

Unitat 4

El magmatisme.

Les roques ígnies més importants.

1. Los magmas origen y formación
2. Evolución de los magmas. Su transformación en rocas ígneas

Cristalización magmática

Diferenciación magmática

Asimilación y mezcla de magmas

3. Les roques ígnies

Composició química

Composició mineralògica

Classificació

1. Los magmas. Origen y formación

El magmatismo es un proceso geológico de origen interno que tiene lugar cuando la variación de presión y temperatura que experimenta una roca preexistente propicia la fusión total o parcial de sus componentes.

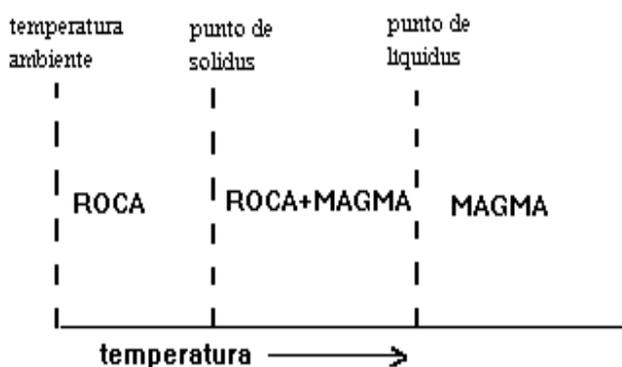
Con la fusión se forma *el magma*, que es una masa líquida pastosa, de composición silicatada (Si, O, Al, K, Ca, Na, Fe, Mg), en la que puede haber porciones de roca sin fundir y una proporción importante de gases y vapores en disolución (que tienen una gran influencia en su movilidad).

De acuerdo con la composición química, los magmas se clasifican en:

- a) *Magmas ácidos*: Con un porcentaje muy alto de sílice (Si O₂) en su composición química (>65%). La temperatura de fusión de sus materiales es baja (entre 700 y 900°C)
- b) *Magmas básicos*: Magmas con un contenido menor de sílice (55-45%), y una temperatura de fusión alta (entre 1200 y 1300°C)
- c) *Magmas intermedios*: Composición y características intermedias entre los dos anteriores (65-55% de Si O₂).
- d) *Magmas ultrabásicos*: Cuando la escasez de sílice es muy acentuada (<45%)

La viscosidad de un magma aumenta con la acidez y con la escasez de volátiles. Los magmas más básicos y más ricos en gases son más fluidos y se desplazarán, por tanto, a mayores velocidades.

La temperatura en que empieza la fusión de una roca (fusión de los minerales de punto de fusión menor) se denomina *punto de solidus*. El punto de fusión total de la roca, en que funde el mineral o con el punto de fusión más alto se denomina, *punto de líquidus*.



El punto de sólidos de un magma depende fundamentalmente de la temperatura y de la presión que soporta la roca (a mayores presiones corresponden puntos de fusión más altos). Además, influye de modo notable la presencia o no de agua en el medio: una adición de agua provoca una disminución del valor del punto de sólidos o, en otras palabras, permite la formación del magma a temperaturas inferiores. La presencia de compuestos volátiles rebaja también el punto de fusión de los minerales del magma.

El porqué se forman los magmas está relacionado con cambios puntuales en la termodinámica del interior del planeta. Tres son los factores desencadenantes de la génesis de una masa magmática:

- Aumento de la temperatura de la masa de roca.
- Disminución de la presión que soporta la masa rocosa
- Presencia de agua y compuestos volátiles.

El punto de fusión de una roca aumenta también con la profundidad (sencillamente porque, al fundir una roca, su volumen aumenta y necesita apartar las rocas vecinas; esto requiere una energía adicional, tanto mayor cuanto mayor sea la presión que ejerzan dichas rocas, presión que crece con la profundidad)

Curva de sólidos

Un magma puede fundir:

1. al aumentar la temperatura,
2. al disminuir la presión.

La curva de solidus puede diferir para la misma roca en función de su contenido en agua.

Curva del solidus del basalto

Aumento de la temperatura en profundidad

Sobre los 70 Km el basalto empieza a fundir. Sobre los 200 Km vuelve haber basalto sólido.

Zona de fusión parcial del basalto (magma basáltico).
Determina una zona del manto que es la Astenosfera.

2. Evolución de los magmas. Su transformación en rocas ígneas

Una vez formado un magma, este tiende a ascender. El ascenso de una masa magmática trae como consecuencia su enfriamiento y su solidificación, formando el conjunto de rocas llamadas en general **rocas ígneas o magmáticas**.

