



Universidad Politécnica de Cartagena
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica

Apuntes de Geología

Cartagena 2015

Jorge Cerezo Martínez



Lección 2

1.- Clasificación de los minerales. Minerales petrogenéticos.

- **Rocas:** son los materiales de la corteza terrestre y están formadas por minerales.

Para comprender los distintos procesos que las originan es preciso primero conocer los minerales que las constituyen y algunas de sus propiedades.

- **Mineralogía:** parte de la Geología que estudia los minerales.
- **Mineral:** sólido homogéneo con una composición química definida (que puede no ser fija), una disposición ordenada de sus partículas constituyentes, que fue formado mediante un proceso natural y que es estable dentro de unos límites de presión y temperatura.

La composición química definida implica que cada mineral está formado por la misma composición de elementos químicos y se puede representar mediante una fórmula química. No obstante, en muchos minerales existe la posibilidad de entrada de diversos cationes, como ocurre en los silicatos. Esta disposición interna de las partículas ordenada que caracteriza a la materia cristalina, es opuesta al estado amorfo.

1. Es la misma para cada mineral.
 2. A veces se manifiesta externamente mediante la aparición de caras planas, dando formas cristalinas que presentan una simetría.
- **Simetría:** repetición de caras un número determinado de veces.

Los minerales pertenecen a uno de los siete sistemas cristalinos existentes, caracterizados por unas constantes cristalográficas determinadas (tetragonal, hexagonal, cúbico, trigonal, rómbico, monoclinico y triclinico). Un mineral siempre cristaliza en el mismo sistema, aparezcan o no las caras. La ordenación interna no se puede observar directamente, se deduce mediante difracción de rayos x. En los procesos naturales de formación, las condiciones de presión y temperatura pueden variar haciéndose inestable un determinado mineral y dando lugar a otro distinto de otra forma cristalina (polimorfismo). Los tipos de procesos geológicos mediante los cuales se pueden formar los minerales son los magmáticos, sedimentarios y metamórficos.

- **Minerales petrogenéticos:** son los minerales importantes formadores de rocas.
- **Yacimiento mineral:** zona de la corteza en la que se encuentran concentrados uno o varios minerales como consecuencia de determinados procesos geológicos, y que hace rentable su explotación con fines económicos. Se distingue mena (lo que se aprovecha) y ganga (lo que lo acompaña y no tiene interés).

Desde el punto de vista geológico, se utiliza una clasificación mineral basada en el grupo aniónico principal. Las razones por la que se utiliza son:

- El grupo aniónico confiere rasgos estructurales comunes que determinan muchas propiedades semejantes.
- Suelen encontrarse en depósitos geológicos del mismo tipo.
- Coincide con la clasificación de los compuestos inorgánicos.

Los grupos minerales así clasificados se denominan clases y son las siguientes:

- 1.-Elementos.
- 2.-Sulfuros.
- 3.-Halogenuros.
- 4.-Óxidos e hidróxidos.
- 5.-Nitratos, carbonatos y boratos.
- 6.-Sulfatos, cromatos, molibdatos y wolframatos.
- 7.-Fosfatos, arseniados y vanadatos.
- 8.-Silicatos.

La clase 8 (silicatos) es la más numerosa (1/3 de todos los minerales conocidos) y son los minerales más importantes formadores de rocas.

2.- Características generales de los principales minerales no silicatados.

Se van a ir viendo las características generales de cada una de las siete clases correspondientes a minerales no silicatados.

1.-Elementos.

- Representan el 0,1% de todos los minerales.
- Aparecen, en general, como minerales accesorios.
- Por su carácter se subdividen en metales (cobre, plata, oro y platino) y no metales (azufre y carbono en forma de grafito o diamante).
- Los metales tienen una serie de propiedades físicas comunes como son la capacidad de actuar como conductores de la electricidad, son maleables, dúctiles, etc.
- Se verán cobre, azufre y carbono en forma de grafito.

2.-Sulfuros.

- Clase numerosa entre los que se encuentran muchas menos de interés económico (Pb, Zn, Cu, Hg, etc.).
- Son en general blandos, con ciertas propiedades metálicas (brillo metálico), opacos a la luz, diversamente coloreados, conductores de la electricidad y con alta simetría.
- Dentro de ellos veremos los siguientes: esfalerita (blenda), calcopirita, galena, cinabrio, pirita, rejalgar y oropimente.

3.-Halogenuros.

- Existen pocos minerales de esta clase, no obstante algunos son importantes constituyentes de las evaporitas.
- Se van a ver la halita, silvina y fluorita.

4.-Óxidos e hidróxidos.

Clase numerosa de minerales.

❖ Óxidos:

- Relativamente duros, muchos de ellos son resistentes a la alteración al ser planares y presentan alta simetría.
- Se encuentran fundamentalmente como minerales accesorios en rocas ígneas y metamórficas.
- Se van a ver: magnetita, corindón, hematites (oligisto), casiterita y pirolusita.

❖ Hidróxidos:

- Son más blandos por contener el grupo OH, menos densos y de menor simetría que los anteriores.
- Se forman como productos de alteración de otros minerales (minerales secundarios).
- Sólo se observarán goethita y limonita.

5.-Nitratos, carbonatos y boratos.

En nuestros alrededores son especialmente abundantes los carbonatos, mientras que los otros están prácticamente ausentes.

❖ Carbonatos:

- Se descomponen en presencia de ácidos desprendiéndose CO₂ (efervescencia). Algunos de ellos son importantes minerales formadores de rocas sedimentarias (calizas y dolomías).
- Dureza media.
- Se observan: siderita, calcita, dolomita, aragonito, azurita y malaquita.

6.-Sulfatos, cromatos, molibdatos y wolframatos.

Dentro de estos especialmente importantes son los sulfatos, no obstante, incluso en éstos últimos, pocos son minerales petrogenéticos.

❖ Sulfatos:

- Tienen dureza media a baja.
- Muchos son blanquecinos.
- Dependiendo de los cationes presentes en la red varía el origen.
- Simetría baja (rómicos o monoclinicos).
- Vamos a ver los siguientes: baritina, celestina y yeso.

7.-Fosfatos, arseniados y vanadatos.

Por su importancia sólo veremos representantes de fosfatos.

❖ Fosfatos:

- Éstos aparecen como mineral accesorio de las rocas ígneas.
- Sólo veremos un representante, en concreto el apatito.

3.- Silicatos: características generales y clasificación estructural.

Son los minerales más importantes formadores de rocas y los más numerosos ya que constituyen alrededor del 25% de todos los minerales conocidos. Las causas de su abundancia son:

- El O y el Si son los elementos más abundantes de la corteza terrestre. Y después le siguen Fe, Mg, Ca, Na y K, elementos que también forman parte de los silicatos.
- Pueden formarse una gran diversidad de estructuras con la base tetraédrica compuesta por el silicio unido a cuatro oxígenos (coordinación tetraédrica) que quedan dispuestos en los vértices de un tetraedro. Los tetraedros pueden polimerizarse por compartición de oxígenos con tetraedros vecinos, con lo que se origina una gran diversidad de estructuras. Existe la posibilidad de sustituciones isomórficas de unos cationes por otros de radios similares sin que cambie la estructura, con la formación de nuevos minerales. Éste es debido a su formación a altas temperaturas.
- La estructura básica de los silicatos es un Si rodeado por cuatro O formando una disposición tetraédrica. Dependiendo de cómo se organicen estos tetraedros tendremos los distintos grupos de silicatos y constituyen lo que se llama la clasificación estructural de los silicatos.

Estas diferentes estructuras dan lugar a características físicas de los minerales distintas para cada grupo. La mayoría de los silicatos se originan a altas temperaturas en procesos magmáticos y metamórficos. En cuanto a la clasificación estructural tenemos:

- 1.-Nesosilicatos
- 2.-Sorosilicatos
- 3.-Ciclosilicatos
- 4.-Inosilicatos
- 5.-Filosilicatos
- 6.-Tectosilicatos

1.-Nesosilicatos

Tetraedros (SiO_4^{4-}) están aislados, no polimerizados, y se unen entre sí mediante cationes de coordinación 6 para compensar las cargas negativas y dar lugar a los distintos minerales. La fórmula estructural es SiO_4^{4-} y la relación $\text{Si/O} = \frac{1}{4}$. Son los silicatos con estructuras más sencillas y más pobres en Si.

- Debido a la estructura no polimerizada, suelen tener un hábito más o menos equidimensional.
- Tienen alta dureza y peso específico.
- Se van a ver el olivino y el granate (piropo). El primero suele encontrarse en rocas ígneas básicas como las peridotitas o los basaltos y es fácilmente alterable. El granate es importante constituyente de rocas metamórficas y es muy inalterable.

