

TEMA 04: **Magmatismo. Las rocas ígneas más importantes.**

AUTOR: **Alberto Viñuela Miranda**

Se define el magmatismo como el conjunto de fenómenos de formación, actividad y productos del magma. Pero, dada esta definición, surge la pregunta lógica: ¿Cómo es posible que una sustancia homogénea pueda formar tal variedad de productos?

En realidad, esta pregunta contiene dos prejuicios en su planteamiento:

- En primer lugar, el magma no es una sustancia homogénea y sus composición puede ser muy variable. Es más correcto hablar de magmas.
- En segundo lugar, la diversidad de rocas ígneas no es muy grande; apenas hay una docena de tipos relevantes.

¿Qué son los magmas entonces? Son masas de roca fundida a alta temperatura.

Está formado por:

- **LÍQUIDOS**, en realidad sólidos fundidos. Abunda el ión silicato, con mayor o menor grado de polimerización en función de la temperatura. También aluminosilicatos, donde la sustitución de silicio por aluminio obliga a introducir cationes adicionales, principalmente de dos tipos:
 - **MÁFICOS**, como Mg^{2+} , Fe^{2+} y Ca^{2+} . "Máfico" alude a su contenido de magnesio y hierro.
 - **FÉLSICOS**, como Al^{3+} , Na^{+} y K^{+} . "Félsico" proviene de feldespato y silicio.

Su contenido suele indicarse como porcentaje de óxidos metálicos que acompañan al sílice.

- **GASES**, principalmente CO_2 y H_2O , que puede tener origen meteórico. También otros, destacando los sulfurados, como H_2S y SO_2 .
- **SÓLIDOS**, accesorios, normalmente cristales como espinelas y diamantes, pero también xenolitos: fragmentos de roca no fundida.

El origen de los magmas es la **ANATEXIA** o fusión de las rocas. Esta fusión es diferencial, por ser una sustancia policomponente, y los límites de la temperatura de fusión se conocen como "solidus" (inferior) y "liquidus" (superior).

Debido a esto, la fusión raramente es total, sino parcial, y por tanto selectiva. Cuanto menor es el porcentaje de fusión, mayor es la selección de iones, con preferencia por los LILE (Large Ion Lithophile Elements), destacando el K^{+} .

Existen tres mecanismos físico-químicos para la fusión estrechamente asociado a los regímenes tectónicos:

- **Aumento de la TEMPERATURA:** Aunque el más obvio, es el menos abundante por estar limitado sobre todo a los hotspots.
- **Disminución de la PRESIÓN:** Suele ocurrir en las dorsales oceánicas.
- **HIDRATACIÓN:** Propio de las zonas de subducción, donde la corteza oceánica y los sedimentos empapados llegan a bajar el punto de fusión hasta $400^{\circ}C$.

Debemos advertir, llegado este punto, sobre dos creencias erróneas comunes entre nuestros alumnos: Que el interior terrestre está formado por magma, y paradójicamente, que al mismo tiempo el vulcanismo es un fenómeno ultralocalizado.

Respecto a los tipos de magmas, obviamente relacionados con su origen, existen varios criterios de clasificación:

- **Porcentaje de ÓXIDOS**, ya mencionado, que permite distinguir entre magmas MÁFICOS y FÉLSICOS; pero hay que incluir también los ALCALINOS, ricos en K₂O y especialmente pobres en sílice.
- **Porcentaje de SÍLICE**. Si es menor de 45%, hablamos de magma ULTRABÁSICO. Si es mayor del 65%, de ÁCIDO. Entremedias tenemos el BÁSICO y el INTERMEDIO.
- **Grado DE DIFERENCIACIÓN**. Podemos hablar de PRIMARIOS si provienen directamente de la fusión de las rocas, y de SECUNDARIOS, si provienen de diferenciación de magmas previos. Entre los primeros, podemos también distinguir PRIMITIVOS o MANTÉLICOS y ANATÉCTICOS o CORTICALES, según su origen.

