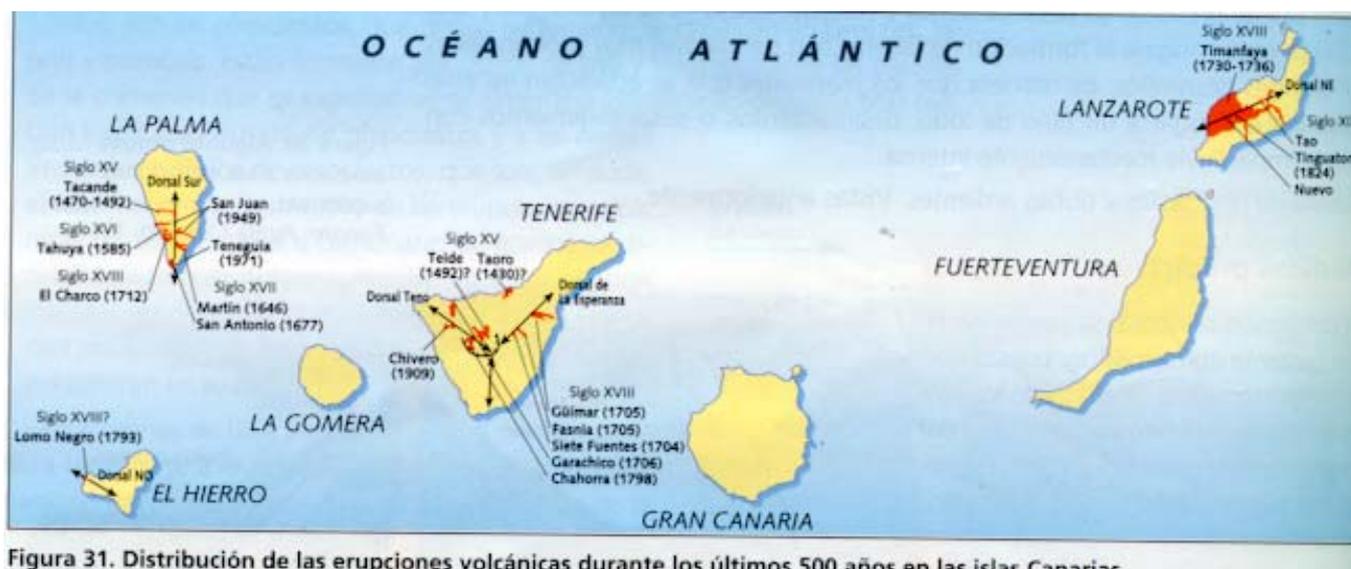


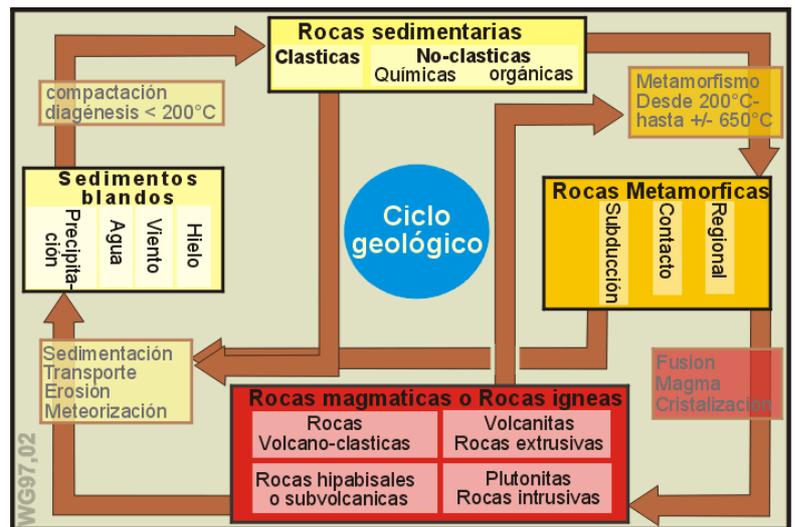
Figura 31. Distribución de las erupciones volcánicas durante los últimos 500 años en las islas Canarias.

### 7.2.6 El riesgo volcánico en Murcia

La actividad volcánica en Murcia está actualmente extinguida, el vulcanismo más reciente fue hace menos de 4 millones de años (Plioceno-Pleistoceno) que dio lugar a pequeñas emisiones de basaltos alcalinos en las inmediaciones de Cartagena. De -17 a -6 m.a. el vulcanismo dio lugar a rocas calcoalcalinas potásicas (Mar Menor) y shoshoníticas (Mazarrón) y rocas ultrapotásicas (presentes en gran parte de la región de Murcia, al norte de la línea Mazarrón-Cartagena).

## 8. GEODINAMICA EXTERNA Y CICLO GEOLÓGICO (recordar ciclo geológico).

Las rocas y el relieve cambian a lo largo del tiempo debido tanto a procesos externos como internos, dividiéndose por ello en ciclo geológico externo e interno respectivamente. En el **ciclo geológico externo**, producido por la energía externa (radiación solar y fuerza gravitatoria), los agentes geológicos externos (seres vivos, cambios de temperatura, gases, agua, nieve, viento...) actúan realizando los procesos geológicos externos (meteorización y erosión de las rocas (ígneas, metamórficas y sedimentarias), transporte y sedimentación de los materiales erosionados). La **geodinámica externa** se basa principalmente en el efecto de los agentes geológicos externos y en los procesos geológicos externos que producen, teniendo en cuenta los riesgos geológicos externos que estos agentes y procesos pueden originar. En la dinámica externa el relieve (previamente formado en la dinámica interna como las montañas) se denuda por efecto de la meteorización y erosión, al mismo tiempo que se produce deposición de sedimentos en otros lugares (cuencas sedimentarias). Por lo tanto, la geodinámica interna es la creadora de las grandes elevaciones y depresiones, producidas fundamentalmente por movimientos de componente vertical y, la geodinámica externa es la desencadenante de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado. Ambas a su manera, cambian el relieve de manera continua (aunque a escala temporal humana no lo solemos apreciar porque sucede muy lentamente).



La **geodinámica externa** se basa principalmente en el efecto de los agentes geológicos externos y en los procesos geológicos externos que producen, teniendo en cuenta los riesgos geológicos externos que estos agentes y procesos pueden originar. En la dinámica externa el relieve (previamente formado en la dinámica interna como las montañas) se denuda por efecto de la meteorización y erosión, al mismo tiempo que se produce deposición de sedimentos en otros lugares (cuencas sedimentarias). Por lo tanto, la geodinámica interna es la creadora de las grandes elevaciones y depresiones, producidas fundamentalmente por movimientos de componente vertical y, la geodinámica externa es la desencadenante de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado. Ambas a su manera, cambian el relieve de manera continua (aunque a escala temporal humana no lo solemos apreciar porque sucede muy lentamente).

En el **ciclo geológico interno** producido por la energía interna (calor del interior terrestre) las rocas se van transformando por diferencias de presión y temperatura en otras rocas distintas, por ejemplo a partir de los sedimentos se forman las rocas sedimentarias y éstas si son sometidas a muy altas presiones y temperaturas pero sin fundirse se transforman en rocas metamórficas y, si cualquiera de estas rocas se funde por altas temperaturas, se transforman en rocas ígneas, a su vez las rocas ígneas si son sometidas a muy altas presiones y temperaturas pero sin fundirse se transforman en rocas metamórficas, cualquiera de estas rocas si salen a la superficie por movimientos de las placas tectónicas son erosionadas en la superficie en el ciclo geológico externo formando sedimentos que darán lugar en el tiempo a rocas sedimentarias. En resumen cualquier roca puede ser transformada en otro tipo por acción de la energía interna y puede ser disgregada y erosionada por la energía externa, por tanto, la geosfera está en continuo cambio por la acción conjunta de la energía externa e interna formando el ciclo geológico. La geodinámica externa e interna son las responsables de que se produzca el ciclo geológico.

## 9. EL RELIEVE COMO RESULTADO DE LA INTERACCIÓN ENTRE LA DINÁMICA INTERNA Y LA DINÁMICA EXTERNA DE LA TIERRA.

Etimológicamente, Geomorfología deriva de las raíces griegas geo (Tierra), morphos (forma) y lagos (tratado). Por lo tanto, esta ciencia se preocupa de la forma de la Tierra. El relieve de la superficie terrestre es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de las grandes elevaciones y depresiones, producidas fundamentalmente por movimientos de componente vertical y, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado. Esta lucha constante se manifiesta a diferentes escalas y ha sido un devenir continuo a lo largo de la historia de la Tierra. Estos procesos de la dinámica externa se agrupan en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación. El resultado se manifiesta en la creación de un

conjunto de modelados erosivos y deposicionales, que suelen presentar rasgos específicos, en relación con los procesos actuantes en los diferentes ambientes morfogenéticos.