Las rocas ígneas se clasifican en tres categorías según el lugar y el modo donde ocurre la solidificación del magma:

A) **ROCAS PLUTÓNICAS O INTRUSIVAS**: Formadas por un proceso de enfriamiento en zonas más o menos profundas de la corteza, con una velocidad muy lenta. Se originan así una serie de rocas bien y totalmente cristalizadas (la cristalización en estas condiciones puede durar del orden de millones de años). Son rocas caracterizadas por texturas granudas, de grano medio-grueso.

B) **ROCAS VOLCÁNICAS O EXTRUSIVAS**: Se originan cuando el proceso de enfriamiento es rápido, bien porque el magma ha salido directamente a la superficie o porque ha llegado suficientemente cerca de ella en su proceso de ascenso. El tiempo de formación de la roca es corto, y la cristalización de los minerales es, en consecuencia, deficiente. Las texturas típicas de estas rocas, porfídicas y parcialmente vítreas.

C) **ROCAS FILONIANAS O SUBVOLCÁNICAS**: La solidificación se produce cerca de la superficie de la tierra, de una manera relativamente rápida y el magma ocupa grietas y fracturas (diques, filones, sills, lacolitos, etc.). Las características de cristalización son intermedias. Texturas porfídicas, de grano medio.

Las rocas formadas por el proceso de solidificación del magma no son iguales que la roca que originó el fundido. La razón es que la mayoría de los magmas no llegan a la superficie directamente, sino que permanecen alojados en **cámaras magmáticas** durante largos períodos de tiempo y llevan a cabo un lentísimo ascenso hacia el exterior. En este tiempo los magmas no permanecen invariables, sino que experimentan cambios en su composición química como consecuencia de procesos de *diferenciación, asimilación o mezcla de magmas*; ello justifica que se pueda hablar de una verdadera evolución de los magmas entre el momento de su génesis y el de su transformación en rocas ígneas.

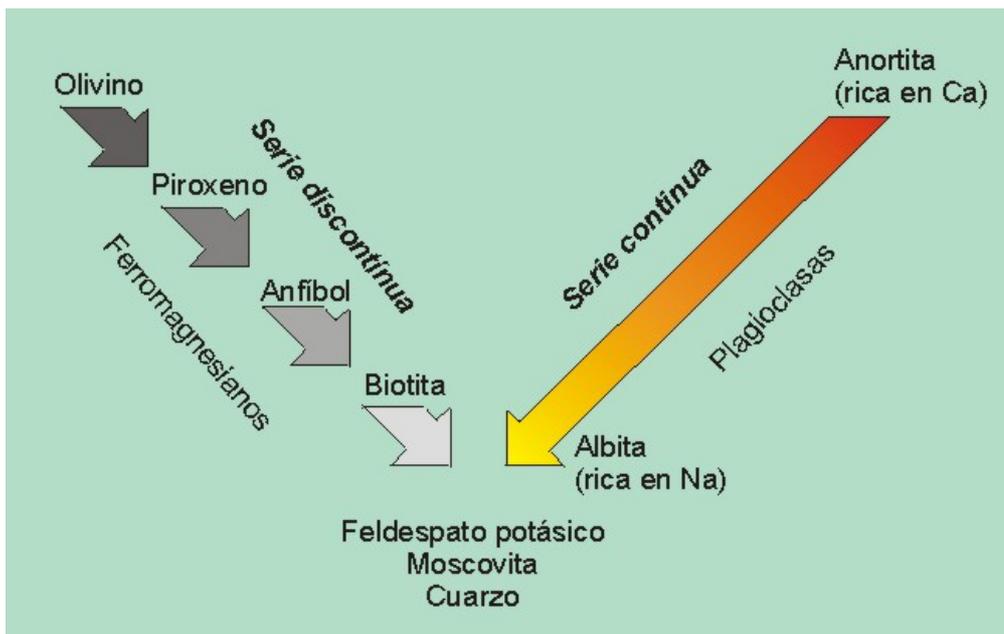
Cristalización magmática

La solidificación de un magma es fundamentalmente un proceso de cristalización. Un mineral es estable sólo en determinadas condiciones de presión y temperatura, por tanto, como a medida que un magma asciende y se enfría, varían las condiciones de P y T, también varían las condiciones de estado de sus componentes y se forman cristales de minerales distintos para cada intervalo de P y T. En otras palabras, no todos los minerales del magma cristalizan a la vez, sino unos a continuación de otros a medida que van variando presión y temperatura. Se dice por ello que la **cristalización del magma es fraccionada**.