Respecto a su evolución de los magmas, es posible distinguir entre la fase OR-TOMAGMÁTICA o temprana, que ocurre a temperaturas superiores a los 700°C, y, en presencia de agua, las fases **NEUMATOLÍTICA**, por encima de la temperatura crítica de 375°C e **HIDROTERMAL**, por debajo.

Respecto a la diferenciación, podemos distinguir dos grandes tipos de procesos en función de la profundidad de origen:

- **SUBLITOSFÉRICOS**: Aunque poco conocidos en realidad, en ellos destaca la segregación de iones LILE.
- De **CÁMARA MAGMÁTICA**: Ocurren ya más próximos a la superficie, distinguiendo cuatro tipos de procesos:
 - **CRISTALIZACIÓN FRACCIONADA**: Norman Bowen en 1922 describió la secuencia de minerales, sus famosas series, que aparecen a medida que un magma se enfría:
 - * Primero aparecen las ESPINELAS, óxidos de aluminio y magnesio.
 - * Después, de manera simultánea se producen:
 - La SERIE CONTINUA o de las PLAGIOCLASAS, desde la anortita (Ca²⁺) hasta la albita (Na⁺), miscibles.
 - la SERIE DISCONTINUA, de minerales inmiscibles, formada por la secuencia, de menor a mayor polimerización: olivinos, piroxenos, anfíboles y biotitas.
 - * Por último, la SERIE RESIDUAL, de ortosa, moscovita y, finalmente, cuarzo.
 - ASIMILACIÓN CORTICAL, donde el magma incorpora rocas de la corteza, enriqueciéndose en SiO₂.
 - *MIXING*, mezcla de magmas.
 - *MINGLING*, mezcla y segregación.

Cuando estos procesos se repiten, hablamos de diferenciación polifásica, que conduce a diferenciación extrema.

Expuesto esto, podemos abordar el sistema de clasificación de magmas que unifica a todos las demás: El de las **SERIES MAGMÁTICAS**, que integra el origen, el régimen tectónico y la evolución y diferenciación de los magmas.

- **Serie TOLEÍTICA o SUBALCALINA.** Ocurre sobre todo en la astenosfera superior bajo las dorsales oceánicas, debido al descenso de presión. El resultado es un magma básico, pobre en K⁺ debido a su alto porcentaje de fusión, que sufre escasa diferenciación y tiene como producto final el MORB o *Mid Ocean Ridge Basalt*.
- **Serie ALCALINA.** Ocurre en la astenosfera profunda bajo zonas de hotspot, debido a la alta temperatura, y en origen es muy rica en K⁺ debido a la baja fusión parcial del magma.

Puede sufrir varios procesos consecutivos de diferenciación nula o extrema, tanto en el manto como en la corteza, escindiéndose en magmas POTÁSICOS y TOLEÍTICOS. Si existe contaminación cortical, típicamente en continentes, puede formar magmas EXÓTICOS de características más o menos impredecibles que producen las raras rocas feldespatoides.

- **Serie CALCOALCALINA.** Ocurre en zonas de subducción, a profundidad media, por fusión de corteza oceánica y sedimentos hidratados y sufre una alta diferenciación: El agua produce la precipitación de óxidos de hierro, aligerándolo, y la contaminación cortical lo enriquece en sílice, aumentando su viscosidad y su capacidad de retener gases.

Si la anatexia es baja y el proceso corto, el magma se vuelve ANDESÍTICO, con productos como la diorita (plutónica) y la andesita (volcánica).

Si la anatexia es alta y el proceso largo, el magma se vuelve RIOLÍTICO. No suele llegar a la superficie, formando plutones de granito. Pero cuando sí llega, su potencial eruptivo es inmenso debido a su alta viscosidad y contenido en gases. La roca extrusiva resultante es la riolita.

El vulcanismo es el fenómeno magmático más llamativo. El tipo de magma implicado, más o menos fluido y por tanto con menor o mayor capacidad de retención de gases, condicionará sus tipos.

