

BLOQUE 2: LA GEOSFERA

TEMA 2.2: LOS RECURSOS Y RIESGOS GEOLÓGICOS

1- RECURSOS MINERALES

2- RECURSOS ENERGÉTICOS

2.1 COMBUSTIBLES FÓSILES

2.2 ENERGÍA NUCLEAR

2.3 ENERGÍA GEOTÉRMICA

3- RIESGOS GEOLÓGICOS INTERNOS

3.1 TERREMOTOS

3.2 VOLCANES

3.3 TSUNAMIS

4- RIESGOS GEOLÓGICOS EXTERNOS

4.1 MOVIMIENTOS DE LADERA

4.2 HUNDIMIENTOS

4.3 SUELOS EXPANSIVOS



La mina Corta Atalaya en Riotinto (Huelva)

1- RECURSOS MINERALES

Muchos materiales que nuestra sociedad demanda proceden de minerales y rocas, lo que genéricamente se conoce como **recursos minerales**.

Un **yacimiento mineral** es una concentración de un mineral o elemento químico susceptible de ser extraíble y económicamente rentable. En él se distingue la parte aprovechable o **mena**, al que le acompaña la **ganga** (conjunto de minerales o rocas sin interés económico).

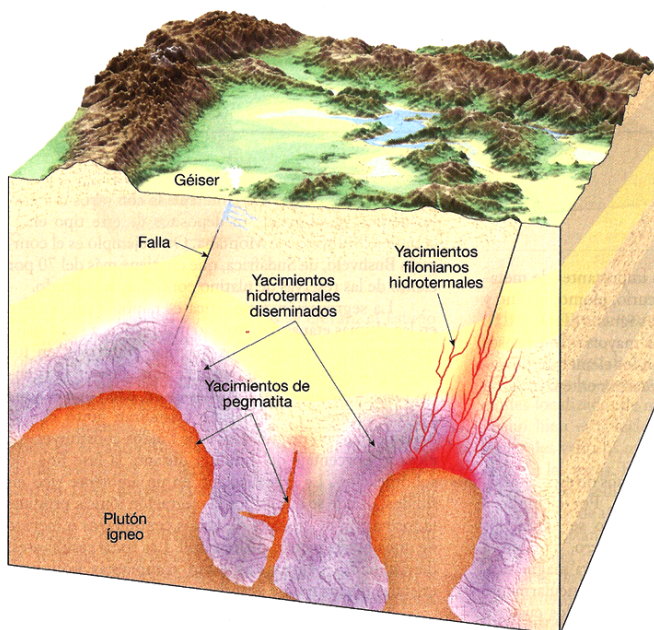
Las **reservas minerales** están constituidas por los yacimientos conocidos que sean tecnológicamente explotables y económicamente rentables.

1.1 ORIGEN DE LA CONCENTRACIÓN MINERAL

La mayor parte de los minerales de la corteza se encuentran asociados formando las rocas. Solamente bajo unas determinadas condiciones se pueden concentrar algunos de ellos y formar un yacimiento. Según el tipo de proceso geológico que los origina, se pueden subdividir en yacimientos sedimentarios o endógenos.

Los yacimientos endógenos tienen su origen en procesos internos. Se agrupan en dos tipos:

1. **Magmáticos.** En la consolidación de un magma, además de formarse las rocas ígneas, se pueden producir fenómenos de concentración mineral, mediante los procesos siguientes:



- Segregación magmática por gravedad durante el proceso de consolidación, formándose los depósitos **ortomagmáticos** (minerales metálicos de Fe y de Cr como magnetita y cromita).
- Procesos neumatolíticos, en los que el fluido magmático residual caliente asciende y cristaliza en grietas, formando **vetas** y **filones** (cuarzo, ortosa, wolframita y casiterita).
- Procesos hidrotermales, en que se produce la precipitación de minerales a partir de una disolución acuosa caliente (aguas termales). Pueden rellenar grietas (formando vetas y filones) u ocupar poros de las rocas encajantes (caso de la pirita, la blenda la plata y el oro).
- Precipitación de minerales metálicos (Cu, Fe, Pb, etc) a partir de gases emitidos por **fumarolas volcánicas** (especialmente las submarinas)

2. **Metamórficos:** aparecen nuevos minerales al variar las condiciones de presión y temperatura. En el **metasomatismo**, los fluidos a alta temperatura inducen cambios químicos en los minerales de las rocas encajantes, generando nuevos minerales también.

Los yacimientos sedimentarios son generados por procesos externos como:

1. La meteorización, especialmente de tipo químico como la oxidación (origen de muchos minerales de arcilla).
2. El lavado edáfico lleva los materiales solubles al subsuelo, mientras que en el suelo se acumulan los no solubles (bauxita y laterita).
3. El transporte de materiales (especialmente en arenas fluviales), caso de minerales detríticos o **placeros**, minerales generalmente densos e inalterables (oro, diamantes).

4. Sedimentación por precipitación de materiales disueltos en el agua, formándose minerales evaporíticos (yeso, halita, silvina) o de precipitación química.
5. Precipitación secundaria en filones metálicos que afloran en la superficie: los cationes metálicos se infiltran y vuelven a precipitar en zonas más profundas, dando yacimientos metálicos de cobre, plomo, cinc, oro y plata.
6. La acumulación de restos orgánicos: caso de carbonatos (conchas) y fosfatos (huesos y guano).

1.2 TIPOS DE RECURSOS MINERALES

1. **Minerales metálicos**: de ellos se obtienen los metales de mayor interés (Fe, Pb, Zn, Al, Cu, Ag, Sn, Hg).

Mineral (mena)	Grupo mineral	Metal que se obtiene	Uso
Calcopirita	Sulfuros	Cobre	Cables eléctricos, tuberías, calderas y monedas. Obtención de aleaciones como el latón (con Zn) y el bronce (con Sn).
Cuprita	Óxidos	Cobre	
Cinabrio	Sulfuros	Mercurio	Industrias papeleras, amalgamas y plásticos.
Galena	Sulfuros	Plomo	Fabricación de tuberías, vidrieras, baterías y protección contra radiaciones.
Blenda	Sulfuros	Cinc	Techos y puertas exteriores. Obtención de latón (Cu) y galvanizado del hierro o acero (para evitar la corrosión por oxidación).
Oligisto	Óxidos	Hierro	Material ferroviario y barcos. Toda clase de maquinaria y herramientas. Obtención de acero (aleación con C) para las estructuras de edificios.
Magnetita	Óxidos	Hierro	
Hematites	Óxidos	Hierro	
Casiterita	Óxidos	Estaño	Soldaduras, fuselaje de aviones. Obtención de bronce (con el Cu) y hojalata (con el Fe).
Cromita	Óxidos	Cromo	Fabricación de acero inoxidable . Fabricación de ladrillos refractarios y pinturas.
Bauxita	Hidróxidos	Aluminio	Construcción de edificios, carpintería metálica (puertas y ventanas), fabricación de vehículos (aviones y automóviles) y botes de bebida.
Ilmenita	Óxidos	Titanio	Fabricación de aviones, pinturas y prótesis óseas.
Oro	Minerales nativos	Oro	Joyería.
Plata	Minerales nativos	Plata	Joyería y emulsiones fotográficas.

2. **Minerales no metálicos**:

- Obtención de fertilizantes: **apatito** (fosfatos), **silvina** y **carnalita** (potasio)
- Obtención de sal (para alimentación y conservación): **halita**.
- Obtención de azufre (para fabricar ácido sulfúrico, pólvora, fertilizantes, pesticidas o perfumes): **pirita**.
- Obtención de sílice (para chips, circuitos electrónicos, siliconas o paneles fotovoltaicos): silicatos como **micas** o **cuarzo**.