2.-Sorosilicatos.

Son grupos de dos tetraedros que comparten un oxígeno. Estos grupos se unen a otros mediante distintos cationes. La fórmula estructural es $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$ y la relación Si/O = 2/7. Dado que se trata de los minerales menos frecuentes dentro de los silicatos, en este grupo no se va a ver ningún ejemplo.

3.-Ciclosilicatos.

Tetraedros que comparten dos oxígenos formando anillos de 3, 4 o 6 tetraedros. La fórmula estructural es $(\text{Si}_n\text{O}_{3n})^{2n-}$ y la relación Si/O = 1/3. También es un grupo con pocos minerales. Se va a ver el berilo y la turmalina.

4.-Inosilicatos.

Son silicatos que forman cadenas. Pueden ser de dos tipos.

❖ Piroxenos

- Los tetraedros comparten dos oxígenos con los tetraedros vecinos formando cadenas sencillas.
- La fórmula estructural es $(\text{SiO}_3)_n^{2n-}$ y la relación Si/O = 1/3.

❖ Anfiboles

- Comparten alternativamente 2 y 3 oxígenos con los tetraedros vecinos formando dobles cadenas.
- Pueden quedar huecos que son ocupados por grupos OH.
- La fórmula estructural es $(\text{Si}_4\text{O}_{11}(\text{OH}))_n^{7n-}$ y la relación Si/O = 4/11.

Ambos presentan un numeroso grupo de minerales que además son importantes formadores de rocas. Entre los minerales de ambos grupos existen algunas analogías:

- Las cadenas, sencillas o dobles, se disponen según la dirección del eje cristalográfico C, lo que le confiere un hábito alargado (cristales prismáticos, aciculares o fibrosos).
- Las cadenas se unen entre sí mediante cationes en general con coordinación octaédrica (6): Mg, Fe, Al, Ca, etc.
- El enlace Si-O es fuerte mientras que la unión del O con los cationes es más débil, por lo que la exfoliación tiene lugar según direcciones paralelas al eje C (paralela a la dirección larga del
- cristal).
- Cristalizan en los sistemas rómbico o monoclinico según los cationes que intervengan.
- Son muy numerosas las series isomórficas.

En cuanto a las diferencias tenemos las siguientes:

- Poseen una segunda dirección de exfoliación que forma ángulos diferentes: 90° en los piroxenos y 120° en los anfíboles.
- El hábito de los cristales es distinto: prismas cortos en piroxenos y cristales más alargados, aciculares o fibrosos, los anfíboles.
- Presencia del grupo OH en los anfíboles que les confiere menor: peso específico, índice de refracción y dureza.
- Los piroxenos se forman a temperaturas más altas que los anfíboles, por lo que son más inestables en general. Los primeros son más frecuentes en rocas ígneas y los anfíboles en las rocas metamórficas.
- Dentro de los primeros veremos sólo la augita, mientras que entre los segundos observaremos la hornblenda y la actinolita, con su variedad fibrosa que es el asbesto.

5.-Filosilicatos.

- Tetraedros que comparten tres oxígenos con los tetraedros vecinos formando láminas.
- La fórmula estructural es $(\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH}))_n 3n^-$ y la relación Si/O = 2/5.
- Hábito laminar, hojoso o escamoso, con fácil exfoliación laminar (se pueden separar láminas muy finas). Tienen baja simetría: monoclinicos o triclinicos. En general tienen baja dureza.
- Muchos de los filosilicatos se forman por alteración de otros silicatos (piroxenos y anfíboles, principalmente).
- Las uniones entre las láminas se efectúan mediante cationes de coordinación octaédrica.
- Según se unan las láminas $\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$ entre si para formar los minerales tendremos dos tipos de silicatos (1:1 y 2:1). No obstante, con independencia del tipo, ambos pueden ser dioctaédricos o trioctaédricos según presenten catión trivalente o divalente.

❖ Tipo 1:1.

- Tienen una capa tetraédrica y una octaédrica. La unión de unos paquetes con otros es mediante puentes de hidrógeno, que es a su vez un enlace muy débil por lo que tienen una fácil exfoliación laminar.

❖ Tipo 2:1.

- Presentan dos capas tetraédricas y una octaédrica. La unión O-O entre las capas también es débil, por tanto también tienen una exfoliación fácil.
- Vamos a ver el talco, moscovita y caolinita. El talco es tipo 2:1 trioctaédrico. Si en los filosilicatos 2:1 se sustituye en la capa tetraédrica un silicio por un aluminio (25%) se obtienen las micas y dentro de estas veremos la moscovita. Si la sustitución de silicio por aluminio es menor del 25% se obtienen los minerales de la arcilla y entre ellos tenemos a la caolinita.

6.-Tectosilicatos.

- Los tetraedros comparten todos los oxígenos con los tetraedros vecinos y forman estructuras tridimensionales.
- La fórmula estructural es SiO_2 y la relación $\text{Si/O} = 1/2$. Son, de este modo, los más ricos en Si.
- Son los más polimerizados que forman redes tridimensionales cuya fórmula estructural es SiO_2 .
- Son el grupo de silicatos más abundantes en las rocas.
- En general son duros, de colores blancos y constituyentes de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

Se distinguen los del grupo de la sílice, los feldespatos, feldespatoides y las ceolitas.

❖ Sílice.

Veremos el cuarzo, cuatro variedades criptocristalinas de él: calcedonia, ágata, sílex y jaspe; y la sílice amorfa que es ópalo.

❖ Feldespatos.

Tenemos los feldespatos alcalinos y las plagioclasas. Veremos entre los primeros la ortosa y microclina.

❖ Feldespatoides.

No vamos a ver ejemplos. Son incompatibles con la presencia de sílice ya que darán feldespatos. Aparecen en rocas ígneas.

❖ Ceolitas.

Son aluminosilicatos hidratados que constituyen un gran número de minerales y se forman en las últimas fases de cristalización magmática, a bajas temperaturas, y por alteración de feldespatos y feldespatoides. Se utilizan como intercambiadores de iones y para ablandar las aguas ya que pierden el agua sin modificar su estructura y sus huecos son ocupados por otros grupos. No veremos ningún representante.

Lección 3

1.-Concepto y clasificación genética de las rocas.

➤ **Roca:** material de la corteza terrestre que está constituido por asociaciones de minerales y que abarca una considerable extensión.

A diferencia de un mineral, una roca no es homogénea. Lo más frecuente es que se encuentre en estado sólido pero puede ser líquida (petróleo) o gaseosa (gas natural). El estado de cohesión también varía: las hay duras y compactas (granito) o sueltas (arenas de dunas). Suelen estar formadas por determinadas asociaciones minerales, pero también hay rocas monominerálicas (caliza, cuarcita). Su estudio es importante porque suministra información sobre las condiciones de su formación y los procesos posteriores por los que han sido afectadas. Se pueden considerar, por tanto, como archivos históricos que hay que saber interpretar. En cuanto a su clasificación genética, tenemos:

- ❖ **Rocas endógenas.** Cuando en su formación intervienen procesos magmáticos aparecen las rocas ígneas, mientras que cuando se trata de procesos metamórficos se encuentran las rocas metamórficas.
- ❖ **Rocas exógenas.** Se originan por procesos de meteorización y son las rocas sedimentarias.

Los procesos que originan los dos tipos de rocas endógenas se producen debido a incrementos de presión y temperatura que existen en el interior de la tierra (energía interna).

Las causas que originan las rocas sedimentarias están en la energía procedente del sol y la g p fuerza de la gravedad, actuando en los procesos de meteorización. Tanto los procesos internos como externos actúan simultáneamente y durante millones de años en una dinámica de transformación. Los procesos externos mediante la meteorización producen el desgaste de los materiales de la corteza terrestre, mientras que las fuerzas de origen interno crean nuevos materiales por lo que se puede considerar un ciclo geológico que consta de tres etapas: oroqénesis, qliptoqénesis y litoqénesis.

Dentro de este ciclo geológico se pueden encuadrar las transformaciones de unas rocas en otras, que podemos denominar el ciclo de las rocas o ciclo litológico.

2.-Procesos magmáticos

Los procesos magmáticos que dan lugar a las rocas ígneas comienzan con la formación del magma.

- **Magma:** masa de roca parcial o totalmente fundida a temperaturas elevadas, entre 700-1000 °C, constituido esencialmente por silicatos.