La energía necesaria para la actividad de estos procesos proviene de diferentes fuentes. La radiación solar llega a la superficie terrestre y se transforma parcialmente en calor, que constituye la principal fuente de los procesos meteorológicos. Estos controlan la meteorización, la edafogénesis y el desarrollo del relieve, así como la vida de animales y plantas. Además de la radiación solar, la energía gravitatoria da lugar al transporte de sedimentos, a los movimientos de masa en las laderas, etc. Finalmente, la energía endógena es la causa generadora de los grandes relieves existentes en la superficie terrestre.

Tradicionalmente, la Geomorfología se ha ocupado de los estudios a escala media en los que se analizan los diferentes eventos geomórficos que han configurado, a lo largo del tiempo, el relieve actual. Es lo que algunos autores denominan Geomorfología Histórica. Recientemente, el análisis de los procesos actuantes, a escala más detallada, junto con el estudio de la variabilidad temporal de las formas, ha conducido a lo que se conoce como Geomorfología Cuantitativa o de procesos.

## 10. SISTEMAS DE LADERA Y SISTEMAS FLUVIALES

Los sistemas de ladera son aquellas zonas con pendiente más o menos acusada, el hecho de presentar pendientes se asocia con ser zonas de mayor riesgo geológico dependiendo de la mayor o menor pendiente del terreno.

En función de diversos factores que condicionan los movimientos de ladera se han elaborado 4 grados de peligrosidad:

Grado Nulo. Zonas llanas o de escasa pendiente (0-4°). Son zonas llanas y exentas de peligrosidad.

Grado Bajo. Zonas con pendientes medias-bajas (hasta 8°) con movimientos de ladera de escasa magnitud, donde la probabilidad de ocurrencia de nuevos movimientos es baja.

Grado Medio. Zonas con pendientes medias-altas (8-15°) donde en la actualidad se presentan deslizamientos de cierta magnitud.

Grado Alto. Zonas con pendientes >15° con deslizamientos y desprendimientos activos de magnitud considerable y donde la posibilidad de ocurrencia es alta.

La palabra fluvial significa ríos. Un sistema fluvial de una región, país o continente es una red de ríos con todos sus afluentes desde el origen hasta su desembocadura en el mar. Dentro de sistema fluvial también podemos considerar los torrentes (cauce corto, en zona de fuerte pendiente) y ramblas (cauce largo, ancho, en zonas más o menos llanas) aunque sean de caudal irregular (permanecen secos la mayor parte del año).

A continuación veremos los riesgos de los sistemas de ladera (riesgos por deslizamientos) y de los sistemas fluviales (riesgo por inundaciones).

## 11. RIESGOS ASOCIADOS: PREDICCIÓN Y PREVENCIÓN

### 11.1 RIESGOS POR DESLIZAMIENTOS (MOVIMIENTOS) DE LADERAS

Son movimientos gravitacionales de material que se producen en las laderas o taludes (pendientes escarpadas). El agente geológico que actúa es la gravedad y puede llegar a movilizar grandes volúmenes de material. El agua es el desencadenante principal de un gran número de movimientos de ladera (aumentan el peso de los materiales y disminuyen su resistencia). Los movimientos de ladera, junto con las inundaciones, son los riesgos más importantes relacionados con la geodinámica externa.

**Principales tipos de movimientos de ladera:** Los **deslizamientos** son movimientos de masas de roca o suelos que se deslizan sobre una superficie de rotura (delimitando el material desplazado del inmóvil o subyacente). Los **flujos** son movimientos de materiales sin cohesión (materiales sueltos) que se comportan como fluidos a causa del agua que los empapa (provoca la pérdida total de resistencia de estos materiales) y se desplazan sin presentar superficies de rotura definidas (como sucedía en los deslizamientos). Los **desprendimientos** consisten en la caída libre o casi libre de fragmentos de material más o menos grandes (bloques o cantos rocosos) de un talud (pendiente muy acusada, casi vertical o

vertical). Las **avalanchas** son movimientos muy rápidos (velocidades frecuentemente mayores de 100 Km./h) de masas de tierra, fragmentos de rocas o derrubios, que pueden ir acompañados de hielo y nieve (los aludes de hielo y nieve se incluyen en este tipo).

**Origen y factores que controlan los deslizamientos:** El origen puede ser cualquier factor o circunstancia que afecte a la estabilidad de las laderas (como un terremoto, fuertes pendientes, el exceso de agua, la falta de vegetación, la excesiva pendiente...). Los factores pueden ser internos y externos:

- **Internos:** Pueden ser intrínsecos o extrínsecos. **Intrínsecos:** litológicos como el tipo de roca (permeable o no, dureza, composición...), el grado de consolidación de los materiales (materiales fuertemente unidos o sin cohesión, es decir, sueltos) y el espesor de los materiales de cobertura y suelos, o pueden ser estructurales como la existencia de estratos con los planos de estratificación paralelos a la pendiente o con fuerte inclinación (ver ejercicio 39), la alternancia de estratos con diferente permeabilidad, la presencia de fracturas (diaclasas) y fallas. **Extrínsecos:** morfológicos como el ángulo de pendiente de las laderas (las pendientes mayores del 15% son especialmente peligrosas) y ambientales como el clima (el exceso de agua y las inundaciones están relacionadas con gran parte de los deslizamientos de ladera), variaciones en el nivel freático, alternancia de precipitaciones con períodos secos, alternancia hielo-deshielo, tipo y cambios de vegetación.

- **Externos:** como terremotos, aunque la gran mayoría son debidos a la acción antrópica como vibraciones por explosiones o tráfico pesado, construcción de vías de comunicación, tala de árboles, incendios, aumento del contenido de agua por construcción de presas o exceso de riego, sobrecarga en la parte superior de un talud (con materiales de construcción, escombreras, rellenos...), disminución del apoyo lateral de los materiales debido a excavaciones, construcciones o procesos erosivos naturales (estas acciones son especialmente determinantes cuando ocurren al pie de laderas o taludes).

### **Tipos de movimientos de ladera:**

- **Deslizamientos:** son movimientos de masas de roca o suelos que se deslizan sobre una superficie de rotura, la velocidad de la masa que se mueve es igual en todos sus puntos. Los deslizamientos pueden ser lentos o catastróficos y afectar a grandes volúmenes de material. La fuerza de la gravedad se descompone en una ladera en dos fuerzas Z y R. El inicio de estos desplazamientos se produce cuando la fuerza de cizalla (Z) supera el valor de la fuerza de rozamiento interno (R). Z aumenta con la pendiente y R disminuye con la presencia de arcillas y el agua, por tanto, la pendiente y el agua favorecen los deslizamientos; el agua por un lado, incrementa el peso del material potencialmente deslizante y, por otro, disminuye el coeficiente de rozamiento interno en la superficie de rotura. Hay 2 tipos de deslizamientos: translacionales cuando la superficie de rotura es más o menos plana (paralela a la superficie de la pendiente) y rotacionales cuando es una superficie curva (cóncava). Los deslizamientos translacionales se produce cuando existe una roca competente (firme) asentada sobre arcilla o una roca meteorizada o suelo sobre una roca sin meteorizar y a favor de fracturas de la misma roca. Mientras que, los rotacionales son frecuentes en suelos cohesivos de tipo uniforme, como las arcillas, o en rocas situadas sobre niveles arcillosos.

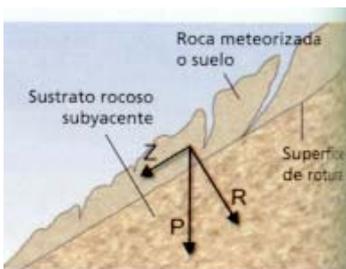


Figura 15. Fuerzas que intervienen en los deslizamientos.

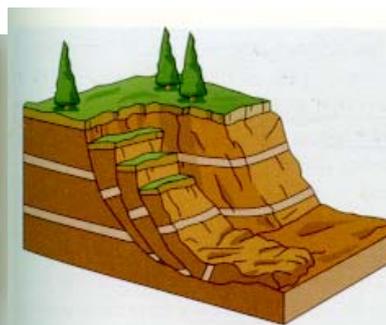


Fig. 15. Deslizamiento rotacional.

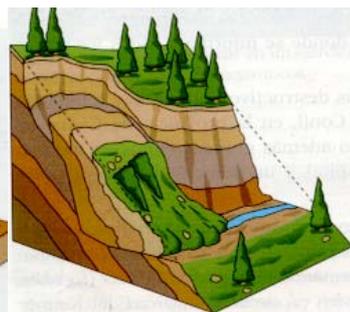


Fig. 14. Deslizamiento translacional.