- Para la industria del papel y de los plásticos: silicatos como el **caolín** (también en la fabricación de cerámicas) y el **talco** (también se utiliza en cosmética y en farmacia como excipiente).
- El grafito tiene numerosos usos: minas de lápices, fabricación de electrodos, moderador en reactores nucleares y materia prima de una nueva sustancia: el grafeno.
- Obtención de gemas para joyería como, por ejemplo:

<i>Preciosas</i>			<i>Semipreciosas</i>		
Gema	Grupo mineral	Color	Gema	Grupo mineral	Color
Esmeralda	Silicatos	Verde	Topacio	Silicatos	Amarillo
Diamante	Minerales nativos	Incoloro	Granates	Silicatos	Rojo
Rubí	Óxidos	Rojo	Turmalina	Silicatos	Negro
Zafiro	Óxidos	Azul	Amatista	Silicatos	Morado

3. Rocas industriales o de cantera: requeridos en grandes cantidades.

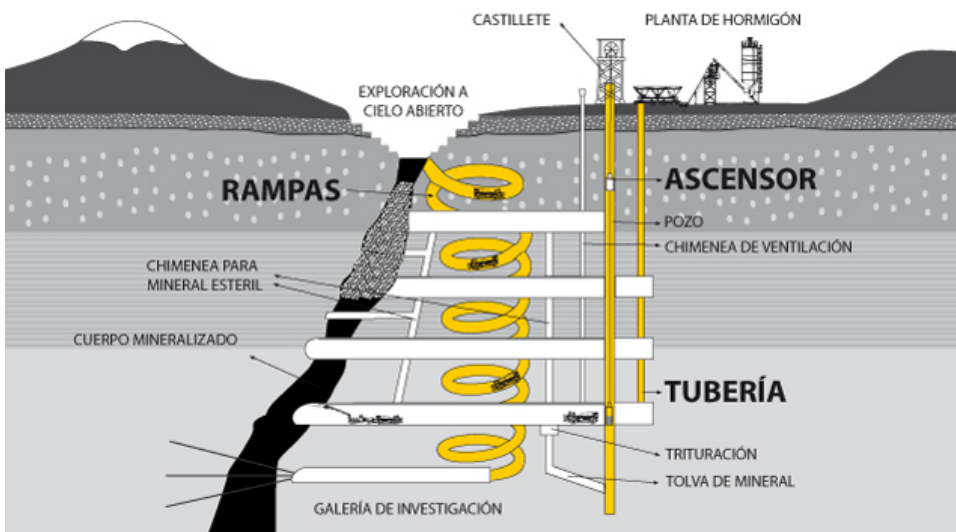
- Para la construcción: áridos (gravas y arena), rocas ornamentales (mármol, granito, caliza de sillería) y cemento (calizas y margas). También asbesto (amianto) hasta su prohibición.
- Para la cerámica: arcillas.
- Para la fabricación de vidrio: arenas de cuarzo y cuarcitas.
- Materiales refractarios para la siderurgia: rocas carbonatadas (caliza y dolomía), cuarcita y arcillas.

Roca	Tipo	Uso
Granitos	Magmáticas plutónicas	Construcción (bloques de sillería o mampostería) y ornamental (recubrimientos de fachadas, pavimentos, baños y cocinas).
Basaltos	Magmáticas volcánicas	Construcción (bloques de sillería o mampostería) y ornamental (recubrimientos de fachadas y pavimentos).
Calizas	Sedimentarias precipitadas	Construcción (bloques de sillería o mampostería) y ornamental (recubrimientos de fachadas y pavimentos). Junto con arena y sosa, para fabricar vidrio . Mezclado con arcillas, cocida y triturada, para obtener cementos . El cemento con arena genera mortero (argamasa) y con grava hormigón (construcción).
Areniscas	Sedimentarias detríticas	Construcción (bloques de sillería o mampostería).
Yeso	Sedimentarias detríticas	Construcción (como argamasa para revocar).
Gravas	Sedimentos	Obtención de hormigón con el cemento.
Arenas	Sedimentos	Junto con cal y sosa, para fabricar vidrio . Con cemento se fabrica el mortero .
Arcillas	Sedimentarias detríticas	Obtención de piezas para la construcción de edificios: ladrillos (de adobe con paja o cocidos con arena fina), tejas y baldosas (rústicas o vidriados). Fabricación de cerámica (moldeada y cocida). Mezclado con calizas, cocida y triturada, para obtener cementos .

Roca	Tipo	Uso
Carbón	Sedimentarias orgánicas	Obtención de energía eléctrica y térmica por combustión.
Petróleo	Sedimentarias orgánicas	Obtención de combustibles para el transporte y la calefacción. Obtención de asfaltos, betunes y plásticos .
Pizarras	Metamórficas	Construcción (tejas).
Mármol	Metamórficas	Construcción (bloques de sillería) y ornamental (recubrimientos de fachadas, baños y cocinas).
Gneis	Metamórficas	Construcción (bloques de sillería o mampostería).

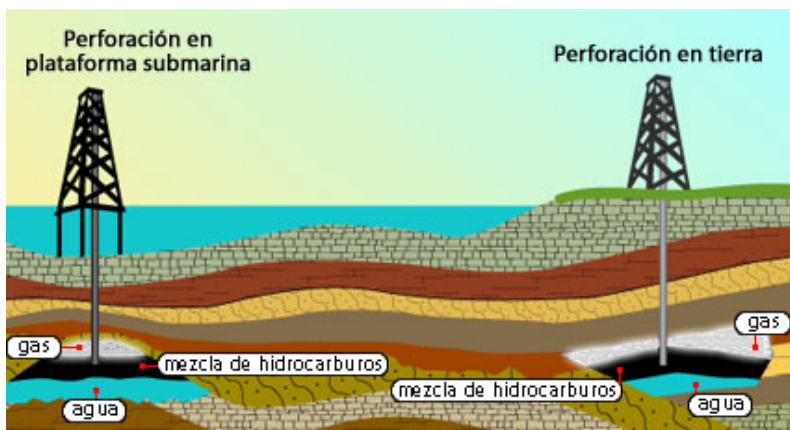
1.3 LAS EXPLOTACIONES MINERAS

1. Las **minas** son excavaciones que pueden ser subterráneas o a cielo abierto.

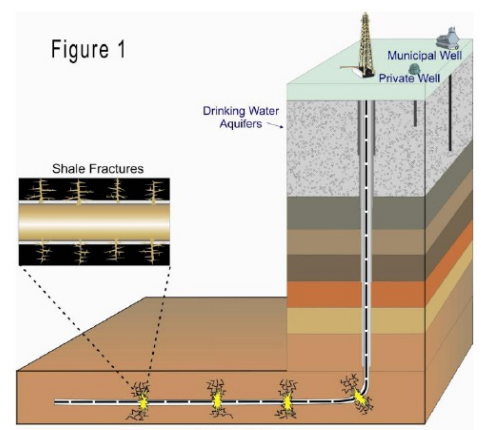


- Las **minas subterráneas** se realizan en filones profundos y puros mediante un sistema de pozos y galerías. Poco impacto paisajístico pero alto coste económico.
- Las **minas a cielo abierto** y las **canteras** se realizan en filones superficiales. Se moviliza una gran cantidad de material, por lo que su impacto paisajístico es muy elevado.

2. Los **dragados** son extracciones de sedimentos de fondos marinos someros, ríos o lagos mediante **dragas** que excavan y succionan estos materiales. De este modo se obtienen sustancias de interés como áridos, diamantes y oro.
3. Las **perforaciones** convencionales consisten en la apertura de pozos para la obtención de materiales sólidos (carbón o bauxita), líquidos (crudo de petróleo o agua) y gaseosos (gas natural). Estos materiales ascienden por presión o por bombeo.
4. La **fracturación hidráulica (fracking)** consiste en la obtención de petróleo o gas natural atrapados en los poros de la roca mediante la rotura de la misma al inyectar agua a presión (con aditivos químicos). Técnica muy controvertida por su alto coste económico y ambiental (contaminación de acuíferos, emisión de gases y riesgo de sismos).



Perforación convencional



Fracking

1.4 LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA MINERÍA

En las minas subterráneas:

- Subsidiencias, hundimientos y deslizamientos.
- Elevados riesgos laborales: accidentes, enfermedades respiratorias, etc.
- Contaminación de aguas superficiales por lavado del mineral o vertidos.
- Contaminación de aguas subterráneas a partir de depósitos de residuos.

En las minas a cielo abierto y canteras:

- Impacto paisajístico importante, por la formación de grandes orificios y de escombreras.
- Pérdida directa de suelo y consecuente eliminación de fauna y flora.
- Contaminación acústica por ruidos (por la maquinaria y las detonaciones).
- Contaminación del aire por el polvo (especialmente en canteras) y los gases generados por la combustión en la maquinaria.
- Contaminación de aguas superficiales por lavado del mineral o vertidos.
- Contaminación de aguas subterráneas a partir de depósitos de residuos.

Medidas correctoras:

1. **Construcción de barreras** con arbolado entre explotación y entorno (espacios naturales o poblaciones), para mitigar el impacto visual y el acústico.
2. **Relleno** progresivo de huecos y orificios con los escombros generados conforme avanza la explotación.
3. Empleo de **maquinaria menos contaminante**, con menor emisión de gases y de ruidos.
4. Construcción de **balsas de decantación** de lodos (por gravedad o mediante el uso de agentes flocculantes).
5. **Sellado de la explotación** al cerrar ésta, especialmente si es a cielo abierto: se rellenan todos los orificios generados, se reducen pendientes para evitar la erosión, se extiende el suelo original (extraído y almacenado al iniciar las obras) y se repuebla con especies vegetales autóctonas.

Soluciones a la agotabilidad de los recursos minerales:

- Búsqueda de nuevos yacimientos (por ej. en fondos abisales).
- Ahorro de recursos escasos.
- Reciclado (sobre todo, en metales).
- Sustitución por otros materiales alternativos (plásticos, polímeros, fibras de carbono, cerámicas).