Características:

1. Su composición, expresada en % de óxidos, en orden decreciente de abundancia es: SiO₂, Al₂O₃, MgO, CaO, FeO, Na₂O, K₂O; además contiene otros muchos elementos en cantidades pequeñas (ppm) y diversos gases: H₂O, CO₂, CO, SH₂, etc.
2. Para que una roca pueda encontrarse parcialmente fundida es necesario que exista una elevada temperatura, por lo que ha de encontrarse en zonas suficientemente profundas de la tierra, así se trata de zonas de la corteza inferior y del manto.
3. Los compuestos volátiles del magma tienen gran importancia, pues fluidifican la mezcla fundida y permiten que pueda permanecer así a temperaturas relativamente bajas. Además, estos compuestos, al desprenderse tumultuosamente, facilitan la ascensión de los magmas durante la erupción.

Las rocas no tienen un punto de fusión fijo ya que están formadas por distintos minerales. Cada uno con un punto de fusión diferente. Habrá un intervalo de temperatura desde el momento que la roca empieza a fundir hasta que está totalmente fundida.

- **Punto de Sólidus:** temperatura a la que empieza a fundir la roca.
- **Punto de Líquidus:** temperatura a la que está totalmente fundida.
- **Anatexia:** fusión parcial de la roca. Ocurre cuando su temperatura supera su punto de solidus.
- **Fusión total:** ocurre cuando su temperatura supera su punto de líquidus.

Una roca próxima al Punto de Solidus puede empezar a fundir por tres tipos de mecanismos: aumento de la temperatura, descenso de la presión o adición de agua; no obstante generalmente se combinan más de uno de estos mecanismos. Aunque hay una gran diversidad de rocas ígneas, derivan de dos tipos esenciales de magmas (magmas primarios).

❖ Magma basáltico.

Se origina por la fusión de rocas del manto (peridotitas) a una temperatura de unos 1000 °C. Pobre en sílice y bastante fluido por lo que con frecuencia sale al exterior de la corteza terrestre formando rocas volcánicas. Dentro de él se diferencian:

• Magma basáltico alcalino.

Rico en elementos alcalinos (Na, K) y pobre en sílice, que procede de la fusión de aproximadamente un 15 % de la peridotita a una profundidad de 80 km. Al ascender y consolidarse ha dado lugar a gran parte de las islas volcánicas.

- **Magma basáltico toleítico.**

Mucho más pobre en elementos alcalinos y algo más rico en sílice. Se origina por la fusión de una mayor cantidad de peridotita ($\approx 30\%$) a menor profundidad (≈ 30 km). Suele formarse en las dorsales oceánicas.

- ❖ **Magma granítico.**

Se produce por la fusión de rocas de la corteza continental a una temperatura de 700-800 °C y a una profundidad de 25-40 km. Rico en sílice y bastante viscoso por lo que suele consolidarse en el interior de la corteza formando rocas plutónicas. Una vez formado el magma, como es menos denso que la roca sólida, tenderá a ascender a zonas de menor presión con lo que se irá enfriando paulatinamente.

Se calcula que el ascenso medio puede ser de 1 m/año, pero la velocidad de ascenso dependerá de su mayor o menor viscosidad, del contenido en gases, su composición, etc.

La consolidación (o solidificación) del magma como consecuencia de su enfriamiento dará lugar a las rocas ígneas. Según el lugar de esta consolidación las rocas se clasifican en plutónicas, volcánicas y filonianas.

- **Cristalización fraccionada de un magma.**

Del mismo modo que la fusión de la roca es de forma gradual, el enfriamiento también es progresivo conforme el magma va ascendiendo a zonas de menor presión y temperatura, con lo que irán cristalizando diferentes minerales cuando vayan alcanzando sus puntos de solidificación.

De este modo el magma va cambiando su composición a medida que van cristalizando las distintas fases a minerales. Los puntos de solidificación de los minerales no siempre coinciden con el punto de fusión de los minerales, cuando éstos se consideran aisladamente.

Así es posible que minerales cristalizados en primer lugar, a elevada temperatura, dejen de ser estables a temperaturas más bajas, y reaccionando con el magma pueden desaparecer para dar lugar a la formación de otros minerales distintos. Esta es la razón por la cual no siempre se encuentran simultáneamente todos estos minerales en las rocas.

- **Fases de consolidación magmática.**

Un magma se puede considerar formado por componentes “refractarios”, cuya temperatura de fusión es elevada, superior a los 700 °C, y componentes “volátiles”, que aún aparecen en estado de gases o vapores por debajo de los 500 °C.

Cuando desciende la temperatura del magma, bajo la elevada presión a que está sometido, se suceden tres fases que presentan caracteres especiales.

- 1.-Fase ortomagmática.**

Durante ella desciende lentamente la temperatura hasta cerca de los 500 °C, produciéndose la cristalización de la mayoría de los minerales contenidos en él.

2.-Fase pegmatítico-neumatolítica.

Alrededor de los 500 °C, en la que el cuarzo y la ortosa cristalizan simultáneamente, quedando la roca definitivamente formada. En el líquido residual se concentran los componentes volátiles, y al aumentar la presión, penetran en las zonas periféricas a la masa plutónica, originando la aureola característica que rodea a las rocas ígneas. Allí al enfriarse forman diques o filones que constituyen las rocas pegmatíticas, también llamadas filonianas.

3.-Fase hidrotermal.

El vapor de agua recalentado desempeña el papel principal, junto con otros compuestos solubles, de forma que los líquidos residuales se pueden ya considerar como una solución acuosa a elevada temperatura.

Estas soluciones residuales emigran de la zona donde se produjo la consolidación magmática a favor de grietas y fracturas o planos de estratificación, depositando en zonas más superficiales los últimos componentes del magma. Con frecuencia, estas soluciones hidrotermales llevan compuestos metálicos en disolución y son la causa de la formación de yacimientos minerales útiles en las zonas periféricas de los macizos de rocas plutónicas.

3.-Composición química y mineralógica de las rocas ígneas.

El análisis químico de rocas ígneas de diversa índole y de distintas procedencias ha llevado a la conclusión de que el elemento más abundante es el oxígeno. Como se encuentra siempre combinado con los demás, se comprende que se expresen los resultados en forma de óxidos de los distintos elementos integrantes. La composición química, expresada en óxidos, sería aproximadamente la siguiente:

- SiO₂: 35-75%.
- Al₂O₃: 10-20%.
- FeO, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O: 1-15%.
- MnO, TiO₂: <1%.

De este modo, las rocas ígneas se clasifican según su contenido en sílice:

- Rocas ácidas: >65%.
- Rocas neutras: 65-55%.
- Rocas básicas: 55-45%.
- Rocas ultrabásicas: <45%.

La composición mineralógica es variada y está constituida mayoritariamente por silicatos.

- **Minerales esenciales o fundamentales:** aquellos que están en una proporción mayor del 5%.
- **Minerales accesorios:** los que aparecen en proporción <5% y que su presencia o no en la roca no influye para su clasificación.
- **Minerales accidentales:** pueden estar presentes a veces, y, aunque en pequeña proporción, pueden darnos idea sobre la composición del magma originario y/o las condiciones concretas de cristalización.
- **Minerales secundarios:** aquellos formados por procesos posteriores a la génesis de la roca, son minerales productos de alteración de otros.

Existe una relación entre la composición química y la composición mineralógica de las rocas ígneas.

- *Minerales leucocratos=Roca félsica=Roca ácida.*
- *Minerales melanocratos=Roca máfica=roca básica.*

Los minerales pueden aparecer en las rocas con distintos tamaños; unas veces son todos visibles a simple vista, mientras que en otras ocasiones solamente algunos pueden distinguirse y el resto es una masa aparentemente indiferenciada; otras veces incluso se forma un vidrio.

Textura: la distinta organización o relaciones de los distintos minerales en la roca. Se observa estudiándola al microscopio petrográfico. Nos indica cuáles fueron las condiciones de formación de la roca y el lugar de consolidación del magma.

4.-Principales familias de rocas ígneas:

Dentro de *las rocas ígneas*, podemos diferenciar las siguientes: *plutónicas, volcánicas y filonianas.*

❖ **Rocas plutónicas.**

Están formadas en el interior de la corteza y no aparecerán en la superficie a no ser que hayan sufrido algún movimiento tectónico que les haga aflorar, o los materiales que las recubrían hayan sido erosionados con el tiempo.

❖ **Rocas volcánicas.**

La salida al exterior se hace a través del cráter de un volcán. La ascensión del magma se facilitará por la expulsión de gases en el magma fluido (lava). Se desliza por la ladera del volcán formando una colada. La viscosidad de una lava depende directamente de su acidez, riqueza en elementos alcalinos y concentración de agua y gases; por ello, en general las lavas ácidas son más viscosas y las básicas más fluidas.