Figura 16. Deslizamiento translacional. Fuente: Anillo Carretero, 1999

- **Desprendimientos:** consisten en la caída brusca y aislada de bloques o fragmentos rocosos por un talud, estos fragmentos se han separado previamente del resto del material por planos de rotura y en su caída se depositan en cotas más bajas o al pie del talud. Es frecuente en zonas montañosas periglaciares en las que el agua penetra en las grietas y al congelarse, el hielo actúa como cuña que agranda la grieta produciendo con el tiempo su rotura (gelifracción).

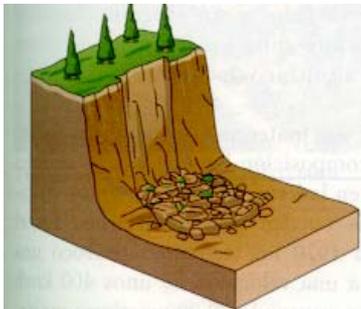


Fig. 17. Desprendimiento.



Fig. 18. Corte de una carretera por desprendimiento.



Figura 14. Deslizamiento producido en la ladera de un cerro en la ciudad de Teziutlán (México).



Fig. 16. Grieta percusora de deslizamiento.

- **Avalanchas:** son movimientos muy rápidos de masas de tierra y fragmentos de rocas de tamaños variados y sin ninguna clasificación. La presencia de agua o aire entre los fragmentos reduce el rozamiento y les permite alcanzar velocidades superiores a los 100 Km./h. Debido a la rapidez de estos movimientos y a su poder destructivo, hay muy pocas posibilidades de eludir sus efectos. Los aludes de hielo y nieve se incluyen en este tipo.

- **Flujos:** son movimientos, lentos o rápidos, de materiales sueltos que se comportan como fluidos a causa del agua que los empapa y se deforman y desplazan sin presentar superficies de rotura definidas. Los movimientos de flujo pueden ser coladas de derrubios o coladas de fragmentos de rocas, ambos se diferencian de las avalanchas en que su velocidad es menor que en las avalanchas, pero las coladas de barro (son materiales finos y homogéneos, lo que posibilita que puedan producirse sobre pendientes suaves) también son flujos y pueden alcanzar velocidades de hasta 1.000 Km./h en fuertes pendientes, teniendo efectos catastróficos.

Dentro de los flujos se incluyen dos procesos que ocurren muy lentamente: reptación y solifluxión.



Figura 20. Reptación.

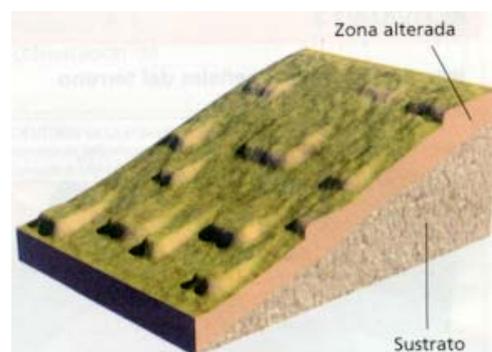


Figura 21. Solifluxión.

-**Reptación o creep:** es un movimiento muy lento, en muchos casos imperceptible, afecta a la parte más superficial de los suelos y material de alteración de cualquier superficie que presente cierta pendiente. Se produce por el efecto sumatorio de dos movimientos, uno de expansión que consiste en la elevación perpendicular del terreno debida al hinchamiento por hidratación de ciertos materiales, como las arcillas, y otro movimiento de retracción que consiste en la caída gravitatoria ladera abajo producida por la deshidratación (recupera su volumen original).

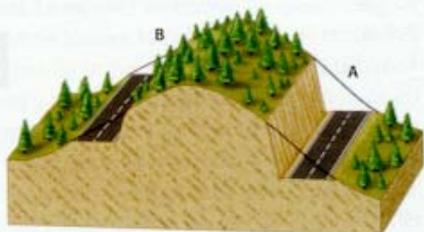
-**Soliflujión:** se trata de pequeños y lentos flujos viscosos producidos intermitentemente en cada ciclo hielo-deshielo, es frecuente en zonas periglaciares en primavera cuando el deshielo de las nieves produce suelos encharcados.

**Daños y efectos de los deslizamientos:** Los movimientos de ladera tienen efectos catastróficos en dos sentidos, primero efecto directo sobre las personas al causar víctimas (principalmente aquellos movimientos de ladera de gran velocidad que golpean, arrasan y sepultan) y la pérdida de bienes por destrucción de casas, cultivos..., y en segundo lugar los movimientos de ladera pueden interferir con otros sistemas (fluvial, embalses, glaciar...) como por ejemplo los materiales de un deslizamiento se acumulan en un río, lo que crea un obstáculo para el agua que sale del río produciendo una inundación. Curiosidad: Otro ejemplo fue en Italia en 1963, un deslizamiento de rocas de 2 km de largo, 1.6 km de ancho y 150 m de espesor, se desplazó repentinamente por el cañón Vaiont llenando completamente el embalse y expulsando su contenido hídrico, lo que causó una gran riada en la que murieron 3.000 personas.

**Predicción y prevención de los deslizamientos:** Las medidas predictivas se basan en la elaboración de mapas de riesgo, estudiando los factores o condiciones que favorecen los riesgos de deslizamientos (exceso de agua en el terreno, fuertes pendientes, fracturas en el terreno, ausencia de vegetación, alternancia de estratos de distinta permeabilidad...) o los impiden (terrenos llanos o pendientes suaves, materiales cohesionados, vegetación fuertemente enraizada...). En base a los mapas de riesgo se debe producir la ordenación del territorio evitando las construcciones en las zonas de riesgo alto, como sucede en la base de un talud.

La mejor medida de prevención es la reforestación de pendientes, así como evitar la tala de árboles. Otras medidas son la construcción de muros, contrafuertes, anclajes o mallas para retener los materiales en las laderas en las que ya existen vidas o actividades humanas amenazadas por los riesgos de ladera, modificar la pendiente mediante aterrazamientos o rellenos de materiales en las zonas bajas de las laderas, aumentar la resistencia del terreno inyectando materiales cohesivos o instalando barras de acero, realización de obras de drenaje para disminuir la escorrentía, el encharcamiento y la erosión hídrica, la realización de estudios de impacto ambiental para aquellas actividades humanas que puedan aumentar el riesgo como la minería que deposita materiales no cohesionados o la construcción de embalses que saturan de agua grandes extensiones de terreno. Realiza los ejercicios 39 y 40.

39 En la figura de la derecha se representan dos posibles opciones (A y B) para la construcción de una carretera. En el corte transversal podemos ver la orientación de los planos de estratificación del sustrato rocoso.

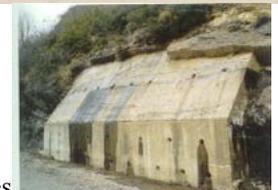
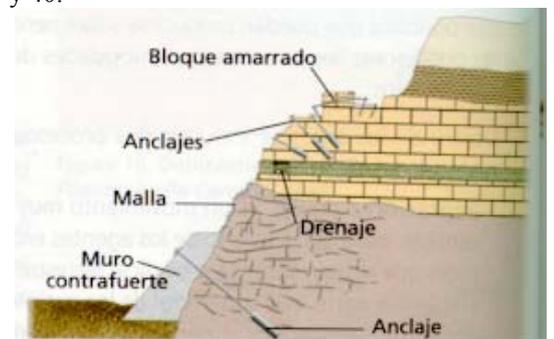


- a) ¿Cuál de las dos posibilidades ocasionaría menos riesgos? ¿Por qué?
- b) Establece las medidas preventivas aconsejables en cada caso.

40 En la figura inferior puede apreciarse un flujo de agua subterránea que aumenta la presión sobre un muro de contención levantado para impedir el desmoronamiento de la ladera.



- a) ¿Qué consecuencias crees que se pueden derivar de la situación representada?
- b) ¿Qué tipo de medidas preventivas adoptarías para evitar este riesgo? ¿Sería conveniente evacuar a la población?



Muro contrafuerte con drenajes

## 11.2 RIESGO POR INUNDACIONES.

Las inundaciones se define como la ocupación ocasional de terreno por el agua. Puede ocurrir en zonas litorales debido a tsunamis o a la superposición de oleaje y las mareas, pero las más frecuentes son las inundaciones en el interior de los continentes, producidas por las aguas de escorrentía superficial (ríos, arroyos, torrentes, ramblas) que sufren una crecida (avenida) transitoria del caudal, ocasionada por lluvias torrenciales o por fusión rápida de nieves y hielos.

Las inundaciones son las catástrofes naturales que causan mayor número de víctimas en el mundo (también en España). Es el más importante de los riesgos relacionados con la geodinamica externa.