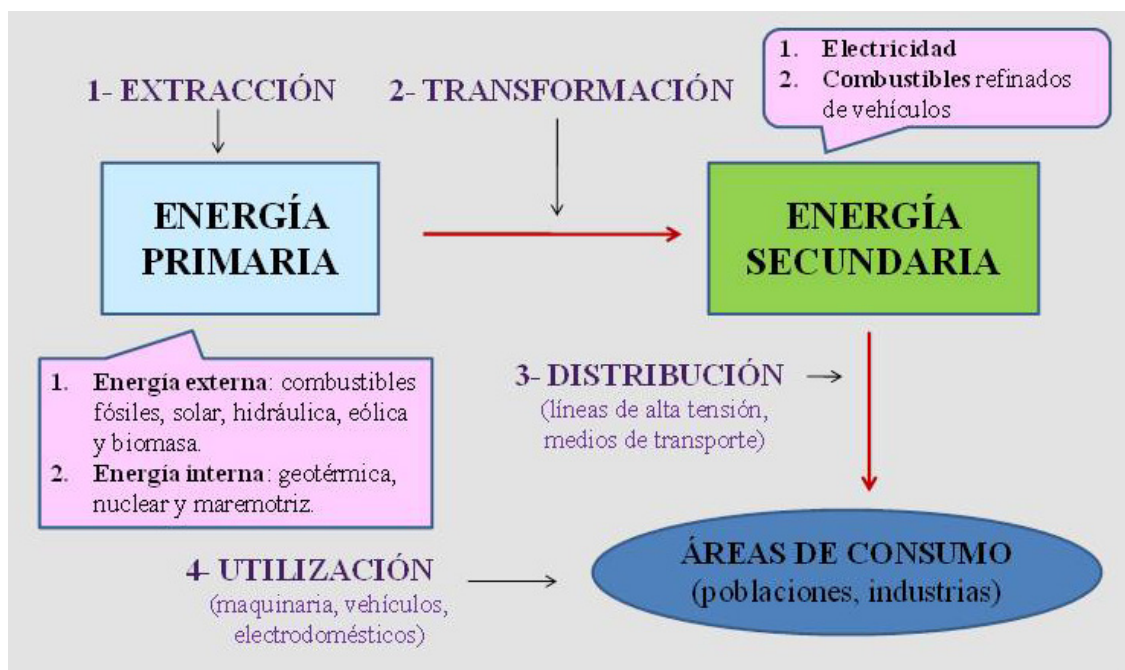
Plásticos más utilizados:

- PVC (policloruro de vinilo): cañerías y desagües.
- PE (polietileno blanco) y PET (polietilentereftalato azul): botellas y botes de envase.
- PS (poliestireno expandido): corcho blanco de embalar.

2- RECURSOS ENERGÉTICOS

Las sociedades humanas necesitan **energía** para realizar sus actividades, en una cantidad directamente proporcional a su grado de desarrollo. Las fuentes primarias de energía se encuentran en el medio natural y, una vez extraídas mediante un proceso de transformación se convierten en energía secundaria que es distribuida y utilizada.

Etapas en el uso de la energía: extracción, transformación, distribución y utilización.



Los **recursos energéticos** se clasifican por su origen (externas o internas), por su renovabilidad (renovable y no renovable) y por su uso histórico (convencionales y alternativas).

2.1 COMBUSTIBLES FÓSILES

Se denominan así a aquellos recursos geológicos de los que se obtiene la energía mediante la reacción de combustión (un tipo de oxidación) y además proceden de restos de organismos que vivieron hace millones de años y que han sufrido un proceso geológico de mineralización. En este grupo se incluyen el carbón, el petróleo y el gas natural.

El carbón:

Es una roca sedimentaria orgánica blanda de color oscuro. En orden creciente a su transformación y a la cantidad de carbono (y poder calorífico) se definen cuatro tipos: **turba**, **lignito**, **hulla** y **antracita**. El origen del carbón se puede resumir en las siguientes etapas:

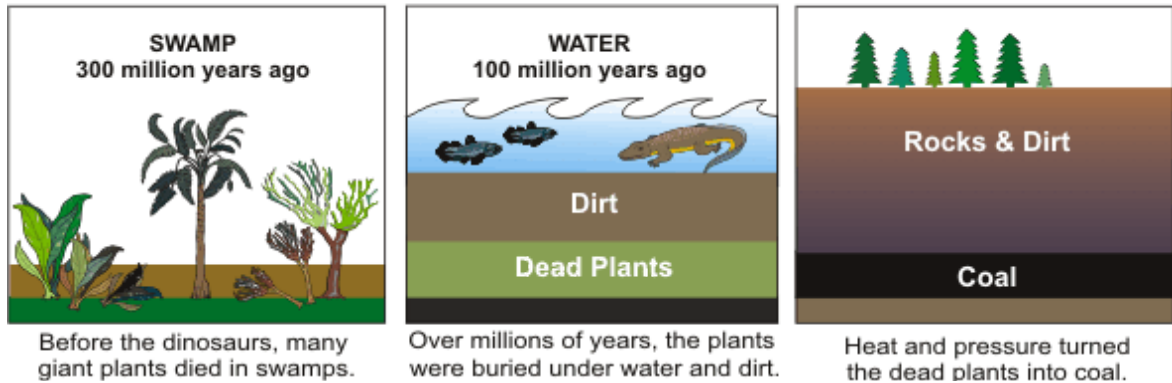
1. **Acumulación** de restos vegetales en un ambiente palustre (pantanosos), pobre en oxígeno.
2. **Transformación** de la materia orgánica por acción de bacterias anaerobias, en un proceso de descomposición parcial de la celulosa de las hojas y de la lignina de la madera:



Conforme escapan los gases, aumenta de forma gradual el porcentaje de carbono. Primero se forma una capa de **turba** (45 a 60 % de C) y, si hay un enterramiento somero, se transforma en **lignito** (60 a 70 % de C).

3. El **enterramiento** gradual y la consecuente subsidencia, hace que aumente la presión y la temperatura. Por tanto, el carbón pierde agua y más gases, aumentando el contenido en carbono y transformándose en hulla (75 a 90 % de C).
4. El **metamorfismo** producido por un aumento de la presión y temperatura (asociado a la orogénesis) transforma la hulla en antracita (90 a 95 % de C).
5. **Afloramiento** de las rocas (de cualquiera de los tipos) a causa de fenómenos tectónicos.

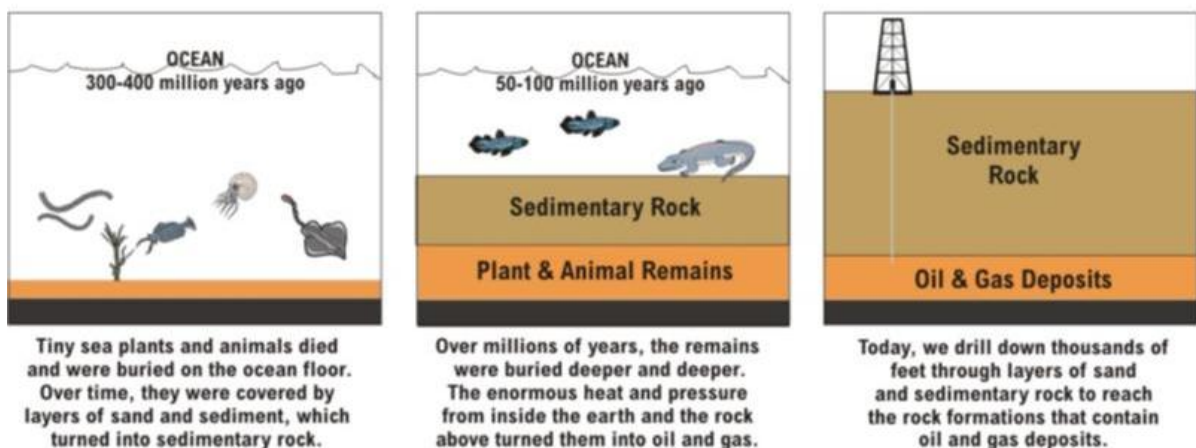
HOW COAL WAS FORMED



El petróleo:

Es un líquido espeso, viscoso y de color negro verdoso. Consta de una mezcla de hidrocarburos sólidos (asfaltos y betunes), líquidos (petróleo crudo) y gaseosos (gas natural). Se origina a partir de restos de organismos marinos que se acumulan en el fondo de los océanos, de acuerdo con el siguiente proceso:

1. **Acumulación** de materia orgánica (restos de organismos marinos planctónicos) en condiciones anaerobias (fondos marinos profundos).
2. **Fermentación anaerobia** producida por microorganismos, que transforman la materia orgánica en hidrocarburos para formar los **barros sapropélicos**.
3. **Diagénesis** por un incremento de presión y temperatura, lo que induce la maduración del petróleo. Éste ocupa los poros de la **roca madre**.
4. **Migración** del petróleo de la roca madre hacia capas superiores a través de rocas porosas o fracturas, al ser comprimidas por peso o fuerzas tangenciales.
5. **Acumulación** al encontrar una capa impermeable (la **trampa petrolífera**). La **roca almacén** es la que contiene el petróleo.