❖ Rocas filonianas.

Cuando los magmas formados en profundidad ascienden hacia zonas superficiales aprovechando fallas o fracturas y se consolidan a través de estas grietas de la corteza terrestre.

En cuanto a las diferentes *familias de rocas ígneas* tenemos.

➤ Familia del granito-riolita.

La primera es de origen plutónico y la segunda volcánico. Están formadas fundamentalmente por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas y biotita. En la granodiorita, también plutónica, además aparece hornblenda.

➤ Familia de la sienita-traquita.

Formadas esencialmente por feldespato potásico más que sódico, pudiendo presentar también plagioclasas e incluso anfíbol y biotita.

➤ Familia diorita-andesita.

Tanto el componente plutónico (diorita) como volcánico (andesita) están formados fundamentalmente por plagioclasas, hornblenda y biotita.

➤ Familia gabro-basalto.

Son rocas básicas compuestas por plagioclasas y piroxenos fundamentalmente, que pueden presentar también olivino.

➤ Familia de las peridotitas.

En esta familia incluimos todas las rocas ultrabásicas, es decir, cuyo porcentaje de sílice es menor del 45%. Las más típicas son las peridotitas en sentido estricto, integradas a partes iguales aproximadamente, por piroxenos y olivino. No existe equivalente volcánico. Por otro lado, se incluyen la obsidiana que es casi totalmente vítrea y de color negrozco y fractura concoídea, la pumita en la cual es frecuente incluso la presencia de turmalina y la diabasa que es de origen filoniano o subvolcánico. También se le denomina ofita a esta última por el aspecto textural de piel de serpiente. Cuando se encuentra metamorfozizada se le llama metabasita.

Lección 4

1.-Rocas sedimentarias: origen y medios sedimentarios.

Son *rocas exógenas* formadas por los procesos de meteorización cuya energía proviene del sol y de la acción de la gravedad. Aunque cubren alrededor del 75% de la superficie terrestre, representan solo un 5% del volumen total de las rocas presentes. Los procesos sedimentarios incluyen las siguientes etapas:

- 1.-Meteorización de los relieves montañosos.
- 2.-Transporte y sedimentación de los materiales separados.
- 3.-Diagénesis o litificación.

1.-Meteorización de los relieves montañosos

Es la transformación de las rocas expuestas al contacto con la atmósfera. Hay dos tipos: Física o mecánica.

➤ Física.

Desagregación de la roca sin que cambie su composición química y como consecuencia se originan fragmentos de menor tamaño. Los agentes que la producen son:

- Cambios bruscos de temperatura** (día-noche) que producen dilataciones y contracciones.
- Acción del hielo-deshielo.**
- Acción del viento** que produce la erosión alveolar.
- Sales (aire marino)** que actúan como el hielo.
- Raíces de las plantas.**

Es máxima en las zonas polares, desiertos cálidos y altas montañas.

➤ Química.

Se produce una alteración química de los minerales que componen la roca. El principal agente es el agua, favorecido por la elevada temperatura. Las reacciones que pueden tener lugar son:

- Disolución**: disuelve los minerales más solubles, como son la halita o el yeso.
- Hidratación**: minerales anhidros pasan a hidratados. Por ejemplo anhidrita pasa a yeso.
- Oxidación**: reacción del oxígeno disuelto en las aguas con los iones divalentes de ciertos elementos, como el Mn y el Fe. Por ejemplo Fe⁺² a Fe⁺³.
- Carbonatación**: El CO₂ contenido en el agua forma ácido carbónico y éste último a su vez se disocia de la siguiente forma:
$$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3\text{H}^- \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$$
Este compuesto finalmente, junto con el Ca⁺², forma carbonato cálcico.
$$\text{CO}_3^{2-} + \text{Ca}^{+2} \leftrightarrow \text{CaCO}_3$$
- Hidrólisis**: reacción del agua con ciertos silicatos dando lugar a dos compuestos, uno de carácter básico y otro ácido.

Otros agentes de meteorización química son las bacterias, líquenes y musgos que producen ácidos húmicos, amoníaco, CO₂, etc., que ayudan a la descomposición de las rocas. Actúa predominantemente en climas cálidos y lluviosos. Frente a ella tenemos dos tipos de minerales:

- a) *Minerales estables, resistentes* (cuarzo, turmalina, circón, etc.)
- b) *Minerales alterables*.

Los minerales formados a mayor temperatura son más alterables que los que se forman a temperaturas más bajas. Ambos tipos de meteorización pueden actuar conjuntamente. Entre los factores que influyen en la meteorización de las rocas, tanto física como química, tenemos:

- 1.- *Composición química y mineralógica* de las rocas.
- 2.- *Textura de la roca*: tamaño de grano, cristalinidad, compactación, etc.
- 3.- *Estructura de la roca*: presencia de fracturas o diaclasas, disposición de los estratos, etc.
- 4.- *Topografía del terreno*: zonas más llanas o más onduladas.
- 5.- *Clima*: precipitaciones y temperatura. Según el clima predominará un tipo de meteorización u otro.

Ambos tipos actúan conjuntamente y originan dos tipos de productos:

- ❖ **Material detrítico**. Productos residuales resistentes a la alteración que son fragmentos pequeños de rocas originales y minerales resistentes (principalmente cuarzo).
- ❖ **Productos secundarios** como minerales de la arcilla e iones en disolución.

Una parte del material detrítico procedente de la roca será transportado por los agentes de transporte (agua, hielo, viento) y otra parte permanecerá sobre las rocas constituyendo un manto de alteración u horizonte C de un incipiente suelo.

2.- Transporte y sedimentación de los materiales separados

Los agentes erosivos fluidos en movimiento (agua, viento, glaciares, mares) y la acción de la gravedad, llevarán los productos de la meteorización a mayor o menor distancia del área de origen (área madre) dependiendo del tamaño de los productos y de las fuerzas de dichos agentes. Los tipos de transporte son variados: *disolución, suspensión y arrastre*.

La sedimentación se produce, para las partículas que son transportadas en estado sólido (suspensión y arrastre), cuando el fluido pierde velocidad. Estas caen al fondo por gravedad formando un depósito o sedimento. Estos depósitos tienen lugar en zonas topográficamente más bajas provocando una nivelación de los relieves. El transporte por medios muy fluidos, como el aire o el agua, permite una selección considerable por tamaños de los elementos detríticos del futuro sedimento, ya que la velocidad de la corriente determina el peso máximo de las partículas que pueden ser arrastradas o transportadas en suspensión.

Los medios de transporte poco fluidos, como el hielo, arrastran indistintamente todos los fragmentos, cualquiera que sea su tamaño. Los iones que van disueltos no depende su depósito de las variaciones en la velocidad de la corriente sino de cambios en las condiciones físico-químicas de las aguas: presión, temperatura, concentraciones salinas, pH, etc.

Facies sedimentaria: conjunto de caracteres que quedan reflejados en un sedimento y que permiten determinar su historia de formación e incluso reconstruir los rasgos del ambiente en el que el sedimento se formó.

Las zonas donde tiene lugar la acumulación de sedimentos son los medios sedimentarios y las cuencas sedimentarias.

- **Medios sedimentarios:** áreas de la litosfera donde se produce sedimentación con unas características físicas, químicas o biológicas determinadas, diferentes de las de cualquier otro medio. Pueden ser:
 - ❖ **Continetales**
 - Medios fluviales.
 - Medios lacustres.
 - Medios ligados a los glaciares.
 - Medios eólicos y desérticos.
 - ❖ **Costeros o de transición**
 - Playas.
 - Deltas.
 - Albuferas y bahías.
 - ❖ **Marinos**
 - Plataforma continental.
 - Talud y fondo oceánico.
 - Arrecifes.
 - Depósitos de turbiditas.
- **Cuencas sedimentarias:** amplias regiones en donde se produce gran velocidad de sedimentación durante largos periodos de tiempo.

Un ejemplo podría ser el Mediterráneo occidental, como cuenca sedimentaria, y el delta del Ebro, la plataforma de Baleares, las costas levantinas, etc., como medios sedimentarios. En las regiones emergidas dominan ampliamente las áreas sometidas a erosión y meteorización sobre aquellas en que tiene lugar el depósito.

2.-Diagénesis.