**CAUSAS DE LAS INUNDACIONES:** El fenómeno de las inundaciones es uno de los que presentan mayor riesgo inducido, ya que las actividades humanas aumentan la gravedad del fenómeno e incluso lo pueden provocar. Por esto, interesa dividir las causas en naturales y antrópicas:

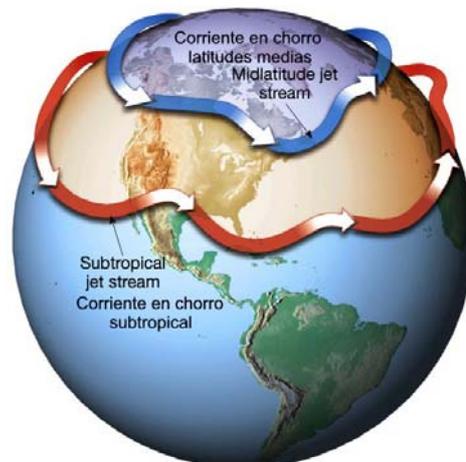
- **Causas Naturales:** Generalmente de origen climático y meteorológico, como puede suceder por ciclones costeros que provocan precipitaciones de gran intensidad y duración. También por fusión rápida de la nieve o del hielo por un aumento brusco de temperatura (o por actividad volcánica), y como sucede en el Mediterráneo, la existencia de climas con períodos de marcado estiaje, frente a otras épocas de precipitaciones torrenciales. Por ejemplo la gota fría en el Mediterráneo y los monzones en Asia en las que casi toda la precipitación anual cae en un período corto de tiempo. Otras causas naturales son las inundaciones por obstrucción natural de cauces fluviales, en las que materiales provenientes de deslizamientos, avalanchas, aludes, desprendimientos, etc., obstruyen el paso del agua que se ve obligada a salir del cauce produciendo inundaciones. Dada su importancia en nuestra región profundizaremos en la gota fría.

### Riesgo por gota fría

La gota fría se produce como resultado de la suma de tres factores: mar caliente, atmósfera inestable en la superficie y aire frío en la altura.

**Origen:** La gota fría es un fenómeno típico del Mediterráneo en septiembre y octubre (entornos cálidos y en los que el mar proporciona abundante humedad), un mar que se calienta mucho en verano, que puede llegar a estar cerca de treinta grados en zonas cercanas a la costa, y cuando llega el otoño, suelen entrar bolsas de aire frío en capas altas (estrangulamiento de una vaguada de la corriente en chorro polar, quedando aislada una masa de aire frío de origen polar. Se origina por la rotura del chorro polar (aire frío situado a gran altura en la parte superior de la troposfera y en altas latitudes) debido a un exceso de curvatura del chorro polar (formando las llamadas ondas de Rossby) por pérdida de velocidad de la corriente en chorro. Este estrangulamiento del chorro polar deja una masa de aire frío (que se separa del chorro polar), un embolsamiento, en altura no perceptible en superficie. Si esta bolsa de aire frío se desplaza hacia latitudes más bajas, entre los 30 y los 45°, se puede encontrar rodeada de aire más cálido, y precipitarse hacia la superficie terrestre provocando el ascenso de aire más cálido), al ser más ligero el aire caliente que hay sobre el Mediterráneo, el aire frío situado en altura que es más denso desciende rápidamente al encontrarse el aire caliente debajo, el aire caliente asciende rápidamente al ser empujado por la masa de aire frío en altura que desciende, formándose una gran borrasca, si en ese punto sopla viento de levante (si se forma enfrente de las costas españolas) que aporte más humedad y la empuje a tierra es cuando desata su poder, la gota fría al igual que los huracanes depende del mar para obtener su energía, por lo que los mayores vientos y las mayores lluvias suelen ser en la costa. Cuidado, no hay que confundirse: la gota fría es una borrasca muy especial originada por aire frío situado a gran altura, por lo que no se ha formado por ondulación del frente polar (el frente polar es una serie de borrascas situadas a unos 60° de latitud y que en invierno desciende de latitud produciendo borrascas en el centro y sur de Europa, esta es la forma de precipitación mas frecuente en zonas templadas cuando llegan las borrascas del frente polar, pero en la gota fría, la borrasca que se forma tiene otro origen relacionado con el chorro polar. Las precipitaciones por gota fría son mas intensas, y por tanto, mas dañinas que las de las borrascas del frente polar).

**Efectos:** La gota fría es un fenómeno meteorológico de peligrosidad media, pudiendo llegar a causar varias muertes al



año, sus principales riesgos son la fuerte lluvia que como en Gandía (Valencia) en 1987 llegó a superar los 500 L/m<sup>2</sup>, es decir, si el agua no hubiera fluido hubiera cubierto la zona con medio metro de agua, una cantidad equivalente a lo que llueve en la zona en un año.

El viento que puede llegar a más de 100 km/h en la costa causando caídas de árboles pero que en interior amaina de manera considerable.

La marejada que destruye playas, embarcaciones y paseos marítimos, llegando a penetrar el mar en tierra firme y llegando a destruir los locales en primera línea, las marejadas propias de la gota fría no son tan poderosas como las de los huracanes pero aún así pueden elevar el nivel del mar 1 metro o más tragándose playas y paseos, con oleajes que suelen superar los 2 m de altura, olas que sin ser muy altas albergan una gran potencia por su corta distancia entre olas.

**Predicción y prevención de la gota fría:** Se pueden predecir gracias a la red de satélites e información meteorológica. Las medidas de prevención son similares a las de las inundaciones (Ordenación del territorio, planes de Protección Civil, modelos de simulación de avenidas, reforestación y conservación del suelo...).

- **Causas Antrópicas**: Pueden ser directas o indirectas. Entre las causas **directas** que pueden causar inundaciones está la rotura de presas, el desembalse súbito de agua, incremento de aportes sólidos al cauce por explotaciones mineras, escombreras, canteras, obras, prácticas agrícolas y forestales..., y obras en el cauce fluvial como diques y canalizaciones (ambos construidos para evitar inundaciones pueden tener el efecto contrario porque aumentan la velocidad del agua, impermeabilizan el terreno, pudiendo incluso aumentar el caudal), así como construcciones diversas que invaden el cauce (fábricas, viviendas, puentes...) que actúan como obstáculos, reduciendo la sección útil del cauce en el caso de crecidas. Esta última situación puede agravarse cuando además se produce una obstrucción a la circulación del agua por la vegetación y otros cuerpos flotantes (incluidas basuras de todo tipo, encontrándose lavadoras, televisores..., en ramblas), que quedan retenidos en estos obstáculos. Entre las causas **indirectas** que pueden causar inundaciones está la impermeabilización del terreno con asfalto y hormigón por aumento de zonas urbanizadas (menos agua se infiltra quedando más agua en escorrentía para producir inundación), prácticas deficientes de cultivo y usos del suelo erróneos (como labrar a favor de pendiente que aumenta la velocidad del agua disminuyendo su posible infiltración, o el excesivo laboreo que facilita la erosión llevando el agua gran cantidad de sedimentos que aumentan la peligrosidad de las inundaciones), erosión de suelos que favorece los fenómenos torrenciales (el suelo absorbe mucha agua por lo que la pérdida de suelo por erosión disminuye la retención de agua) y sobre todo, la deforestación y pérdida de cobertura vegetal ya que la vegetación disminuye la velocidad del agua, frena la erosión y aumenta la infiltración del agua. Curiosidad: En el Himalaya, el proceso de deforestación ha potenciado las inundaciones de forma alarmante. Cuando esta cordillera estaba cubierta de árboles, las inundaciones afectaban a Bangladesh una vez cada 50 años. En los años 70 se producían inundaciones cada 4 años. En la India, las pérdidas anuales por inundaciones son más de 14 veces superiores a las producidas en los años 50.