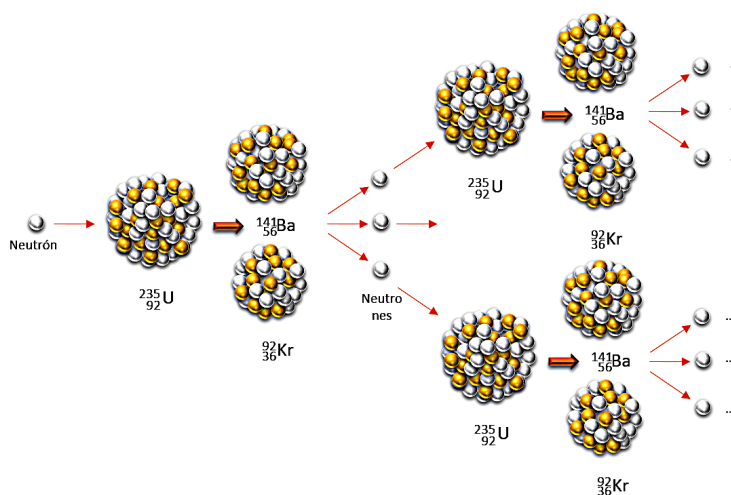
El gas natural:

Es una mezcla de hidrocarburos en estado gaseoso (metano, etano, propano y butano). El proceso de formación es el mismo que el del petróleo, pero con unas condiciones mayores de presión y temperatura que han hecho que la materia orgánica se transforme completamente en hidrocarburos gaseosos.

2.2 ENERGÍA NUCLEAR

La energía nuclear procede de la reacción entre núcleos atómicos en las que una parte de la masa se convierte en energía. Existen dos tipos:

- 1 **Fisión nuclear:** consiste en la división de un núcleo de gran tamaño (generalmente ^{235}U) en otros más pequeños mediante un bombardeo con neutrones. Se produce una **reacción en cadena** pues se liberan más neutrones que a su vez rompen más núcleos. En las centrales nucleares se controla esta reacción en cadena y el calor generado calienta el vapor de agua que mueve las turbinas conectadas al generador de energía eléctrica.



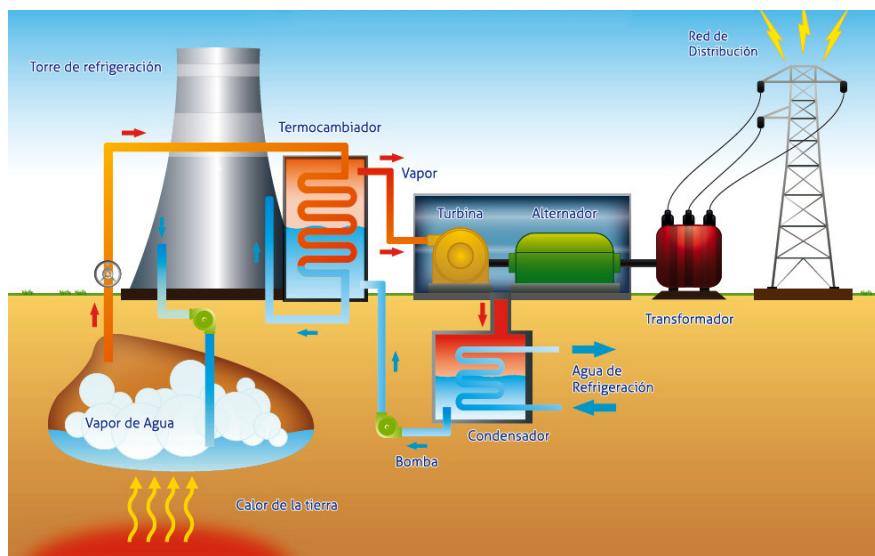
Una vez producida la extracción del uranio del mineral **uraninita**, se ha de obtener una concentración suficiente de ^{235}U mediante un procedimiento de enriquecimiento (de un 0,7 a un 5 % del isótopo). A continuación, se introduce en barras de combustibles para su colocación en el reactor de la central nuclear.

- 2 **Fusión nuclear:** es la unión de núcleos poco pesados (generalmente ^2H y ^3H) para formar otros de mayor tamaño y estabilidad (de He), con pérdida de masa y liberación de energía. Como todavía no se ha podido controlar la reacción en cadena (y también por otros problemas tecnológicos como el confinamiento de un plasma a tan elevada temperatura), las centrales nucleares de fusión aún están sin desarrollar.

2.3 LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica tiene su origen en el calor interno terrestre. En determinados puntos de la superficie terrestre de elevado flujo geotérmico, el calor que disipa se puede utilizar para:

- Calentar agua para calefacción, agua caliente sanitaria o uso terapéutico en balnearios.
- Producir vapor para generar energía eléctrica en las **centrales geotérmicas**.



RECURSOS ENERGÉTICOS DE LA GEOSFERA

Fuente de energía	Extracción y transporte	Usos	Ventajas	Inconvenientes
CARBÓN	Minas subterráneas o a cielo abierto. Transporte por tierra (ferrocarril y camiones) o por mar (buques).	Obtención de energía eléctrica en las centrales térmicas . El calor generado por la combustión en la caldera convierte el agua en vapor a presión, que mueve las turbinas conectadas al generador. La destilación de la hulla produce hidrocarburos, amoniaco, brea, gas ciudad y carbón de coque para la metalurgia.	<ul style="list-style-type: none"> - Viabilidad técnica del aprovechamiento del carbón para la producción de energía eléctrica en centrales térmicas. - Aprovechamiento óptimo en regiones con yacimientos de carbón. 	<ul style="list-style-type: none"> - Altos costes de la explotación tanto subterránea como a cielo abierto. - Costes de transporte elevados, por el elevado peso y volumen. - Gran cantidad de residuos sólidos (cenizas) que produce. - Gran cantidad de contaminantes gaseosos que produce: SO₂ y NO_x (lluvia ácida) y CO₂ (efecto invernadero).
PETRÓLEO	Crudo que sale a presión en las primeras fases de explotación o se bombea ya en fases más avanzadas. Transporte por el mar en buques petroleros y por tierra firme en oleoductos .	Obtención de combustibles para el transporte tras un proceso de refinado : queroseno (transporte aéreo), gasolina y gasoil (transporte terrestre) y fuel (transporte marino). Materia prima para producir los plásticos.	<ul style="list-style-type: none"> - Gran poder calorífico. - Gran cantidad de productos derivados, que pueden utilizarse como combustibles. - Facilidad de extracción. - Gran variedad de aplicaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dependencia de los países productores y de la situación política de éstos. - Emisión de gases en la combustión, especialmente CO₂, que contribuye al efecto invernadero. - Reservas limitadas. - Riesgo de vertidos de crudo al mar, durante el transporte en petroleros.
GAS NATURAL	Gas que sale a presión. Transporte marítimo en buques cisterna y terrestre en gasoductos .	Obtención de energía eléctrica en las centrales térmicas de ciclo combinado (con dos turbinas: una para el propio gas y otra para el vapor de agua). Obtención de agua caliente para calefacciones domésticas.	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado poder calorífico. - Combustión limpia (menos CO₂) y sin residuos. - Fácil extracción y sin necesidad de refinado. 	<ul style="list-style-type: none"> - La dificultad en el transporte encarece la obtención de energía. - Yacimientos dispersos, con suministro que puede generar conflictos. - Emisión de gases que generan el efecto invernadero.
URANIO	Minas subterráneas o a cielo abierto de uraninita (óxido de uranio), del cual se obtiene el uranio.	Obtención de energía eléctrica en las centrales nucleares. En un reactor nuclear se produce la fisión del uranio enriquecido, se genera calor, el agua se convierte en vapor que mueve las turbinas del generador.	<ul style="list-style-type: none"> - No hay emisiones de gases. - Alternativa en países escasos en combustibles fósiles. - Alta producción de energía, lo que abarata sus costes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Residuos altamente contaminantes y de larga duración. Impactos muy graves en caso de fugas. - Tecnología cara y compleja. - Contaminación térmica a causa del vertido del agua de refrigeración.
GEO-TÉRMICA	Calentamiento de agua en el subsuelo	Obtención de agua caliente y/o energía eléctrica a través del vapor, de un modo similar a las centrales térmicas.	<ul style="list-style-type: none"> - Fuente de energía autóctona que evita la dependencia externa. - Residuos mínimos. - Bajos costes (alta rentabilidad). 	<ul style="list-style-type: none"> - Emisión de gases disueltos (SH₂ y CO₂). - Contaminación térmica. - Energía local y no transportable. - Alta inversión inicial.