Diagénesis o litificación: conjunto de cambios físico-químicos que tienen lugar en las cuencas sedimentarias y que transforman los sedimentos en rocas sedimentarias. Las etapas más o menos simultáneas que tienen lugar son:

- **Compactación:** debido al peso de la carga de sedimentos sobre capas inferiores se produce una pérdida de porosidad y, en consecuencia, de volumen, que da coherencia al sedimento.
- **Deshidratación:** como consecuencia de la compactación el sedimento expulsa una disolución acuosa.
- **Sustitución:** las disoluciones expulsadas circulan vertical y horizontalmente pudiendo reaccionar con minerales existentes y producir cambios catiónicos y cristalización de nuevos minerales. Así la sustitución de Ca^{+2} por Mg^{+2} (dolomitización).
- **Neoformación:** formación de minerales diagenéticos a expensas de las disoluciones. Puede darse gracias a disoluciones y recristalizaciones.
- **Cementación:** cuando las disoluciones que atraviesan los poros del sedimento precipitan entre sus granos como un cemento que une todas las partículas dándole a la roca una cohesión mayor. Los cementos más comunes son de *carbonato cálcico, sílice, óxidos de hierro y arcilla.*

Como consecuencia, la estructura principal de las rocas sedimentarias es la estratificación u ordenamiento en capas que se denominan estratos; cada uno con unas determinadas características litológicas que lo diferencian de los contiguos.

3.-Clasificación de las rocas sedimentarias. Principales rocas sedimentarias

Atendiendo a criterios genéticos se establecen tres grandes grupos:

- a) rocas detríticas*
- b) rocas de precipitación*
- c) rocas organógenas.*

➤ **ROCAS DETRÍTICAS**

Formadas por partículas que han sido transportadas en estado sólido desde la roca originaria que sufre la meteorización hasta el lugar de la sedimentación. Las partículas pueden estar sueltas o cementadas mediante el cemento precipitado durante la diagénesis.

Una roca detrítica se dice que tiene madurez mecánica cuando sus partículas son redondeadas y más o menos del mismo tamaño. Se habla de madurez mineralógica cuando la roca está compuesta por minerales resistentes. Ambas situaciones significan un transporte prolongado y una meteorización intensa.

Según el tamaño de las partículas, se clasifican en: ruditas (>2 mm de diámetro), arenitas (2-1/16 mm de diámetro) y lutitas o pelitas (<1/16 mm de diámetro).

❖ Ruditas

Están constituidas por fragmentos de roca que pueden estar sueltos o cementados. Cuando están sueltos, según el tamaño, se denominan **bloques, cantos y gravas**.

Si están cementados se denominan **conglomerados**. Cuando tiene los cantos angulosos se denomina **brecha**. Las de cantos angulosos, cementados o no, están ligadas genéticamente a productos de trituración de fracturas, a residuos de erosión con escaso transporte, a depósitos de pequeños ríos, y, en general, a procesos con escaso desgaste de las partículas.

Las de cantos redondeados están ligadas a procesos en los que la erosión y desgaste es mayor. Así ocurre en materiales depositados en ríos de transporte largo, en playas o en depósitos locales de fondos marinos o lacustres. Ambas son formaciones continentales.

❖ Arenitas

Están constituidas por minerales resistentes a la meteorización química: cuarzo, micas, feldespatos y otros minerales, y también algunos fragmentos de roca desgastados hasta este tamaño. Cuando las partículas están sueltas constituyen las arenas y si están cementadas son las **areniscas**.

Las más importantes son las areniscas, mientras que las arenas suelen encontrándose sólo en dunas, turbiditas y glaciares. Son formaciones tanto continentales como marinas o de medios de transición. En cuanto a las areniscas más comunes tenemos:

- **Arenisca cuarzosa u ortocuarcita**. Muy maduras mecánicamente y mineralógicamente de modo que están constituidas por granos muy redondeados casi exclusivamente de cuarzo. El cemento puede ser silíceo o carbonatado.
- **Arcosa o arenisca feldespática**. Contiene, además de cuarzo, abundantes feldespatos y a veces incluso láminas de mica.
- **Grauvaca**. Muy inmaduras, tanto mecánica como mineralógicamente, que contienen muchos minerales diversos, fragmentos de roca y material arcilloso. También se les denomina **areniscas litíticas**.

❖ Lutitas

Son las rocas detríticas de menor tamaño de grano, en las que se distinguen limos y arcillas. Las partículas son transportadas por las aguas en suspensión y cuando cambian las condiciones físico-químicas de las aguas pueden flocular dando lugar a los **depósitos arcillosos o pelíticos**. No obstante, además también pueden formarse diagenéticamente minerales de la arcilla. Los constituyentes minerales son:

- Minerales de la arcilla.*
- Cuarzo, feldespatos y micas finamente divididos.*
- Óxidos de hierro.*

Cuando se trata de sedimentos sin compactar se habla de *limo y arcilla*, mientras que *para las rocas sedimentarias* se usan los términos *limolita y arcillita*, respectivamente. Las arcillas tienen la característica de ser plásticas cuando están húmedas y de endurecerse al secarse. Se forman mayoritariamente en ambientes marinos, aunque también pueden originarse en el continente. Cuando la diagénesis ha sido muy elevada, aparecen *las pizarras* a partir de estas arcillas. Las *margas* presentan carbonato cálcico depositado simultáneamente con la arcilla siendo una transición con las rocas de precipitación.

➤ **ROCAS DE PRECIPITACIÓN**

Se forman por precipitación química de los elementos disueltos en las aguas o por la actividad de los seres vivos que induce esa precipitación. Los cambios físico-químicos del medio que provocan la precipitación son: *pH, salinidad, temperatura, presión, etc.* Podemos distinguir las siguientes:

- *Rocas carbonatadas.*
- *Rocas silíceas. Rocas fosfatadas.*
- *Rocas evaporitas.*
- *Rocas alúminoferruginosas.*

❖ **Rocas carbonatadas**

Están formadas exclusiva o mayoritariamente por carbonatos. En el caso de las calizas, calcita y aragonito, y en las dolomías, dolomita. Estas rocas, junto con las areniscas y arcillas, constituyen la mayoría de las rocas sedimentarias. En cuanto a los mecanismos de formación tenemos:

- Mecanismo físico-químico: el Ca^{2+} (proveniente de la alteración de minerales primarios que contienen calcio, como ocurre con piroxenos, anfíboles o plagioclasas cálcicas de las rocas ígneas, o de la disolución de rocas calcáreas formadas en una época anterior), junto con el H_2O y CO_2 forma CaCO_3 .
- El CO_2 existente en la atmósfera es producido fundamentalmente en los fenómenos de oxidación de los seres vivos o de descomposición de sus residuos y de los gases expulsados por los volcanes.

Las reacciones son las siguientes:

- $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
- $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$

Para la precipitación es necesario el desplazamiento hacia la izquierda de la segunda reacción, es decir debe producirse una disminución de la presión parcial de CO_2 , que a su vez estará condicionada con un aumento de la temperatura y una disminución de la presión. Por tanto, si la concentración de calcio es suficiente, variaciones de presión y temperatura podrán provocar la precipitación del carbonato cálcico.

No obstante, la mayor parte de la formación de las calizas tiene lugar por la intervención de organismos que fijan carbonato cálcico para formar sus conchas y caparazones. Por su abundancia los más importantes son los foraminíferos y las algas, además de equinodermos, braquiópodos y gasterópodos, entre otros. En cuanto a la *clasificación de las calizas* tenemos, según su origen:

✓ **Calizas de origen marino:**

- *Calizas de precipitación química*. Las formadas por el primer mecanismo.
- *Calizas de origen orgánico*. También denominadas bioquímicas. Formadas por el segundo mecanismo.
- *Calizas margosas*. En ellas el carbonato cálcico está asociado a cantidades variables de arcilla.

✓ **Calizas de origen continental:**

- *Calizas travertínicas y tobas*. Las primeras son calizas formadas sobre vegetales en las aguas continentales, por depósito del carbonato cálcico al desprenderse el CO₂ del agua. En las tobas este depósito ocurre sobre vegetales subacuáticos cuando en la función clorofílica toman del agua el CO₂ disuelto.
- *Estalactitas y estalagmitas*. El descenso de presión de las aguas subterráneas al aflorar a la superficie, donde puede circular libremente, y la evaporación de parte del agua, provocan estos depósitos de calcita.
- *Caliche*. Se forma debido al lavado lateral de aguas cargadas en bicarbonato cálcico.

Existe otra clasificación de las calizas según su textura:

- *Rocas esparíticas*. Se notan los cristales al tacto.
- *Rocas micríticas*. Son rocas carbonatadas microcristalinas.