**Factores que controlan las avenidas**: Las inundaciones se ven favorecidas en mayor o menor medida no sólo por los factores climáticos, sino también por factores geológicos, geomorfológicos y vegetación. Los factores climáticos tienen en cuenta no sólo la cantidad de precipitación caída, sino también el intervalo de tiempo en el que caen, ya que la misma cantidad precipitada de forma regular en un gran intervalo de tiempo difícilmente producirá inundaciones. En la región mediterránea podemos tener lluvias de gran intensidad en un intervalo muy corto de tiempo debido a fenómenos como la gota fría, por lo que el riesgo de inundaciones es muy grande. Los factores geológicos y geomorfológicos tienen en cuenta las características litológicas de la cuenca como por ejemplo que tenga materiales impermeables que impidan la infiltración (mayor probabilidad de inundación) o que sean fácilmente erosionables (mayores daños en las inundaciones debido a la mayor cantidad de sedimentos que pueden arrastrar las aguas), también tienen en cuenta las características de la red hidrográfica como su forma y tipos y las características de los cauces como su forma y pendiente. Por ejemplo una forma lineal, en lugar de sinuosa, favorece la mayor velocidad del agua, al igual que una pendiente más acusada siendo más probable una inundación, también la anchura y altura del cauce o la presencia de fragmentos de rocas de importante tamaño... En nuestro caso cabe destacar como especialmente peligrosas nuestras ramblas mediterráneas, cauces secos la mayor parte del año que pueden transformarse en una avalancha de lodo y

pedras en pocos minutos. Por último los factores de la vegetación como el tipo y estado de la vegetación o el uso agrícola del terreno, a más densidad de vegetación mayor retención del agua y menor erosión del suelo, protegiendo al suelo del golpeteo de las gotas de lluvia, frenando la velocidad del agua y aumentando la infiltración en el terreno. Las actividades agrícolas suelen facilitar la erosión del suelo, sobre todo por el intenso laboreo y la mayoría de cultivos no tienen la suficiente densidad de vegetación y sus suelos no suelen ser muy permeables.

**Daños y consecuencias de las avenidas:** El principal daño es la erosión y sedimentación, ya que las inundaciones arrastran una enorme cantidad de materiales debido a la velocidad y cantidad de agua en movimiento (los materiales que arrastra agravan a su vez los efectos erosivos del agua), erosionando los suelos, destruyendo casas, arrastrando coches..., y posteriormente estos materiales son depositados en distintos lugares produciendo la sedimentación de fangos y todo tipo de materiales incluido materia orgánica como restos vegetales y animales muertos, estos últimos además, en su descomposición favorecen la aparición de enfermedades infecciosas al contaminar el agua con microorganismos. El agua es el desencadenante principal de un gran número de movimientos de laderas, ya que en condiciones de hidromorfía (suelo saturado de agua) se produce una disminución de la resistencia y un aumento de las presiones intersticiales en los materiales, lo que facilita el deslizamiento por gravedad de grandes masas de tierra situadas en pendiente, impulsado además por la corriente de agua. También se pueden producir cambios en la geometría del cauce por diversas causas como que se ensanche o el río busque nuevos caminos...

**Predicción de las inundaciones:** La predicción espacial es totalmente factible, por ejemplo en España se conocen históricamente las zonas con probabilidad de inundación y se han elaborado numerosos mapas de riesgo. Las medidas predictivas se basan en la observación continua de las variables meteorológicas. Actualmente, la predicción meteorológica alcanza buenos resultados a corto y medio plazo, por lo que es posible prever la formación de grandes tormentas que puedan originar inundaciones. Además la ciclicidad de algunos eventos como los monzones o la gota fría te permite saber las épocas más propicias para las grandes precipitaciones.

**Prevención de las inundaciones:** Los mecanismos preventivos y correctores se basan en soluciones de dos tipos, de carácter estructural y de carácter no estructural o funcional.

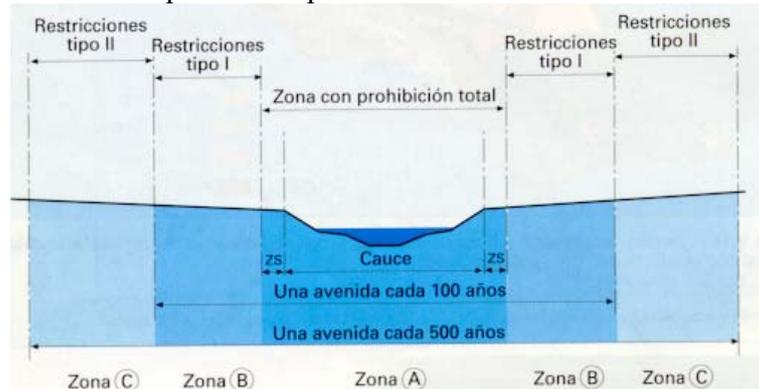
- **Soluciones estructurales:** La medida preventiva más efectiva ante el riesgo de inundaciones es la política de reforestación y conservación del suelo, debido a la gran retención hídrica que producen los bosques y la disminución de la velocidad del agua de escorrentía, impidiendo la formación de arroyadas y torrentes caudalosos. Sin embargo, las soluciones se orientan fundamentalmente a regularizar el caudal de las redes fluviales mediante la construcción de presas (laminación hidráulica), e impedir sus desbordamientos construyendo canales y diques de contención. La construcción de presas tiene por finalidad regular los cauces y evitar los máximos de caudal, esta acción se llama laminación de avenidas, además, las presas se pueden utilizar como fuente de energía hidroeléctrica, abastecimiento de agua potable, regadío, ocio... La canalización por cauces anchos de los ríos se suele hacer a su paso por núcleos urbanos, la construcción de diques laterales tiene el fin de que contengan el agua de las crecidas. Estas medidas, no obstante, pueden llegar a producir efectos contrarios a los deseados por rotura de presas y por el aumento del caudal que originan las canalizaciones, así como el efecto de impermeabilización del terreno de estas construcciones, que impide retener el agua del suelo (además las canalizaciones disminuyen el rozamiento del agua por sus paredes lisas dando más velocidad al agua con el peligro que ello ocasiona). Además, los diques se deben construir a suficiente distancia del cauce principal para que en ningún caso se aumente el caudal y la velocidad del agua, lo que provocaría mayores daños (si uno construye diques de contención sobre un río, va a afectar el volumen de agua durante una crecida en algún lugar río abajo).

Otra medida estructural es el aumento de la capacidad del cauce mediante su ensanchamiento y/o dragado (se debe hacer de manera que no modifique el perfil del río, ya que, en caso contrario, éste al tratar de buscar su perfil de equilibrio, provocará erosión remontante). El desvío de cauces es una medida que se suele hacer a su paso por ciudades cuando resulta inviable (por falta de espacio) el aumento de la capacidad del cauce del río o construir diques. Ejemplo el río Turia a su paso por Valencia. El nuevo

cauce puede ser un auxiliar del viejo o se puede prescindir de éste. En algunas cuencas existen estaciones de control que recogen todos los datos de la cuenca, los datos son procesados por ordenador para saber en cada momento la evolución del riesgo de avenidas.

Las inundaciones no se evitan por tiempo indefinido con grandes obras (medidas estructurales) creando una falsa confianza y el consiguiente desarrollo económico y social de ciertas zonas; tarde o temprano, la avenida se producirá y será más catastrófica que el conjunto de todas las que se hubiesen ido produciendo sin las medidas estructurales realizadas.

- **Soluciones no estructurales:** A partir de los mapas de riesgo se produce la ordenación del territorio, concretamente en las llanuras inundables, de forma que evite riesgos altos a la población e industrias, pero el riesgo es alto porque son zonas agrícolas por tener suelos muy fértiles y la construcción de carreteras aprovechando las terrazas fluviales supone un ahorro económico. La legislación española (ley de Aguas 1986) establece 3 zonas para la ocupación de las terrazas fluviales:



**Figura 8.20.** Normativa legal sobre ocupación de cauces fluviales. (Según Real Decreto 849/1986.). Una de las principales causas de los daños originados por las inundaciones se debe al incumplimiento de esta ley.

La zona de servidumbre (zona A): comprende el cauce normal y las franjas de 5 m de anchura a cada lado, donde llega el agua en las avenidas ordinarias. Se prohíbe la realización de cualquier obra que suponga un obstáculo a la corriente como pilares de puentes.

La zona de policía (zona B): se extiende 100 m a ambos lados del cauce, donde llega el agua en las avenidas extraordinarias (aprox. 1 vez cada 100 años). Se permiten los usos agrícolas y cierto tipo de edificaciones con autorización expresa de los Organismos de Cuenca.

La zona inundable (zona C): donde llega el agua en las crecidas máximas poco frecuentes (aprox. 1 vez cada 500 años), existe alguna norma de restricción de uso, aunque menos limitativa que la anterior.

En las medidas no estructurales también están los seguros obligatorios para edificios y actividades que se desarrollen en las áreas sujetas a las inundaciones, de esta manera las indemnizaciones y ayudas públicas serían menores en caso de inundación. Otras medidas son los planes de emergencia de protección civil y modelos de simulación de avenidas realizados por ordenador.