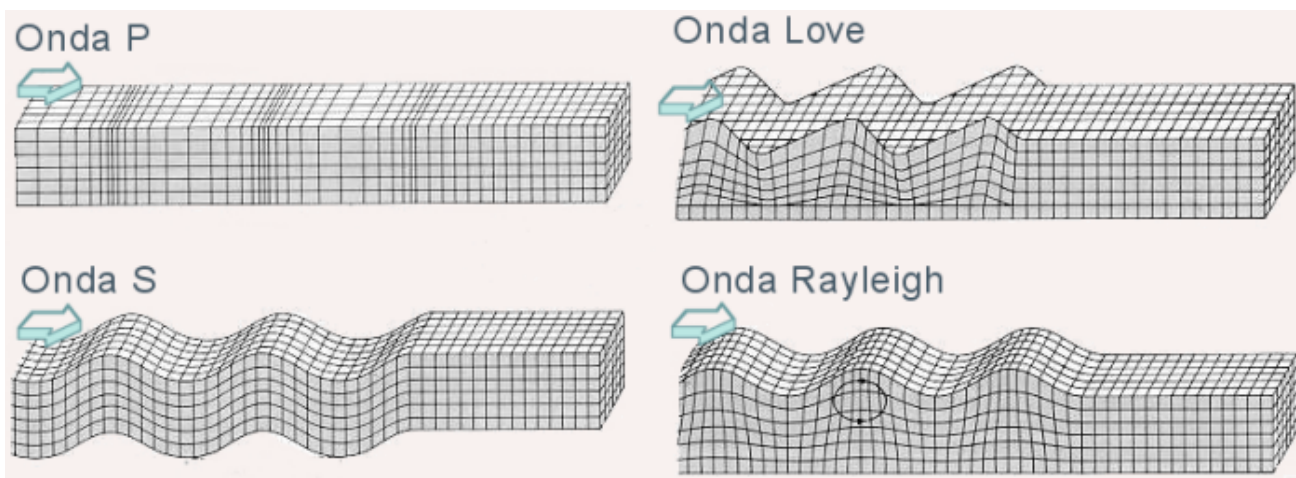
3- RIESGOS GEOLÓGICOS INTERNOS

3.1 LOS TERREMOTOS

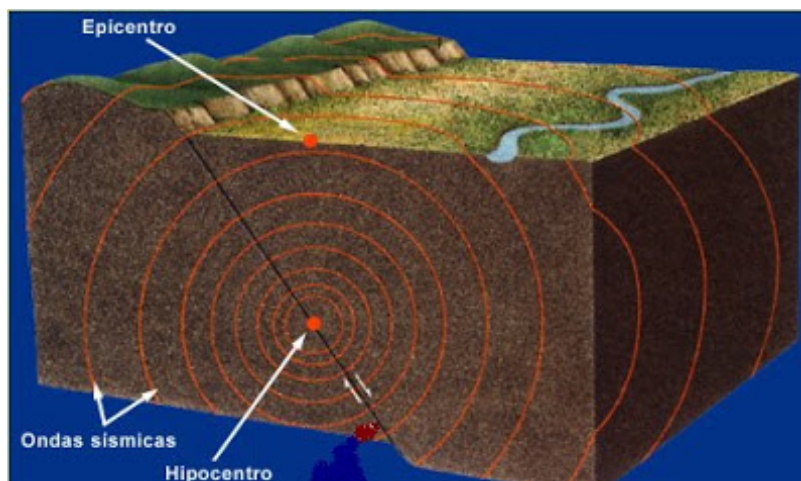
Ante los esfuerzos tectónicos (de compresión, tracción y cizalla), las rocas pueden sufrir, en función de sus características mecánicas, deformaciones elásticas (la roca vuelve a su forma original tras el esfuerzo), plásticas (la roca mantiene la deformación al cesar el esfuerzo) o frágiles (la roca se rompe al superar un determinado umbral de intensidad del esfuerzo).

Procesos tectónicos como ajustes de placas o movimiento de bloques de falla, procesos volcánicos, en el caso de las erupciones, o incluso acciones humanas (voladuras con dinamita en minas o construcciones) pueden deformar elásticamente las rocas y acumular energía potencial elástica en ellas. Esta energía se puede liberar bruscamente al producirse la rotura de esta roca y propagarse en forma de ondas sísmicas que, al llegar a la superficie, originan los movimientos violentos de la superficie terrestre que conocemos como **seísmos** o **terremotos**. Estas **ondas sísmicas** pueden ser:

1. **Profundas:** arrancan desde el lugar donde se produce la liberación de energía (el hipocentro) y son de dos tipos: las **ondas primarias (P)**, en los que se produce la compresión de los materiales, y las **ondas secundarias (S)**, cuya deformación es perpendicular a la propagación.
2. **Superficiales:** se transmiten desde el epicentro en forma circular por la superficie, por lo son los que generan los temblores y, por tanto, los daños. Existen dos tipos: longitudinales love (L) de movimiento horizontal y Rayleigh (R), más lentos y de trayectoria elíptica.



El foco de inicio es el **hipocentro** (localizado a distintas profundidades), del cual salen ondas P y S. Éstas llegan a la superficie terrestre en el **epicentro**, del que salen las ondas longitudinales, propagándose por toda la superficie y provocando los daños.



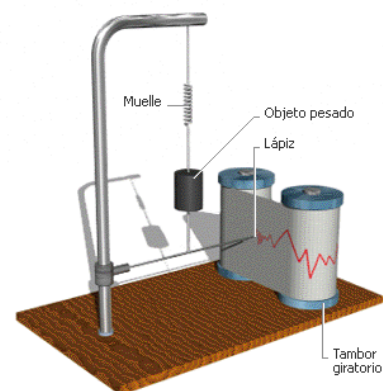
Distribución geográfica:

1. **Bordes divergentes:** producen terremotos de baja intensidad y con focos superficiales (de 20 a 50 Km.). **Dorsales oceánicas del Atlántico, Índico y Pacífico.**
2. **Bordes convergentes:** originan terremotos de mayor intensidad y focos de superficiales a muy profundos (hasta 700 Km.). **Cinturón de fuego del Pacífico y Cinturón mediterráneo - euroasiático** (que llega hasta Indonesia pasando por los Himalayas).
3. Lugares con **fallas activas** (incluyendo también fallas transformantes): Por ejemplo, *fallas de San Andrés y de Anatolia.*



En España, el territorio se divide en tres zonas sísmicas según su riesgo: bajo (debajo de la isosista VI), medio (entre VI y VIII) y alto (>VIII). Las zonas de mayor riesgo son Andalucía oriental, Murcia y Pirineos.

Escalas de medición: los movimientos sísmicos son registrados por los **sismógrafos**, aparatos basados en la inercia de un péndulo, que permanece inmóvil durante la sacudida y lleva un estilete que dibuja una gráfica denominada **sismograma**. Existen dos escalas que miden la fuerza de un terremoto:



1. La **escala de Richter** mide la magnitud, es decir, la cantidad de energía liberada por el seísmo. Su expresión es $\log E = 11,8 + 1,5M$; siendo M la magnitud y E la energía expresada en ergios. La escala es logarítmica y varía de 0 a 9,5 que corresponde con los máximos registrados (*Chile 1960 y Alaska 1964*). Un punto más de magnitud supone una liberación de energía 31,6 veces mayor.
2. La **Escala de Mercalli** (en Europa se utiliza una muy parecida: la **M.S.K**) mide en cambio la **intensidad**, que es función de los daños observables en las construcciones y la naturaleza. Establece 12 grados (de I a XII) y se trata de una medida subjetiva.

Riesgos derivados: el tiempo de duración de los terremotos es bastante corto, aunque de alta capacidad destructiva.

Directos:

- Destrucción o deterioro de edificios. El desplome de los edificios produce la mayoría de las víctimas.
- Rotura de vías de comunicación y construcciones públicas.
- Rotura de presas e inundación posterior.
- Modificaciones del terreno, lo que puede desviar ríos y acuíferos.

Indirectos:

- **Incendios**, a causa de la destrucción de conducciones de gas y tendidos eléctricos.
- **Epidemias** a causa de la putrefacción de organismos muertos.
- Situación precaria de la población (falta de vivienda, escasez de agua potable y alimentos).
- Movimientos de ladera. *El Salvador 2001*.
- **Tsunamis** en los maremotos (seísmos con epicentro en el mar). *Lisboa 1755*.
- Oscilación de aguas en pantanos o lagos.

Predicción: es difícil, debido a la falta de síntomas previos perceptibles, ya que los seísmos son liberaciones bruscas de energía elástica.

- **Estudio de fallas activas**, mediante el **seguimiento continuo** a través de una red de sismógrafos.
- Reconstrucción de la **historia sísmica** de la región mediante los registros de terremotos pasados (determinando la periodicidad de grandes seísmos) y huellas de anteriores temblores (por datación radiactiva). Con estos datos se elaboran **mapas de peligrosidad sísmica**, que dividen el territorio en zonas de distinta peligrosidad.
- Existen algunos **premonitorios o precursoros sísmicos**, que son acontecimientos que pueden indicar la inminencia de un terremoto: emisión de gas radón, comportamientos anómalos en animales, algunas desnivelaciones en el terreno, reducción de la resistencia eléctrica en las rocas, o registro de pequeños seísmos que preceden a los grandes.