La principal característica de todas las calizas es su efervescencia con HCl en frío.

Dolomías: rocas carbonatadas formadas por dolomita.

Aunque presentan un aspecto muy similar a las calizas, se disuelven en agua con mucha mayor dificultad y no efervescen con HCl en frío. Por su origen se diferencian:

- *Dolomías primarias:* formadas por precipitación directa en los fondos marinos. Son rocas escasas de edad muy antigua.
- *Dolomías secundarias:* formadas por la sustitución de parte del calcio por magnesio en las calizas. Se puede producir, bien inmediatamente después de la sedimentación (por acción del agua del mar en el seno de los sedimentos) o, por el contrario, de manera muy posterior a la sedimentación, por efecto de aguas ligadas a procesos metasomáticos. En ambos casos se le conoce como el proceso de dolomitización.

❖ Rocas síliceas

Formadas por sílice en la forma de ópalo o calcedonia, principalmente. La precipitación puede tener lugar por mecanismos *físico-químicos o bioquímicos*.

Precipitación físico-química: tiene lugar a bajas temperaturas a partir de la sílice coloidal que llevan las aguas que provienen de las áreas en que se ha producido la precipitación química. Es poco frecuente y se forma el silex (por ejemplo nódulos de silex que aparecen como intercalaciones en la roca caliza).

Rocas síliceas orgánicas: tienen su origen en los diversos organismos que toman la sílice para formar parte de sus estructuras y al morir se acumula dicha sílice. Los más frecuentes son las diatomitas, radiolaritas y esponjalitas.

❖ Evaporitas

Se producen por fuerte evaporación en lagos o mares depositándose las sales que aún van disueltas en las aguas. Los iones más solubles son Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} ; se formarán así sobre todo sulfatos y cloruros de elementos alcalinos y alcalinotérreos.

La precipitación de las diversas sales tiene lugar en orden inverso a su solubilidad, no obstante ésta varía con la temperatura y concentración de los diversos iones. Los minerales más comunes son *halita, yeso, anhidrita y silvina*.

Se forman en lagos de regiones cálidas, mares en proceso de desecación o en mares en que queda una zona aislada que se sobresatura por evaporación. Condición indispensable es que la evaporación sea mucho más intensa que las precipitaciones, es decir un clima cálido y seco. En algunos periodos geológicos las condiciones han sido óptimas para su formación, como ocurrió con el calentamiento generalizado después de las glaciaciones cuaternarias.

Para que *se conserven las rocas evaporíticas* es necesario que queden enterradas por materiales impermeables (rocas arcillosas, margas). Movimientos orogénicos posteriores pueden originar concentraciones salinas y salida al exterior formando los domos salinos o diapiros. Así ocurre con el diapiro de la Rosa o el de Pinoso.

❖ Rocas aluminico-ferruginosas

En regiones tropicales, donde la meteorización química ha sido intensa, se pueden formar acumulaciones de oxi-hidroxidos de hierro y aluminio formándose así las lateritas y bauxitas.

• Rocas fosfatadas

Muy escasas, compuestas por fosfatos de calcio, que aparecen en el seno de otras rocas y que ocasionalmente forman estratos. En este segundo caso, su explotación comercial es muy interesante, ya que pueden extraerse grandes volúmenes.

Su origen se debe a la acumulación de restos de vertebrados (huesos, dientes, excrementos), tanto en medios continentales como marinos. Entre éstas se encuentra el guano que se origina en las islas del Pacífico a partir de restos de aves. En el Sáhara existe uno de los principales yacimientos de este tipo de rocas.

➤ ROCAS ORGANÓGENAS

Se forman por la acumulación de plantas superiores en regiones pantanosas, lagunares o deltaicas. Son regiones inundadas durante mucho tiempo, con gran desarrollo de vegetación y que una subsidencia posterior recubre éstos de otros materiales impermeables. Se produce así su aislamiento de la atmósfera.

La acción de bacterias anaerobias produce el desprendimiento de CO₂ y metano formando carbón que, posteriormente, por diagénesis se convertirá en los sucesivos carbones naturales: *turba, lignito, hulla y antracita*.

Además tenemos los hidrocarburos naturales que se pueden presentar sólidos (betunes), líquidos (petróleo) y gaseosos (gas natural). Tienen su origen en el plancton que si se sedimenta en fondos de mares sin oxígeno, en aguas quietas, mezclado con sedimentos, puede transformarse por la acción de bacterias anaerobias y diagénesis en hidrocarburos.

Lección 5

1.-PROCESOS METAMÓRFICOS.

Rocas metamórficas: rocas endógenas que provienen de otras preexistentes por cambios *texturales, estructurales o mineralógicos* producidos por un incremento de la presión y/o temperatura.

Los cambios se producen para adaptarse a las nuevas condiciones termodinámicas de presión y temperatura y constituyen los procesos metamórficos o metamorfismo. Aunque presenta límites difusos, se calcula que empieza por encima de los 2 kilobares de presión y los 200 °C de temperatura. Ya por encima de los 800-900 °C empieza la anatexia.

El metamorfismo se realiza por sucesivos cambios de fase con desaparición de formas ya inestables y la aparición de otras nuevas en equilibrio con el medio, o por recristalizaciones de los minerales originales de la roca que aumentan de tamaño. Los cambios de fase pueden implicar transformaciones polimórficas.

- **Transformaciones isoquímicas.** Muchas rocas sufren estas transformaciones metamórficas sin cambiar su composición global.
- **Metamorfismo aloquímico.** En otros casos en cambio hay pérdida o ganancia de material. Implica una adición de materia a partir de soluciones circulantes de composición y procedencia variadas.

En los procesos metamórficos la formación de nuevos minerales se denomina **blastesis**.

- **Factores del metamorfismo:** los principales son el incremento de la temperatura y la presión y en menor medida el esfuerzo tectónico y la presencia de fases fluidas.

❖ Temperatura

- Es una *medida del calor interno de la tierra* y su valor crece con la profundidad.
- El gradiente geotérmico es de 30 °C/km en los primeros km de profundidad, aunque no es lo mismo en todos los lugares: **máximo en las dorsales oceánicas** y en las zonas volcánicas **y mínimo en las fajas oceánicas y en las zonas alejadas de las placas litosféricas.**
- Su aumento también puede proceder de la presencia de magmas y del calor liberado como consecuencia de procesos orogénicos.

Los efectos de su aumento son:

- **La solubilidad** de los minerales en agua (a excepción del yeso) y la velocidad de las reacciones químicas aumenta.
- Ciertos minerales se hacen **inestables y se rompen** para formar otros nuevos, con estructuras más abiertas (blastesis).
- Debido a las disoluciones y cristalizaciones se produce un **aumento de la cristalinidad** de la roca Química.

❖ Presión

- **Aumenta con la profundidad** de forma paulatina y constante hasta la base del manto y es debida al peso de los materiales acumulados.
- Esta es la **presión litostática** y se expresa en kilobares (1 bar = 1 km/cm² = 1 atmósfera).

El efecto que produce:

-Es favorecer la **formación de minerales más densos**, de modo que las rocas metamórficas de niveles más profundos son más densas que las producidas en medios más superficiales.

❖ Esfuerzo o presión dirigida o tangencial

- Ocasionado como **consecuencia de compresiones tectónicas** en procesos orogénicos o movimientos de zonas de la corteza terrestre.
- Influye sobre todo en la **textura** de las rocas.

Efectos:

- **Trituración de los minerales** que componen la roca, reduciendo su tamaño. Asimismo, se produce el desarrollo de fracturas, pliegues o la orientación de muchos minerales con lo que se produce una esquistosidad de la roca.
- Estos primeros efectos en la roca (reducción de tamaño de grano, presencia de fracturas, etc.), **umentan la posibilidad de reacciones químicas**: se incrementa la solubilidad y se facilita el movimiento de soluciones que posibilitarán las recristalizaciones.

➤ Los cambios físico-químicos que tienen lugar durante el metamorfismo pueden ser...

a. Brechificación.

- **Los materiales se trituran** y como consecuencia varía la textura de la roca originando una disminución del tamaño de grano.
- **No** hay variación mineralógica.
- Se produce como consecuencia de una presión dirigida o esfuerzo: **fallas, mantos de corrimiento, deslizamientos, etc.**
- Si el esfuerzo es grande puede haber cierta **liberación de calor** que produciría algunas reacciones entre minerales en pequeña intensidad.

b. Reorientación.

- Los minerales **reaccionan frente al esfuerzo** orientándose según la dirección de mínima resistencia.
- Si son laminares tienden a situarse en **planos paralelos**. Si son alargados, con sus ejes mayores paralelos.
- Se desarrolla una **esquistosidad** caracterizada por una **linearidad u hojiosidad**.

c. Deshidratación.