En primer lugar cristalizan los minerales con puntos de fusión mayores, estos minerales estarán en equilibrio físico-químico con el fluido que les rodea y serán, en esas condiciones, estables. Al seguir disminuyendo la temperatura, este equilibrio se rompe, y los minerales primeramente formados tenderán a reaccionar químicamente con el fluido circundante, alterándose de este modo la composición tanto de la fracción cristalizada como de la fracción fluida residual. Se establece así un proceso de reacción continua entre los componentes líquido y sólido del magma, en cuyo transcurso se van formando minerales con puntos de fusión progresivamente menores que sustituyen, total o parcialmente, a los ya formados.

Denominamos *serie de reacción* la relación de minerales que aparecen sucesivamente en el proceso de cristalización de un magma.

La serie de cristalización de Bowen, nos muestra el orden de cristalización de los distintos silicatos conforme disminuye la temperatura de un magma. La serie de reacción de Bowen se puede subdividir en dos ramas: la denominada *rama discontinua* (minerales ferromagnesianos), y la *rama continua* (serie de las plagioclasas), que convergen en un tronco común, que corresponde a la cristalización del feldespato potásico (ortosa), la moscovita y finalmente cuarzo, siempre los últimos en cristalizar. La mayor o menor evolución de la serie depende, lógicamente, de la composición inicial del magma.



Los minerales ferromagnesianos (ricos en Fe i Mg) se dice que forman una serie discontinua, porque a medida que se pasa de un intervalo de presión y temperatura a otro, desaparece un mineral y aparece el siguiente, sin formas intermedias, las transformaciones implican cambios en la estructura cristalina. Estos minerales cristalizan en un rango de temperaturas alto. Por el contrario, la serie de las plagioclasas se dice que forman una rama continua entre la anortita y la albita, porque sus minerales no se sustituyen bruscamente, sino mediante formas intermedias isomorfas, con transición gradual de unos a otros por sustitución de iones en la estructura cristalina, que es invariable. Cristalizan también en un intervalo de temperaturas altas - medias. Finalmente, la ortosa, la moscovita y el cuarzo, son los minerales que cristalizan a menor temperatura. Estos minerales contienen una mayor proporción de Al, K, Ca y Na, que de Fe y Mg

Para un determinado intervalo de presión y temperatura, ciertos minerales coexisten y cristalizan juntos formando los distintos tipos de rocas ígneas.

Diferenciación magmática: magmas primarios y derivados

Un fenómeno de gran importancia en la génesis de las rocas magmáticas, consecuencia de la cristalización fraccionada del magma, es la **diferenciación magmática**, o sea, la evolución de diferentes magmas a partir de uno inicial o primario, de naturaleza basáltica. A medida que se va produciendo la cristalización, los magmas van cambiando de composición. La diferenciación magmática ocurre cuando tiene lugar, por distintas razones, una separación física de la fase fluida y de la cristalizada de una masa magmática. Al separarse ambas fases, cada una de ellas forma rocas completamente distintas entre sí y también diferentes del magma inicial.

Como dentro de un magma los primeros cristales en separarse son los de naturaleza más básica, que presentan puntos de fusión más altos, la fracción sólida del magma dará lugar a un tipo de roca más básico que el magma inicial y el fluido residual formará, en el momento en que cristalice, una roca de características más ácidas.

¿Cual es el magma más diferente que podemos obtener a partir de uno basáltico?

Los últimos minerales en cristalizar son cuarzo, ortosa y mica, precisamente los que forman el granito, la roca más abundante en la corteza continental; podemos decir pues que el último residuo de un magma basáltico cristalizado en ciertas condiciones es un magma granítico. Es evidente que interrumpiendo el proceso de cristalización en distintos momentos, obtendremos magmas de composiciones intermedias entre la basáltica y la granítica. Los más importantes se detallan a continuación, junto con las rocas ígneas a que dan lugar:

Magmas	Rocas	
	Volcánicas	Plutónicas
Basáltico	Basalto	Gabro
Andesítico	Andesita	Diorita
Traquítico	Traquita	Sienita
Granítico	Riolita	Granito

Dos mecanismos fundamentales pueden explicar el fenómeno de diferenciación magmática:

a) *Diferenciación magmática por gravedad*: los cristales primeramente formados, más densos que la fracción líquida residual, tienden a concentrarse en el fondo de la zona donde se produce la consolidación magmática. Esto se traduce en una zonación vertical de las rocas ígneas que se forman en el seno de la cámara magmática en proceso de cristalización, desde más básicas en las zonas profundas hasta más ácidas en las zonas superficiales.

b) *Diferenciación magmática por fuerzas compresivas*: cuando un magma en proceso de cristalización resulta comprimido (como resultado de esfuerzos de naturaleza tectónica), el fluido residual, rico en componentes volátiles, tiende a escapar por fracturas y superficies de discontinuidad de las rocas encajantes. Esta fracción líquida emigrante puede cristalizar lejos de la cámara magmática original, dando lugar a rocas de carácter más ácido, mientras que la fracción cristalizada permanece "in situ" originando una roca ígnea de características básicas.