Prevención: medidas que mitigan los efectos sísmicos:

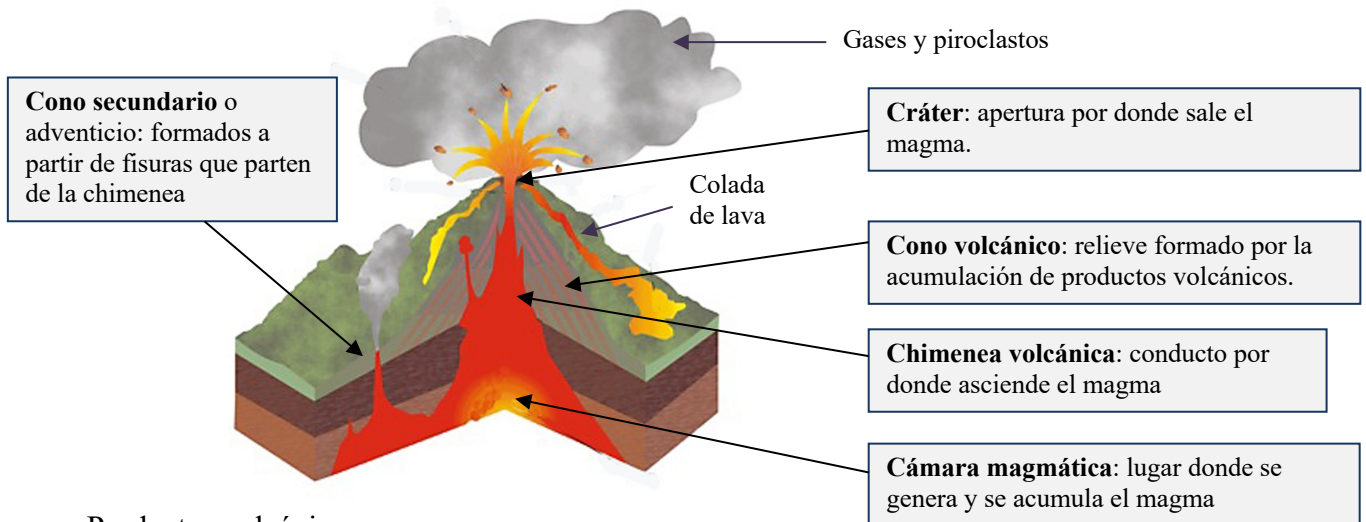
- Desarrollo de **estructuras resistentes** a los terremotos, además de la aplicación de la **normativa sismorresistente** para la construcción de edificios e infraestructuras.
- **Protección civil:** información y participación de la población en aspectos como evacuación, primeros auxilios, desescombro y educación.
- Restricción de construcciones en torno a fallas activas conocidas (**ordenación del territorio**).



3.2 LOS VOLCANES

Los volcanes tienen lugar cuando el magma asciende a la superficie debido a una acumulación de magma en la cámara magmática (lo que genera una sobrepresión).

Partes de un volcán:

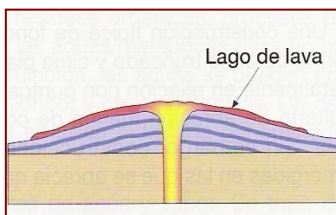


Productos volcánicos:

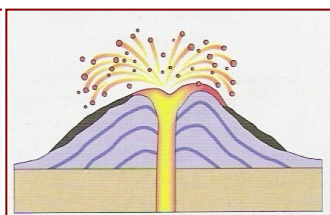
1. **Gases:** vapor de agua y óxidos de carbono, nitrógeno y azufre. También CH₄ y H₂S. Conforme asciende el magma por la chimenea (y disminuye la presión), los gases se separan en forma de burbujas y alcanzan primero la superficie.
2. **Lava:** porción líquida del magma (sin volátiles) que fluye constituyendo **coladas**. La fluidez es inversamente proporcional a la acidez (cantidad de sílice, SiO₂) del magma. Al consolidar generan: **lavas en bloque** (*aa* o *malpaíses*), **lavas cordadas** (*pahoehoe*) y **lavas almohadilladas** (*pillow lava*). Las coladas de basalto al consolidar producen una **disyunción columnar**, en que las diaclasas formadas por la retracción generan columnas hexagonales.
3. **Rocas piroclásticas:** materiales semifundidos lanzados por el volcán que solidifican en el aire. Por tamaño creciente pueden ser **cenizas** (< 2 mm), **lapilli** (2-64 mm) y **bombas** (> 64 mm.)

La erupción volcánica es aquel proceso en el que un volcán emite una gran cantidad de materiales. Un volcán se considera **activo** si ha entrado en erupción durante últimos 10.000 años. Por la salida de materiales, existen dos tipos generales de volcanes:

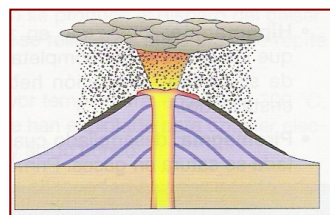
- **Fisurales:** la emisión de materiales volcánicos se produce a lo largo de fracturas lineales. Propios de zona de dorsal.
- **Puntuales:** emisiones en torno a un punto concreto. Las erupciones son más violentas cuanto más viscoso (o ácido) sea el magma y mayor contenido en gases tenga. Así se pueden definir varios estilos de erupciones:



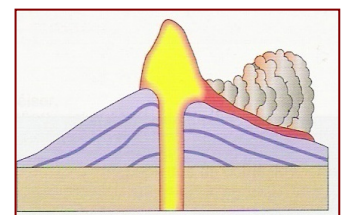
Hawaiano: lava básica fluida y coladas extensas. Son poco explosivas y, por tanto, poco violentas.



Estromboliano: lava menos fluida y explosiones esporádicas que proyectan piroclastos.

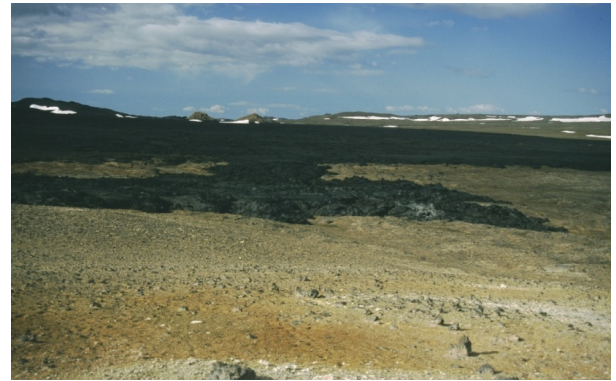


Vulcaniano: lava poco fluida que solidifica con rapidez y explosiones violentas que forman nubes piroclásticas.



Peleano: lava muy viscosa que solidifica y tapona el cráter. Los gases salen por los laterales de forma muy explosiva (**nubes ardientes**).

La acumulación de productos volcánicos (lava, piroclastos) puede originar diversas **estructuras volcánicas**:



1. **Estratovolcanes**: conos volcánicos de grandes dimensiones, formados por la alternancia de coladas de lava y capas de piroclastos
2. **Escudos volcánicos**: acumulación de lavas muy fluidas, originando conos de base muy ancha. Las **mesetas basálticas** se producen en volcanes fisurales.



3. **Conos de escorias**: de reducido tamaño y formado sólo por piroclastos.
4. **Chimeneas**: rellenos de la chimenea volcánica que han resistido la erosión del cono al ser más resistentes.



5. **Domos y pitones**: lavas muy viscosas que solidifican en el cráter o en el interior de la chimenea.
6. **Calderas volcánicas**: gigantescos cráteres, de varias decenas de km de diámetro, originados por hundimiento, explosión o erosión.

Distribución geográfica:

- **Bordes constructivos**: producen erupciones fisurales poco violentas con lavas fluidas basálticas (básicas, pobres en sílice). Son zonas de dorsales y rift continental, como *Islandia* y el *Rift africano*.

- **Bordes destructivos:** los magmas intermedios o ácidos (ricos en sílice) que se forman en las zonas de subducción producen erupciones puntuales, con lavas viscosas andesíticas. Sus erupciones son violentas, con gran liberación de gases y piroclastos, dado que se acumulan al liberarse con dificultad de las lavas viscosas. *Cinturón de fuego del Pacífico, Antillas.*
- **Puntos calientes:** presentes en islas volcánicas de placas oceánicas, en donde afloran magmas básicos fluidos. *Hawaii.*

En España, hay vulcanismo activo en las islas Canarias (con 17 erupciones históricas) e inactivo en el Ampurdán, Cabo de Gata, Campo de Calatrava e Islas Columbretes.