- **Pérdida de agua intergranular** en primer lugar y agua estructural de muchos minerales a continuación.
- Ocurre por un incremento de la temperatura.

d. Recristalización.

- **Por encima de los 300 °C** los cristales adquieren mayor movilidad y tienden a reagruparse de forma que aumenta el tamaño de grano y la cristalinidad de la roca. Hay disoluciones y recristalizaciones.
- Ocurre por un incremento de la temperatura.

e. Reajustes mineralógicos.

- **Proceso de blastesis** o formación de nuevas fases cristalinas como consecuencia de las reacciones químicas **sólido-sólido** entre los diferentes componentes de la roca.
- Se trata de transformaciones que **para llegar al equilibrio** necesitan millones de años.
- Fundamentalmente por incremento de la temperatura, aunque en ocasiones la presión también puede intervenir.

➤ Metasomatismo.

Transformaciones que *tienen lugar por la influencia de fases fluidas procedentes del exterior de la roca*, bien que provienen del magma o de zonas de metamorfismo intenso. Se trata de soluciones *neumatolíticas* (vapor de agua y otros gases a temperaturas superiores a la crítica del agua) *o hidrotermales* (en fase líquida). Se trata de un *metamorfismo aloquímico* que supone altas condiciones de metamorfismo. Debido a la temperatura y presión.

2.-TIPOS DE METAMORFISMO.

En función de las *condiciones termodinámicas*, o de los factores que intervengan principalmente, se dan tres tipos:

1. Dinamometamorfismo o metamorfismo de presión.

- *El factor que influye es el esfuerzo o presión* dirigida que se origina por los movimientos de bloques de la corteza terrestre debidos a fallas o deslizamientos. Se producen cambios que afectan a la textura de las rocas con la aparición de pliegues y otras estructuras menores.
- En los minerales pueden aparecer *maclas*; no habiendo en general cambios mineralógicos.
- Las rocas formadas por este tipo de metamorfismo se denominan genéricamente *rocas cataclásticas*, entre las que se incluyen las brechas tectónicas y las milonitas.
- Si la intensidad del esfuerzo es mayor puede producirse un aumento local de la temperatura, con la *aparición de algún mineral nuevo*.
- *No* se incluyen *las presiones litostáticas* debido a que éstas, o bien van vinculadas a presiones dirigidas, o tienen incrementos suficientes de temperatura para incluirse dentro del metamorfismo regional.

2. Metamorfismo térmico.

- *El factor predominante es el aumento de la temperatura*, sin aumento considerable de la presión.
- Se produce más comúnmente *por el contacto de una roca con una masa magmática*.
- Se denomina también *metamorfismo de contacto* y la zona de rocas más próximas al plutón son las que sufren las transformaciones mayores, constituyendo la aureola de contacto.
- De forma genérica las rocas originadas se conocen como *rocas corneanas o cornubianitas*.
- Los cambios que han tenido lugar son: *disoluciones y recristalizaciones, reajustes mineralógicos y formación de nuevas fases cristalinas (blastesis)*. La consecuencia es una roca con *gran cristalinidad y sin texturas orientadas*.
- Como ejemplos tenemos *la cuarcita y el mármol*; la primera a partir de una roca arcillosa y la segunda a partir de una caliza (ambas son las que muestran más claramente este metamorfismo).

3. Metamorfismo regional o dinamotérmico.

- **Producido por un aumento simultáneo de la presión y la temperatura** y afecta a áreas muy extensas (y durante largos periodos de tiempo) como los **geosinclinales**.
- El aumento de la presión se debe principalmente a **la presión litostática**, tanto mayor cuanto mayor sea la profundidad. También pueden influir **presiones orogénicas** que originarán esfuerzos que afecten a la textura de la roca.
- Puesto que la profundidad de los materiales acumulados varía, las condiciones termodinámicas también lo hacen, de modo que se establecen tres grados: **metamorfismo regional de bajo grado, grado medio y alto grado**.
- Éste último afectará a las rocas más profundas en *el geosinclinal* y son frecuentes aquí los procesos de metasomatismo.
- La aparición de nuevas fases minerales dependerá de la composición de la roca madre y del grado de metamorfismo, así como la esquistosidad de la roca dependerá de la presencia de esfuerzos tectónicos.

➤ Metamorfismo de alta presión.

- Dentro del regional **una variedad con las condiciones de alta presión y baja temperatura**.
- **Se produce en la zona de subducción situada en la fosa oceánica** (la corteza oceánica penetra debajo de la corteza continental).
- La elevada presión se debe a la enorme energía mecánica desarrollada en esta zona de convergencia de placas.

➤ Metamorfismo profundo.

- Se puede considerar un caso particular o extremo del regional en el que **predomina la presión litostática y la alta temperatura**, y la presión orientada es nula.
- Se da en fosas profundas en las que la **carga de sedimentos acumulados es muy grande**.
- La textura de estas rocas es similar a la de las rocas ígneas ya que *no presentan esquistosidad*.
- Estas rocas *raramente aflorarán a la superficie* a no ser que grandes movimientos de la litosfera tengan lugar.
- Una roca formada por este metamorfismo es la **eclogita, con onfacita y granate como minerales característicos**.

Si la presión y temperatura aumentan todavía más.

- Empiezan a moverse grandes cantidades de materia y aparece una fase fluida importante y por encima de los 800-900°C empezará la fusión, dependiendo del tipo de roca.
- En este intervalo se forman **rocas híbridas** entre las ígneas y las metamórficas que son **las migmatitas**.
- Tras la *anatexia* darán lugar a *rocas ígneas*.

3.-FACIES METAMÓRFICA. PRINCIPALES ROCAS METAMÓRFICAS

Una roca pertenece a una facies metamórfica cuando los minerales que la forman se han formado o son estables dentro de un determinado intervalo de presión y temperatura. Por tanto la componen un conjunto de rocas que han sido formadas en las mismas condiciones de metamorfismo. El autor finlandés Eskola, estableció hasta 8 facies diferentes, las cuales han sido ligeramente modificadas o aumentadas por otros autores. Éstas son:

1. **Zeolitas:** baja presión y temperatura.
2. **Esquistos verdes:** metamorfismo regional bajo o medio.
3. **Anfibolitas:** metamorfismo regional medio-alto.
4. **Granulitas:** metamorfismo regional de alta temperatura.
5. **Esquistos con glaucofana:** metamorfismo regional de alta presión.
6. **Eclogita:** metamorfismo de profundidad.
7. **Corneanas hornbléndicas, corneanas piroxénicas y saniditas:** metamorfismo térmico.

➤ PRINCIPALES ROCAS METAMÓRFICAS

Son extraordinariamente variadas, porque en la naturaleza existe una gran cantidad de rocas *sedimentarias, plutónicas, volcánicas, e incluso metamórficas formadas en otros ciclos geológicos anteriores*, que pueden experimentar metamorfismo en grados diversos, resultando en consecuencia, rocas muy distintas unas de otras.

De este modo lo más sencillo es relacionar los tipos de roca metamórfica originados, con cada una de los tipos de roca primitiva. Así tenemos:

❖ ROCA ÍGNEA

Ácida ← gneis ← granulita

Básica ← anfibolita ← granulita ← eclogita

❖ ROCA SEDIMENTARIA

• Detrítica

Roca arcillosa ← pizarra ← filita ← esquistos ← (micasquistos) ← gneis ← granulita

Arenisca ← cuarcita ← cuarcita esquistosa ← esquistos ← micaesquistos ← micacita

• De precipitación

Roca carbonatada ← mármol ← serpentinita (en presencia de Mg)

Roca silíceas ← cuarcita ← cuarcita esquistosa ← esquistos ← micaesquistos ← micacita

• Organógena

Carbón y petróleo ← grafito

❖ ROCA MIXTA (PRECIPITACIÓN, DETRÍTICA)

Marga ← calcoesquistos ← anfibolita

Según el tipo de metamorfismo tenemos:

- **Dinamometamorfismo.** Rocas cataclásticas (brechas tectónicas y milonitas).
- **Metamorfismo térmico.** Rocas corneanas (cornubialitas albítica, hornbléndica y piroxénica), mármol y cuarcita.
- **Metamorfismo regional.**
 - **Bajo grado** (pizarra, filita).
 - **Grado medio** (esquistos, cuarcita, mármol, anfibolita).
 - **Alto grado** (gneis, granulita, anfibolita).
- **Metamorfismo de profundidad.** Eclogita.