Asimilación y mezcla de magmas

Se trata de dos procesos que pueden tener una influencia muy considerable en la evolución de las masas magmáticas. Ambos implican la interacción con elementos ajenos al propio magma.

ASIMILACIÓN MAGMÁTICA: proceso por el que un magma, en su ascenso, funde parte de las rocas encajantes, las engloba y las asimila, modificando en consecuencia su propia composición química. Estas inclusiones dentro de una masa magmática reciben el nombre de enclaves o xenolitos.

MEZCLA DE MAGMAS: este proceso también ocurre con relativa frecuencia y puede modificar de manera muy importante la composición química de los magmas. El caso más frecuente es que en una cámara magmática ocupada por un magma ya diferenciado (magma secundario) se produzca una inyección de un nuevo magma primario que se mezcla con el anterior, lo que puede provocar una enorme liberación de volátiles por el aumento de presión y una gran explosión. Aunque es más difícil, también se puede dar mezcla de magmas sin relación genética, procedentes de diferentes magmas primarios.

3. Les roques ígnies

Composició química

- **SiO₂ (sílice):** és el component majoritari, la seva proporció és variable, entre el 35 i el 75%. Químicament les roques ígnies es classifiquen, d'acord amb el seu contingut en sílice, i de més a menys contingut, en: roques àcides, roques neutres o intermèdies, roques bàsiques i roques ultrabàsiques.
- **Al₂O₃ (alúmina):** és el component més abundant després de la sílice.
- **Òxids de Fe i Mg (Fe₂O₃, FeO, Mg):** el seu contingut augmenta progressivament a mesura que disminueix l'acidesa de la roca. Des de un 1% en roques àcides fins a un 20 % en roques bàsiques. En roques ultrabàsiques el percentatge encara és més gran i amb un clar predomini de MgO.
- **CaO:** mostra una variació paral·lela a la dels òxids de ferro i magnesi (major percentatge en roques bàsiques), tot i que sempre amb quantitats inferiors. En el cas de les roques ultrabàsiques però, la presència de Ca és ínfima o nul·la.
- **Òxids d'elements alcalins (Na₂O, K₂O):** mostren un comportament invers als anteriors: són més abundants en roques àcides.

Composició mineralògica

Les roques ígnies estan formades majoritàriament per minerals del tipus **silicats**.

Els minerals presents en una roca magmàtica es classifiquen, d'acord amb la seva abundància, en tres grups:

- a) *Minerals fonamentals:* amb una proporció superior al 5%. Aquest minerals defineixen el tipus de roca.
- b) *Minerals accessoris:* amb una proporció inferior al 5%. Apareixen freqüentment.
- c) *Minerals accidentals:* es troben en quantitats molt petites. No són freqüents.

Els minerals fonamentals es classifiquen, al seu torn, en dos grans grups:

- a) Minerals melanocrats, màfics o ferromagnesians: són minerals amb un baix contingut de sílice i un contingut important de Fe i Mg que els proporciona una coloració fosca i una alta densitat.

Els minerals melanocrats que més freqüentment apareixen en les roques ígnies són:

- Les **olivines** (com la forsterita i la fayalita i altres formes isomorfes intermèdies)
- Els **piroxens** (el més abundant és l'augita)
- Els **anfíbols** (el més abundant és l'hornblenda...)
- La **biotita** (mica negra)

- b) Minerals leucocrats o fèlsics: són minerals amb un alt contingut de sílice i un baix contingut de Fe i Mg. La seva coloració és clara i la seva densitat menor que els anteriors.

Els minerals leucocrats que més freqüentment apareixen en les roques ígnies són:

- La **moscovita** (mica blanca)
- **Feldespat potàssics:** ortosa i microclina
- Feldespats sòdico-càlcics o **plagiòclasi** (com l'anortita i l'albita, i altres formes isomorfes intermèdies)

- El **quars**
- Alguns **feldespatoïdes** (com la leucita i la nefelina)

Classificació de les roques ígnies

Els principals criteris de classificació són:

- a) *la composició mineralògica de la roca*, que ve donada per la proporció de minerals fonamentals i que ens determinarà el caràcter àcid o bàsic de la roca.
- b) *la textura que presenta la roca*, que ve donat per la velocitat de refredament del magma que dona la roca i que determina un origen plutònic, volcànic o filonià de la roca

D'acord amb el primer criteri, agruparem les roques ígnies en famílies que inclouen roques amb una composició química i mineralògica semblant. A cada família trobem components plutònics, volcànics i filonians que es diferencien entre ells per la textura.