Escala de medición:

El **índice de explosividad volcánica** (I.E.V.) mide la peligrosidad potencial de los volcanes y varía de 0 a 8 (nueve grupos). Para confeccionarlo se tienen en cuenta parámetros como volumen total de productos emitidos, porcentaje de piroclastos respecto con el total del material emitido, la duración de la erupción, su frecuencia, la altura de la columna, etc. Un aumento de un grado en este índice supone una erupción diez veces más potente.

IEV	Descripción	Altura columna	Volumen	Tipo erupción	Frecuencia	Ejemplo
0	No explosivo	< 100 m.	$n \cdot 10^3 \text{ m}^3$	Hawaiano	Diaria	Kilauea
1	Poco explosivo	100 – 1.000 m.	$n \cdot 10^4 \text{ m}^3$	Haw./Stromboliano	Diaria	Stromboli
2	Explosivo	1 – 5 km.	$n \cdot 10^6 \text{ m}^3$	Strom./Vulcaniano	Semanal	Etna
3	Muy explosivo	3 – 15 km.	$n \cdot 10^7 \text{ m}^3$	Vulcaniano	Anual	N. del Ruiz, 1985
4	Catastrófico	10 – 25 km.	$n \cdot 10^8 \text{ m}^3$	Vulc./pliniano	Décadas	Mount Peleé, 1902
5	Paroxísmico	> 25 km.	$n \text{ km}^3$	Pliniano	Siglos	St Helens, 1981
6	Colosal	> 25 km.	$n \cdot 10 \text{ km}^3$	Pliniano	Siglos	Krakatoa, 1883
7	Supercolosal	> 25 km.	$n \cdot 100 \text{ km}^3$	Ultraplíniano	Milenios	Tambora, 1815
8	Megacolosal	> 25 km.	$n \cdot 1000 \text{ km}^3$	Ultraplíniano	Decamilenios	Yellowstone, 2 Ma

Riesgos asociados:

Cerca de los volcanes existen importantes asentamientos de población, a causa de la fertilidad de los suelos y la disponibilidad de los recursos hídricos. Al aumentar la exposición, hay que tener en cuenta los siguientes riesgos asociados a las erupciones:

Directos:

1. **Coladas de lava**, materiales líquidos, cuya fluidez es inversamente proporcional al contenido en sílice. Suponen pérdidas de tierras de cultivo y destrucción de infraestructuras. Mayores riesgos en lavas básicas. *Hawaii, Etna.*
2. **Lluvias piroclásticas:** el lapilli y las bombas volcánicas pueden suponer riesgo de impacto directo en zonas cercanas al volcán. Las cenizas llegan más lejos y suponen un mayor volumen. Éstas disminuyen la visibilidad (y el tráfico aéreo) y el rendimiento de las máquinas. Pueden llegar a sepultar poblaciones. *Islandia.*
3. **Emisión de gases tóxicos:** pueden producir asfixia y/o envenenamiento si no se dispersan por la atmósfera. *Pompeya, Lago Nyos (Camerún).*
4. **Explosiones:** a causa de la viscosidad y contenido en gases del magma. La onda expansiva destruye todo a su paso. *Saint Helens (EEUU).* Mención aparte merecen las **erupciones freáticas**, en que el agua del mar entra en la cámara magmática, lo que aumenta la presión interna y la cantidad de gases (y la violencia de la explosión).

5. **Nubes ardientes** o coladas piroclásticas, gases a altas temperaturas con fragmentos semisólidos de lava que circulan ladera abajo (por el peso de las cenizas) y arrasan todo a su paso. Son muy mortíferos. *Mount Peleé (Martinica)*.

Indirectos:

1. **Lahares** o flujos de lodo, que se producen en volcanes con nieves perpetuas. La erupción funde estas nieves, que arrastran las cenizas y se producen coladas de barro que descienden a gran velocidad (100 Km/h). *Nevalo del Ruiz*.
2. **Cambios climáticos** a nivel global, por la incorporación de las cenizas a la estratosfera. Estas cenizas interfieren en la insolación, por lo que descienden las temperaturas y la producción agrícola. *Pinatubo*.
3. **Incendios forestales**: aunque algunas especies como el pino canario son capaces de resistir estos efectos.
4. **Tsunamis**, en el caso de erupciones submarinas o colapso de calderas en islas volcánicas. *Krakatoa*.

Predicción: se realiza mediante una vigilancia del volcán, observando los **precursores volcánicos**, que son fenómenos geofísicos y geoquímicos que anuncian una erupción, como pueden ser:

- Deformaciones del terreno al ascender el magma. Se mide con clinómetros.
- Temblores causados por los movimientos del magma. Se mide con sismógrafos.
- Aumento de la temperatura del suelo, aire y agua. Se mide mediante termómetros.
- Análisis químicos del aire y del agua, para detectar así gases eruptivos.
- Cambios en la intensidad del campo magnético.
- Aparición de fumarolas y emisión de cenizas.

Prevención: medidas que reducen el riesgo (especialmente la vulnerabilidad) que se aplican antes de una erupción.

- La ordenación del territorio debe ubicar y delimitar los distintos asentamientos en lugares de no muy elevada peligrosidad, tomando como referencia los **mapas de riesgo volcánico** que se elaboran a través del estudio del historial eruptivo.
- Seguimiento continuo del volcán e información a las autoridades en caso de alarma.
- Plan adecuado de evacuación de la población.
- Construcciones resistentes (por ej. tejados resistentes a las cenizas incandescentes).

Corrección (se aplican durante la erupción): contra la lava se pueden utilizar medidas como canalización mediante diques, explosivos para desviarlos o enfriamiento con agua.

3.3 TSUNAMIS

Los **tsunamis** son series de olas procedentes del océano que son producidas como consecuencia de movimientos sísmicos (*Lisboa 1755, Indonesia 2004, Japón 2011*) o de manifestaciones volcánicas submarinas (*Krakatoa 1883*). Estos muros de agua pueden superar los 30 metros de altura y producen la destrucción e inundación de zonas costeras hasta varios kilómetros tierra adentro.

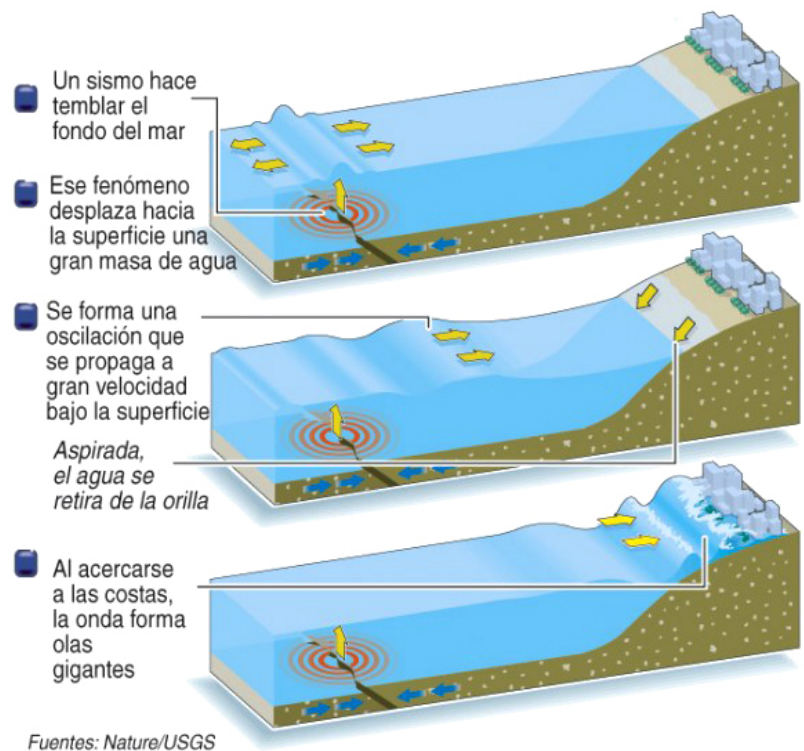
Si se produce un maremoto bajo un océano de varios kilómetros de profundidad, se removerá toda la columna de agua, desde el fondo hasta la superficie. Aunque el desplazamiento vertical sea de unos centímetros, la energía transmitida es enorme. Estas olas se propagan a gran velocidad (800 Km/h) y con una gran amplitud de onda, lo que hace que

apenas pierdan energía en su viaje hacia las costas y se reduzca el tiempo para alertar y evacuar a la población.

Al entrar en las aguas menos profundas de la costa, las olas se ralentizan (50 km/h) y su longitud de onda disminuye, a la vez que aumentan su altura bruscamente. Importante es considerar que previamente (5 min.) a la llegada de un tsunami, se produce por succión la retracción del agua en las costas, lo cual es un aviso cuyo reconocimiento puede salvar vidas.