Visu minerales

CLASE I: ELEMENTOS

Cobre: Cu



➤ *Blenda acaramelada*



Azufre: S



➤ *Blenda ferrilifera*



Grafito: C



*Calcopirita: CuFeS



Galena: PbS



Rejalgar: AsS



Cinabrio: HgS



*Oropimente: As S



CLASE III: HALOGENUROS

*Pirita cristalizada: FeS



Halita: NaCl



Silvina: KCl



*Fluorita: CaF

➤ *Fluorita espática*



➤ *Fluorita espática*



CALSE IV: ÓXIDOS E HIDRÓXIDOS

*Magnetita: Fe O , FeO (Fe O).



*Corindón: Al O



*Hematites (oligisto): Fe O



*Casiterita: SnO



Goethita: FeO(OH)



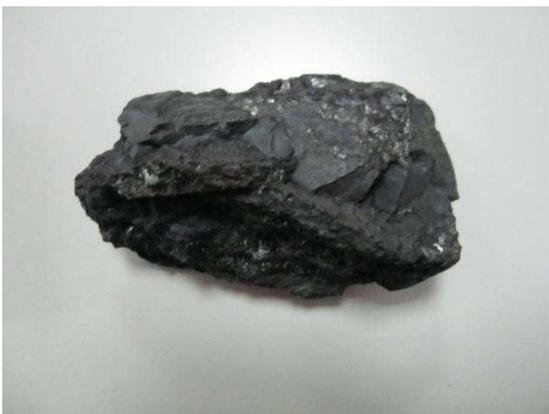
*Pirolusita: MnO



*Limonita: FeO(OH), nH₂O.



*Pirolusita: MnO



CLASE V: NITRATOS, CARBONATOS Y BORATOS

*Siderita: FeCO₃



*Calcita: CaCO_3

➤ *Calcita cristalizada*



*Dolomita: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$



➤ *Espato de Islandia*



*Aragonito: CaCO_3



➤ *Calcita espática*



*Azurita: $\text{Cu}(\text{CO}_3)(\text{OH})$



*Malaquita: Cu CO (OH)

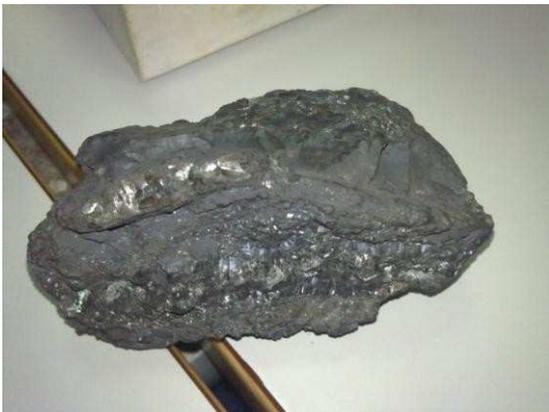


**CALSE VI: SULFATOS, CROMTAOS,
MOLIBDATOS Y WOLFRAMATOS**

*Baritina: BaSO



*Celestina: SrSO



*Yeso: $\text{CaSO} \cdot 2\text{H O}$

➤ *Rosa del desierto*



➤ *Yeso cristalizado*



➤ *Yeso rojo*



CLASE VII: FOSFATOS, ARSENIATOS Y VANADATOS

*Apatito: $\text{Ca}(\text{PO}) (\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$



CLASE VIII: SILICATOS

1. Neosilicatos

Olivino



Granate



2. Sorosilicatos.

No se observan ningún ejemplar

3. Ciclosilicatos

Berilo



Turmalina



4. Inosilicatos

a) Piroxenos

Augita



b) Anfíboles

Hornblenda



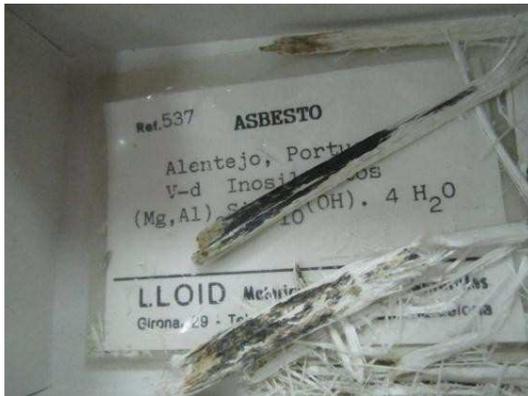
Talco



6. Tectosilicatos

a) Grupo de la sílice

Actinolita (Asbesto es su forma fibrosa)



Cuarzo



5. Filosilicatos

Caolinita



Calcedonia



Ágata



Ópalo



b) Feldespatos

Sílex



Ortosa



Jaspe



Microclina



Visu rocas

ROCAS ÍGNEAS

Familia del Granito-Riolita

- ❖ **Granito**: Blanco, negro y gris, más o menos brillante.



- ❖ **Riolita**: parece cemento de color oscuro.



- ❖ **Pumita**: muy ligera, no tiene brillo, blanca y muy porosa.



Familia de la Sienita-Traquita

- ❖ **Sienita**: color carne con pintas negras.



- ❖ **Traquita**: color carne más oscuro con cristales brillantes y algunas pintas negras y de color carne más oscuro.



Familia Andesita-Diorita

- ❖ **Diorita**: se parece al mármol de la encimera de toda la vida de Dios, es negra y blanca.



- ❖ **Andesita**: parece cemento de color claro con pintas negras.



Familia Gabro-Basalto

- ❖ **Gabro**: se parece al carbón de reyes, pero tiene pintas blancas.



- ❖ **Basalto**: parece como un imán partido, tiene algunos poros definidos, es gris y pesado.



- ❖ **Obsidiana**: muuuy brillante, pesada y de un color muy negro.



- ❖ **Diabasa u Ofita**: su exterior es verdoso y es más oscura en el interior.



Familia de las peridotitas

- ❖ **Peridotita**: corteza de color marrón oscuro, interior brillante de color oscuro y con pintas blancas.



❖ Arenisca Roja



- ❖ **Arcilla**: pinta el papel, marrón y huele a tierra húmeda, tacto suave.

ROCAS SEDIMENTARIAS

Rocas detríticas

- ❖ **Conglomerado**: piedras rojizas y oscuras compactadas.



- ❖ **Marga**: gris, aplanada, ligera y la de Amelie.

- ❖ **Arenisca**: compactación arenosa, tacto granuloso, es arena cementada. Hay dos tipos:

- **Arenisca**



Rocas de Precipitación

❖ Calizas

- **Caliza Nunmulita:** la de los fósiles, es como un conglomerado y de color marrón.



- ❖ **Caliza concrecionada:** cristalizada, y abanderada, se raya con la uña, color marrón de distintos colores.



- ❖ **Dolomía:** es pesada, de lo más normal, y gris.



- ❖ **Travertino:** muuuuuuy porosa, parece una esponja de mar con barro de color marrón.



- ❖ **Diatomita ó Trípoli:** ligerísima, pinta el papel, de color gris, es parecido en peso al cartón piedra.



- ❖ **Radiolarita:** Negra con cristalizaciones marrones y estriada, muy consolidada.



- ❖ **Yeso:** marrón blancuzco con tiras blancas y marrones.



- ❖ **Bauxita:** conglomerado de cosa roja con circulitos rojos más oscuros.



Rocas organógenas

- ❖ **Turba:** muy porosa, negra, ligera y se deshace.



- ❖ **Lignito:** pinta en el papel, raspa, de color negro brillante pero no mucho y ligera.



- ❖ **Antracita:** ligera, negra, muy brillante y pinta pero menos k el Lignito.



ROCAS METAMORFICAS

Metamorfismo Regional

- ❖ **Pizarra**: se parte fácil, y es muy lisa (la del estanque).



- ❖ **Miacita**: color cobre, pintas de color gris metalizado y el resto es negro, es finita y el exterior (corteza) blancuzco.



- ❖ **Esquisto moteado**: algo más rugosa que la pizarra, negro (también estanque).



- ❖ **Gneis**: Gris que parece verde pero no lo es, con pintas blancas y en los laterales tiene estrías.



Metamorfismo de contacto-regional.

- ❖ **Cuarcita:** Exterior con partes cristalizadas, interior, colores de blanco, grisáceo y marrón.



- ❖ **Serpentina:** verde muy oscuro con tiras o estrías de verde más claro.



- ❖ **Mármol:** pesa, es blanco y muy brillante.



Metamorfismo de profundidad

- ❖ **Ecogrita:** Color oscuro con pintas redondeadas de color marrón, tiene distintos tonos de oscuro.