### **Incidencias en la Región de Murcia. Inundaciones por gota fría. Desprendimientos de ladera**

Imprimir de la documentación aportada por el coordinador de selectividad el archivo: "5-10-SISTEMAS-DE-LADERA-Y-SISTEMAS-FLUVIALES"

## **12. EL SISTEMA LITORAL. FORMACIÓN Y MORFOLOGÍA COSTERA. HUMEDALES COSTEROS, ARRECIFES Y MANGLARES.**

### **12.1. Introducción.**

El *sistema litoral* es la región donde la interacción entre la actividad humana y el ecosistema marino es más estrecha. Constituye la zona de intercambio por excelencia entre continente y océano. Los ecosistemas costeros, afectados por aportes continentales y por procesos físicos de alta energía (olas, vientos, mareas y corrientes), se caracterizan por una elevada productividad biológica, una dinámica sedimentaria muy activa y unas transformaciones químicas muy intensas y dinámicas. En la zona litoral,

las interacciones entre la tierra, el mar y la atmósfera son muy acentuadas. Todo tipo de aportes, de naturaleza y composición diversa modifican su circulación y su estructura, así como la calidad del agua.

El sistema litoral es la región marina más afectada por la acción directa del hombre: alteraciones de la línea de costa y de la circulación por la construcción de nuevas estructuras (puertos, diques, etc.), modificaciones del fondo mediante drenajes, modificaciones de los depósitos de playa por cambios en la dinámica de la arena (causadas por diques, presas, regeneraciones, etc.), establecimiento de instalaciones de acuicultura, descarga de aguas residuales, etc. Además, en la costa es donde el impacto de la contaminación y la eutrofización son más directos y más intensos. Es a través del litoral, y por medio de la circulación y el intercambio constante de masas caracteriza por una elevada heterogeneidad espacio-temporal, consecuencia de una gran variabilidad hidrodinámica, sedimentológica y morfológica que produce una extraordinaria diversidad de hábitats. Además, en la zona litoral, el ecosistema pelágico y bentónico están muy próximos, con lo cual muchas especies pasan parte de sus ciclos de vida en un sistema o en el otro.

## 12.2. Formación y morfología costera.

Debido a la actuación de los agentes y factores litorales se genera una dinámica que conduce a la aparición tanto de formas de erosión como de formas de acumulación características de estas zonas.

### a) Formas de erosión

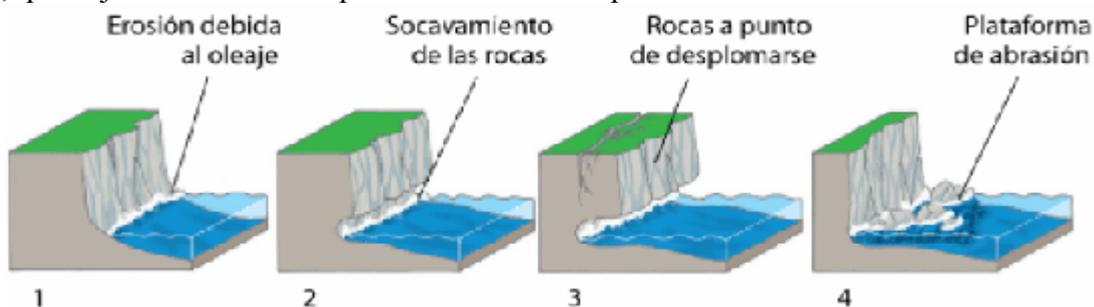
Las **olas** son los principales agentes erosivos del litoral. Su efecto es doble, interviene no sólo la potente fuerza de la masa de agua, sino también el continuo roce y golpeteo de los materiales arrastrados por las olas. De forma general las olas actúan:

a) **Comprimiendo el aire contra las rocas.** Esta compresión, que puede llegar a alcanzar presiones superiores a  $30 \text{ Tm/m}^2$ , es mayor cuanto más fracturada esté la roca y menor en rocas masivas y poco fracturadas.

b) **Produciendo corrosión.** Las olas pueden pulir o fragmentar los materiales, debido a su efecto metralla (roce y golpeteo de los materiales arrastrados por las olas). Estos materiales pueden acumularse formando playas u otras formas de acumulación o ser arrastrados hacia otras zonas.

c) **Produciendo un efecto químico sobre los materiales,** por ejemplo, disolviéndolos, hidratándolos, etc.

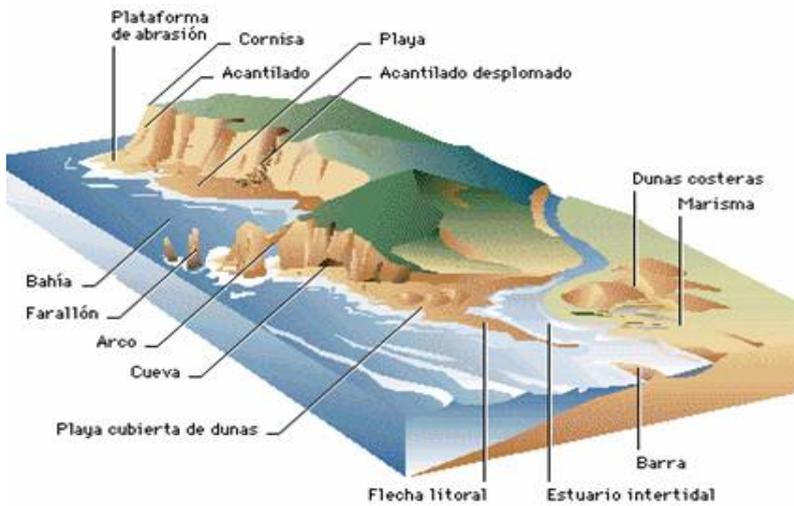
Entre ellas, nos encontramos tanto **formaciones heredadas**, como por ejemplo las **rías** y los **fiordos**, que se originan por inundación de antiguos valles fluviales o glaciares, o propias que son debidas a la actuación de agentes costeros, como el viento, mareas, fenómenos de ladera, etc. Entre estas últimas nos encontramos con los **acantilados** y las **plataformas de abrasión**. La formación y el desarrollo de los acantilados depende, entre otros factores, de su inclinación, su grado de fracturación, las rocas que lo formen, etc. El oleaje golpea la base del acantilado, de esta forma se origina un socavón en su parte inferior que da lugar a derrumbamientos y desplomes de material rocoso de la parte superior, cuyos cascotes actúan como metralla y acentúan la acción erosiva de esa zona. Así se produce el retroceso del acantilado, que deja tras de sí una superficie denominada plataforma de abrasión.



### b) Formas de acumulación

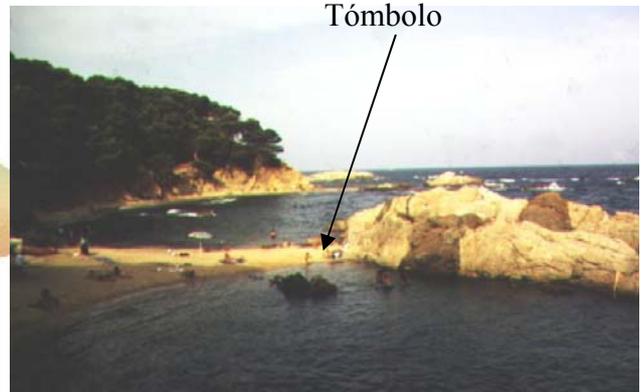
Los materiales procedentes de la erosión o algunos depósitos fluviales en su desembocadura son transportados por el oleaje, las corrientes marinas y las mareas, depositándose finalmente en zonas tranquilas y protegidas de las costas bajas. Existe gran variedad de formas debidas a estos procesos de sedimentación. Entre ellas destacamos las siguientes:

a) **Playa**. Se forman por la acumulación de materiales detríticos finos en la línea de costa. En ellas podemos distinguir las siguientes partes: la más próxima al continente suele ser un acantilado o zona de dunas, seguida por una playa interna (que sólo se inunda en época de mareas altas o fuertes tormentas), a continuación aparece un resalte, al que sigue una playa externa (que se sitúa en la zona delimitada por la marea alta y la marea baja o zona intertidal) y por último una playa sumergida continuamente.