La mejor defensa contra un tsunami es la alerta temprana que permite la evacuación de la población a un terreno más elevado o más alejado de la costa. El Sistema de Alerta de Tsunamis en el Pacífico, una coalición de 26 naciones con sede en Hawái, mantiene un equipo sísmico web

y medidores del nivel del agua para identificar tsunamis en el mar. Se han propuesto sistemas similares para proteger las áreas costeras en todo el mundo



4- RIESGOS GEOLÓGICOS EXTERNOS

Son causados por agentes meteorológicos o por movimientos generados por agentes geológicos externos. Por otra parte, también pueden ser consecuencia de procesos geológicos internos (como *desprendimientos generados por terremotos*) o pueden ser inducidos por el hombre.

4.1 MOVIMIENTOS DE LADERA

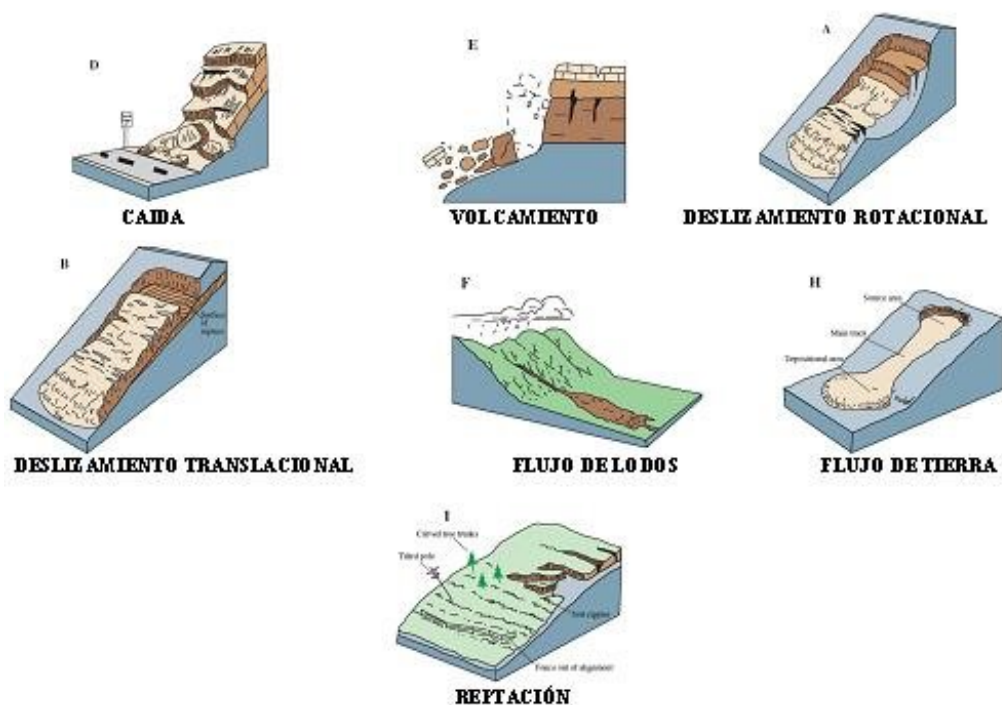
Estos movimientos son consecuencia de actuaciones de la gravedad sobre materiales de la superficie, producidos cuando el esfuerzo de cizalla que soporta el material es superior a la sujeción del mismo a la ladera. Dependen de los siguientes factores:

- Relieve: los movimientos se inician cuando la inclinación supera un ángulo de reposo.
- Grado de cohesión de los materiales (litología) y la estructura geológica de los mismos (fallas, fracturas, planos de estratificación).
- Factores climáticos como cambios de temperatura y precipitaciones.
- Intervención humana si se aumenta la carga sobre los materiales o se excavan las laderas, lo que se incrementa las pendientes (explosiones, escombreras). También puede aumentar el riesgo por deforestación o por acumulación de escombros o residuos inestables en lugares poco adecuados.

Los movimientos de ladera tienen gran importancia en España debido al relieve accidentado, las precipitaciones o abundantes (Cantábrico) o irregulares (Mediterráneo) y la variedad litológica.

Tipos de movimientos de ladera:

1. **Deslizamientos:** movimientos relativamente rápidos de masas de roca o suelo a favor de una o varias superficies de rotura. Según esta última se distinguen dos tipos:
 - Traslacional: superficie de rotura plano.
 - Rotacional: superficie de rotura curva.
2. **Desprendimientos:** caída de bloques rocosos por un talud, a causa de la fracturación por socavación erosiva de la base o apertura de grietas por crioclastia. *Taludes de carreteras.*
3. **Avalanchas:** movimientos muy rápidos de grandes masas de tierra o fragmentos de rocas, mezclados con agua, hielo o restos de árboles. *Biescas 1996.* Si la avalancha es de nieve, se denominan **aludes**, riesgo propio de zonas montañosas y de gran capacidad destructiva. Se producen en invierno (nieve polvo no asentada) y en primavera (nieve húmeda, en que el agua favorece el deslizamiento).
4. **Flujos:** movimiento de materiales sueltos empapados en agua, que tienen un comportamiento fluido. *Coladas de barro y lahares.*
5. **Reptación o creep:** movimiento muy lento de grandes extensiones de suelos, a causa de cambios de temperatura, humedad o ciclos hielo / deshielo (solifluxión).



Predicción:

- Detección de áreas susceptibles de movimiento y elaboración del correspondiente mapa de riesgo. Para ello se analizan factores como pendiente, litología y clima, y se constata la existencia de grietas.

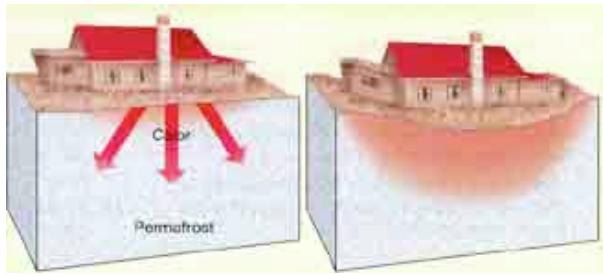
Prevención:

- Evitar construcciones y asentamientos humanos en lugares de riesgo, o buscar alternativas (por ejemplo, túneles en las carreteras). Prudencia con los aludes.
- **Estabilizar la ladera** mediante drenajes (para evita la acción del agua), fijación del terreno (muros de contención, anclajes y mallas) o modificación del talud (disminución de la pendiente o eliminación del peso en la cabecera). Provocar aludes con explosivos.

- **Señalización** de los riesgos en carreteras (desprendimientos, aludes) y otras zonas susceptibles.
- **Evitar las causas** que puedan desencadenar estos procesos: deforestación, sobrecargas en la carretera o sobreexcavación en las bases.

4.2 HUNDIMIENTOS

Se producen en rocas solubles como calizas, sales y yesos. Según la velocidad del hundimiento pueden ser:



1. **Subsidencias:** hundimientos lentos de terrenos con materiales blandos (sales, yesos, arcillas y sedimentos). No suele tener efectos catastróficos debido a su baja velocidad, pero puede causar la destrucción inexorable de construcciones e infraestructuras, si no se remedia a tiempo (remedios que suponen costes económicos). *Venecia y México.*

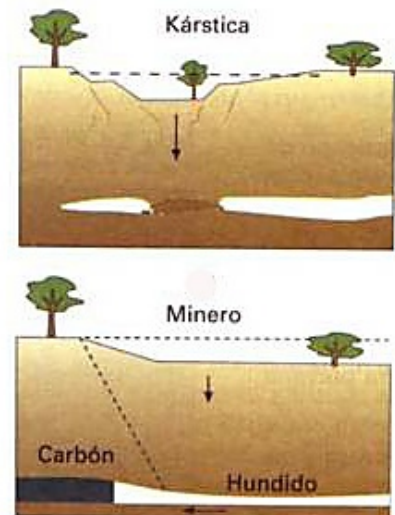
2. **Colapsos:** hundimientos bruscos y catastróficos de terrenos calizos y yesíferos, que crean simas y dolinas. Pueden afectar a grandes extensiones y tener efectos catastróficos. *Alrededores de Zaragoza (yesos).*

Predicción:

- Investigación de las características litológicas y estructurales de la región.

Prevención:

- **Ordenación del territorio:** evitar zonas arriesgadas o construcciones adecuadas.
- Evitar la **inducción** de los hundimientos por extracción de mineral (riesgo de colapso) o de hidrocarburos y aguas subterráneas (riesgo de subsidencia).



4.3 SUELOS EXPANSIVOS

Se trata de suelos con alta cantidad de materiales arcillosos. Estas arcillas, al absorber el agua, aumentan su volumen (el agua se interpone entre las láminas de arcilla y ésta se expande), lo que genera deformaciones, deslizamientos, apertura de grietas, rotura de conducciones y daños a construcciones y vías de comunicación. Son especialmente peligrosos en climas de precipitaciones irregulares (como el mediterráneo), en donde hay una alternancia de periodos secos (compresión) y húmedos (expansión).

Predicción:

- Investigación de las características litológicas, estructurales y climatológicas de la región.

Prevención:

- Tratamientos químicos (añadir calcio) para estabilizar las arcillas.
- Control del nivel freático para mantenerlo constante.