Barra

Albufera



Tómbolo

Flecha

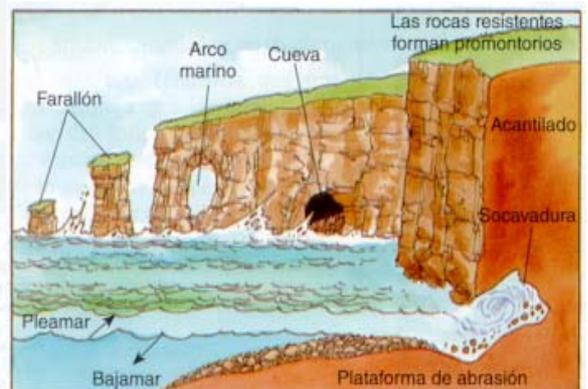
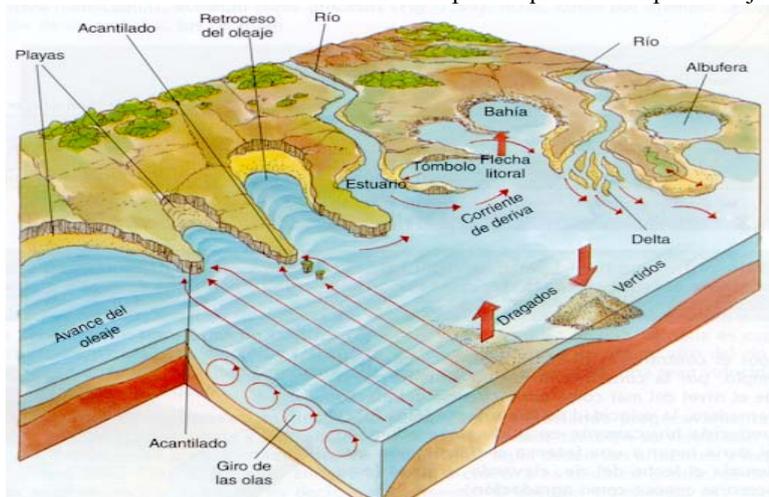


b) **Cordón litoral** (o barra). Se origina por depósitos longitudinales de materiales paralelos a la costa que dejan un brazo de mar entre ambos. Cuando un cordón litoral arenoso une las dos partes salientes de una bahía se forma una albufera.

c) **Tómbolo**. Es una acumulación arenosa que une la costa con una isla próxima.

d) **Flechas litorales**. Se originan por la acumulación de materiales en puntos salientes de la costa.

e) **Deltas y estuarios**. Son formas de interfase marino-fluvial (estuario: entrada del mar en la costa al invadir la desembocadura de un río, suelen ser ríos que llevan pocos sedimentos o bien las corrientes marinas son tan fuertes que transportan lejos de la desembocadura los sedimentos; delta: se forma en las desembocaduras de ríos por la acumulación de materiales hasta formar la penetración de tierra en el mar, al contrario que en el estuario el río lleva muchos sedimentos o las corrientes marinas son débiles en la zona por lo que no transportan lejos los sedimentos que se acumulan).



### 12.3. HUMEDALES COSTEROS, ARRECIFES Y MANGLARES.

**a) Humedales costeros:** Marismas, marjales, lagunas y albuferas. Son terrenos bajos y pantanosos, situados muchas veces en zonas de desembocaduras fluviales, que son inundados por el agua del mar en las mareas altas.

- **Marismas.** Son áreas de topografía plana situadas cerca del mar y que suelen sufrir inundaciones periódicas del mar. Suelen encontrarse en desembocaduras de ríos, donde la formación de barras de arena delimita zonas de perfil cambiante que provoca la inundación ocasional. (Marismas del Guadalquivir, Coto de Doñana).

- Marjales.

- **Albuferas.** Cuando las barras de arena se desarrollan demasiado pueden llegar a cerrarse creando una cuenca en la que no se aprecia la acción del oleaje, mareas y corrientes. Son Albuferas o Lagoones. (Albufera Valenciana).

- **Lagunas (Mar Menor).** Se originó a partir del cierre de una gran depresión por procesos litorales de depósito de arenas sobre basamento rocosos (areniscas calcáreas y afloramientos volcánicos) La barra arenosa se ve interrumpida por canales o golas.

- **Salinas.**

#### **b) Arrecifes**

Son formaciones producidas por pólipos de cnidarios. Los corales, a pesar de su pequeño tamaño, tienen una enorme capacidad constructora. Los arrecifes coralinos no son otra cosa que los esqueletos externos de innumerables pólipos que viven formando colonias. Son típicos de los mares trópico-ecuatoriales de aguas cálidas (de más de 18° C) muy limpias y oxigenadas, es decir, muy movidas, y sobre suelos poco profundos. Se encuentran en la costa este de los mares cálidos, ya que la oeste suele ser más fría debido a las corrientes. Los corales viven en simbiosis con las algas, las zooxantelas. No se conoce con exactitud la relación que hay entre ambas, pero parece que las algas proporcionan alimento (y color) al arrecife. En estos ecosistemas se desarrollan gran cantidad de seres vivos (se calcula que un tercio de las especies marinas). Además tiene una gran productividad biológica.

Existen tres tipos de arrecifes:

- Los **costeros**, muy cercanos a la línea de costa y poco extensos.

- Los de **barrera**, algo más alejados y de gran tamaño.

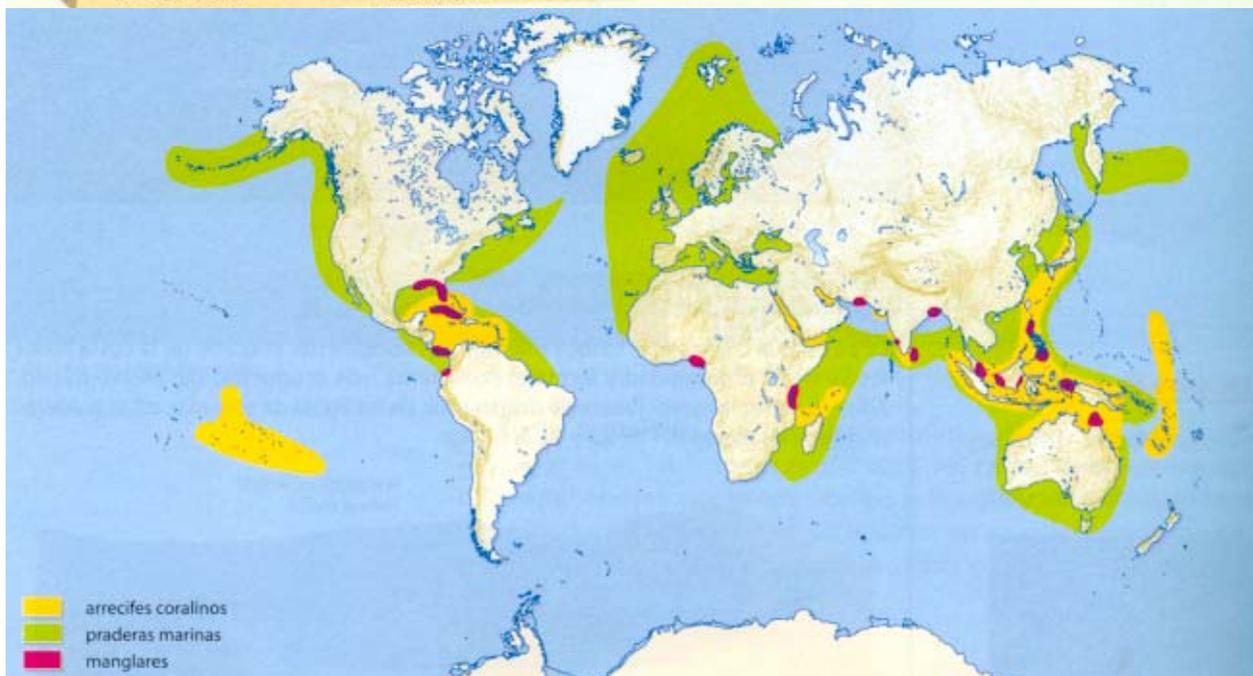
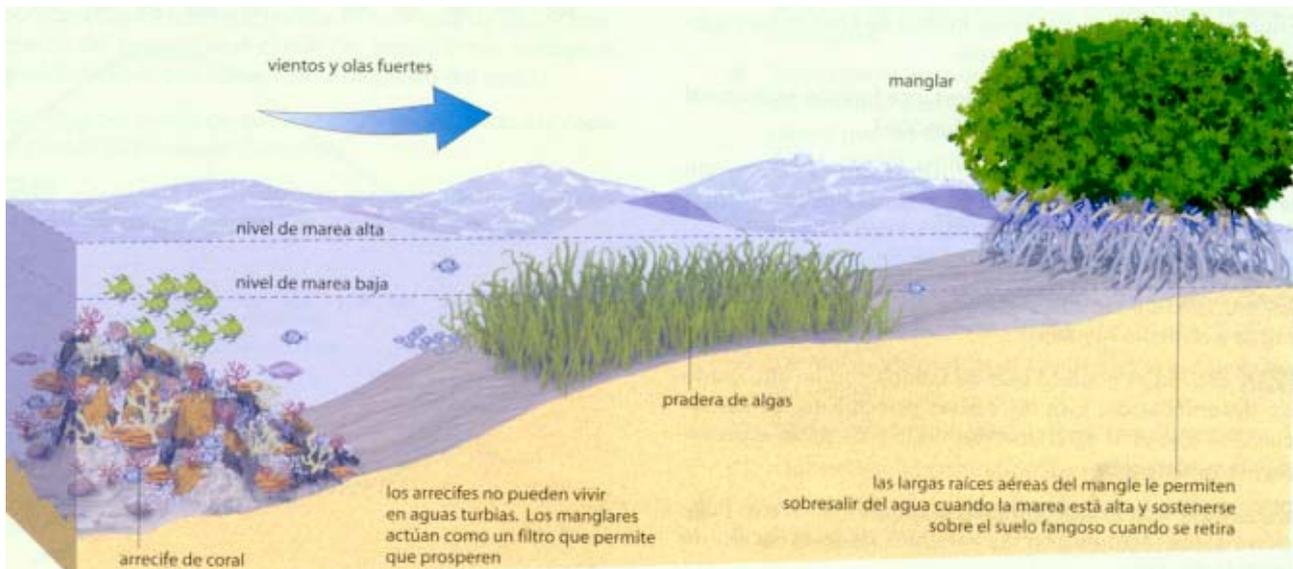
- Los **atolones**, de forma circular y se apoyan en una isla sumergida. Al emerger, suelen dar a las islas susceptibles de ser colonizadas por el ser humano.

En la actualidad, los arrecifes coralinos sufren lo que se conoce como “blanqueado”, un fenómeno que consiste en la muerte de las algas zooxantelas simbióticas y que puede llevar a la desaparición del arrecife. Su origen se encuentra en la turbidez de las aguas o en su calentamiento. En más de la mitad de las áreas que presentan arrecifes coralinos, estos están gravemente amenazados.

**c) Manglares.** Son bosques semisumergidos que se encuentran en zonas trópico-ecuatoriales. Están constituidos fundamentalmente por el mangle (*Rizophora mangle*), del que existen más de cincuenta especies entre árboles y arbustos. Los árboles miden unos cuatro metros de altura y disponen de numerosas raíces acuáticas, que les confieren estabilidad suficiente como para mantenerse en pie sobre el suelo cenagoso, de color negro debido a la riqueza de materia orgánica y la abundancia de bacterias.

Los manglares constituyen ecosistemas muy importantes por su gran biodiversidad. En este medio habitan numerosas especies animales, tanto acuáticas (peces, crustáceos, moluscos,...) además, lo intrincado de sus raíces hace que sean un medio idóneo para la cría y el desarrollo de numerosas especies que encuentran en el alimento y protección en las primeras etapas de su vida.

Los impactos más graves que sufren los manglares son la tala para el cultivo de langostinos y camarones, la sobreexplotación maderera, la desecación para la obtención de suelos agrícolas y la pérdida de aportes de aguas dulces. Todo esto hace que, en la actualidad, estos ecosistemas se encuentren en acelerada regresión.



## 12.4 RECURSOS COSTEROS E IMPACTOS DERIVADOS DE SU EXPLOTACIÓN.

Las zonas costeras son las más densamente pobladas del planeta, ya que aproximadamente un 37% de la población mundial habita a menos de 60 Km. de las mismas. La presión ejercida por la superpoblación junto con las actividades humanas (pesca, transporte, actividades recreativas...) son la causa de las numerosas agresiones que estas zonas padecen. Esta superpoblación es debida a la gran cantidad de recursos susceptibles de ser aprovechados que presentan las zonas costeras como recursos alimenticios, minerales, energéticos, hídricos, recreativos, ecológicos, educativos, de transporte y comunicación.

Entre los **recursos alimenticios** tenemos la pesca, la acuicultura que comenzó con la cría de marisco de alto precio (langostino, centollo, bogavante, ostras...) y en la actualidad ya se crían diversas especies de peces (salmón, dorada, lubina...) y las algas además de alimento se pueden obtener diversidad de productos (cosméticos, medicinales, industriales, compost...). La sobrepesca esta produciendo el agotamiento de muchos bancos pesqueros y la acuicultura contamina con los productos que utiliza como antibióticos, piensos... que se diluyen en el agua.

Entre los **recursos minerales** tenemos minerales metálicos que se concentran en playas como el estaño y el oro y minerales no metálicos como la sal común (para alimentación sobre todo), fosfatos y

nitratos (abonos) que se obtienen de los excrementos de las aves marinas llamados guano y por último, se extraen arenas, gravas, bloques para usarlos como materiales de construcción.

Entre los recursos energéticos tenemos la energía eólica, mareomotriz, y yacimientos de carbón y petróleo (abundantes plataformas petrolíferas marinas).

La escasez de agua dulce hace que en muchos lugares se contemple el agua salada como **recurso hídrico** tras la desalación.

**Recurso recreativo:** destacar el importante turismo en las zonas costeras para baño, sol, surf, natación, submarinismo, pesca, navegación... (En España supone una fuente importantísima de ingresos que, en parte, compensan nuestra balanza comercial negativa).

**Recurso ecológico y educativo:** además del valor paisajístico del litoral, la variedad y singularidad de sus ecosistemas merece ser conservada y preservada. Para la divulgación de los valores ambientales de estas zonas hay centros de interpretación, itinerarios didácticos y aulas de naturaleza.

**Medio de comunicación y transporte:** el medio marino mueve gran cantidad de mercancías y pasajeros, pudiendo haber por ejemplo accidente de petroleros. La Unión Europea pretende impulsar el transporte marítimo de mercancías para descongestionar las carreteras, además se consume menos energía por unidad de masa transportada, gracias a la enorme cantidad de mercancías que pueden almacenar los buques.

## IMPACTOS DERIVADOS DE LA EXPLOTACION DE LOS RECURSOS COSTEROS

Debido a la gran cantidad de recursos que poseen, las zonas litorales soportan una alta densidad de población, por lo que sufren una serie de impactos ambientales. Destacamos la contaminación (incluida eutrofización), las bioinvasiones, la sobreexplotación, la intrusión salina y los impactos paisajísticos.

La contaminación de las zonas litorales se puede producir por varias causas como el vertido de residuos de las ciudades costeras, la desembocadura de ríos cuyas aguas han sido contaminadas en tramos anteriores, vertidos industriales o mineros de instalaciones próximas al litoral, vertidos de petróleo ya sea por accidentes o por el lavado de los barcos. La naturaleza de los contaminantes puede ser muy variada como materia orgánica, nitratos, fosfatos, hidrocarburos, metales pesados... En aguas tranquilas del litoral (albuferas, ensenadas...) se puede producir eutrofización (es un caso especial de contaminación) sobre todo por fosfatos y nitratos.

Las bioinvasiones se trata de la introducción de ejemplares de especies exóticas en ecosistemas diferentes de aquellos de los que son originarias, si se reproducen en importante cantidad ponen en peligro a numerosas especies autóctonas (las especies bioinvasoras no tienen en el sitio invadido depredadores que los conozcan y compiten con las especies autóctonas por el alimento). Las bioinvasiones se ven favorecidas por los transportes marítimos ya que los bioinvasores vienen pegados en la base del barco o en el agua que utiliza el barco de lastre (las bioinvasiones más importantes son las originadas por la limpieza de las aguas utilizadas como lastre por los barcos cuando circulan libres de carga). Entre las más conocidas y peligrosas tenemos el mejillón cebra (puede remontar ríos por ejemplo está en el Ebro y si se produjera el trasvase Ebro-Segura ocasionaría desastres en el regadío agrícola como mangueras taponadas) capaz de taponar los conductos de alcantarillado, tomas de agua... , el alga *Caulerpa* (muy abundante ahora en nuestras costas y en el Mar Menor) que con su rápido desarrollo hace desaparecer la flora autóctona que daba alimento y cobijo a organismos marinos y por último, algas unicelulares que dan lugar a las conocidas mareas rojas que producen toxinas que envenenan a muchos organismos.

La sobreexplotación es muy frecuente, sobre todo en la pesca, que ha hecho que, en algunas zonas, se haya tenido que establecer limitaciones y prohibir cierto tipo de capturas, en algunas zonas pesqueras se llevan a cabo paradas biológicas (prohibición temporal de captura) de unos dos meses de duración (coincidentes con la época de reproducción) con el fin de recuperar las poblaciones de peces.

La intrusión salina se refiere a la entrada de agua marina en los acuíferos cercanos a la costa, degradando la calidad de las aguas subterráneas, inutilizándola para su uso. Por ejemplo, en nuestra zona, la sobreexplotación de los acuíferos por la agricultura ha producido la intrusión salina y el agua de los pozos está salinizada y ya no es apta para el consumo.

Los impactos paisajísticos son muy frecuentes en las zonas litorales turísticas, a causa sobre todo de la construcción de hoteles y grandes bloques de apartamentos (la ley de costas actual ha llegado tarde, cuando el mal ya estaba hecho, las construcciones turísticas eligen, además, las zonas más bellas que al final desaparecen bajo el hormigón).