Ordenando las erupciones de magma más básico a más ácido, podemos ordenarlas como:

- **HAWAIANA**, de tipo efusivo (no explosivo). La fluidez del magma favorece la formación de volcanes de escudo. Puede ocurrir en *hotspots* bajo islas y continentes, y las lavas típicas, usando palabras hawaianas, son la *aa* o escoriácea y la *pahoehoe* o cordada. En las dorsales oceánicas, la presión del agua fuerza la producción de lava almohadillada.
- **PELEANA**, de tipo explosivo, es típica de zonas de subducción y produce estratovolcanes con capas alternantes de lava y ceniza. La presión de los gases tiende a elevar pitones graníticos antes de la explosión y producir efusiones laterales. La erupción modelo fue la de 1902 del monte Pelée, en Isla Martinica.
- **PLINIANA O VESUBIANA**, similar a la anterior; pero mucho más violenta, produciendo flujos piroclásticos. Fue descrita por primera vez por Plinio el Joven en el año 79, cuando el Vesubio destruyó Herculano y Pompeya.

- **ULTRAPLINIANA O KRAKATOANA**, versión superlativa de la anterior. La erupción del Krakatoa en 1883 se estima en 350 megatones.

Otros tipos interesantes son:

- **FREATOMAGMÁTICA**, a poca profundidad bajo la superficie del mar, lagos o glaciares. El magma produce vapor causando explosiones.
- **STROMBOLIANA**, paradigmática de las lavas potásicas, muy fluidas. Está caracterizada por explosiones intermitentes de poca violencia.

En cuanto a las rocas ígneas, el producto del magmatismo, existen también varios sistemas de clasificación:

- Según la profundidad de formación, tenemos **INTRUSIVAS y EXTRUSIVAS** o VOLCÁNICAS. Las primeras se dividen en:
 - **PLUTÓNICAS**, si forman estructuras globosas en profundidad llamadas PLUTONES. Si el área que cubren es menor de 100km² hablamos de STOCKS. Si es mayor, de BATOLITOS.
 - **SUBVOLCÁNICAS, HIPOABISALES o FILONIANAS**, aunque este último término es minero. Si forman estructuras concordantes, hablamos de SILLS; si son discordantes, de DIQUES. Ambos pueden aparecer aislados o en enjambres. Los tipos de magma condicionan un tipo u otro y sus variantes.

La profundidad de formación suele tener relación con el tiempo de enfriamiento, y este determina la textura, que admite un análisis multidimensional.

Aquí destacaremos sobre todo la cristalinidad: Las rocas plutónicas tienden a ser HOLOCISTALINAS, con FENOCISTALES bien visibles. Las rocas volcánicas tienden a ser HOLOHIALINAS o VÍTREAS por su enfriamiento rápido.

La relación de tamaños entre cristales permite distinguir, dentro de las intrusivas, entre las EQUIGRANULARES, típicamente plutónicas, y las INEQUIGRANULARES, típicamente hipoabisales.

Las rocas inequigranulares pueden tener textura PORFÍDICA, de cristales rodeados por una matriz cristalina fina, o PEGMATÍTICA, de grandes fenocristales envueltos por otros más pequeños. Estas últimas suelen tener interés coleccionista.

Las rocas extrusivas tienen texturas exclusivas:

- **VACUOLAR**, con burbujas de gas.
- **TRAQUÍTICA**, con cristales de feldespatos alcalinos orientados según el flujo de la colada volcánica.
- **PIROCLÁSTICA**, por consolidación de cenizas volcánicas o TEFRA.

No obstante, la clasificación más popular es por su contenido en sílice, condicionado por el magma de origen, y que a su vez condiciona el contenido en iones y otras características como el color (de MELANÓCRATAS a LEUCÓCRATAS) o la resistencia a la alteración (Series de GOLDICH).

- **ULTRABÁSICAS o ULTRAMÁFICAS**: Con escaso sílice y abundancia de Fe²⁺, Mg²⁺ y Ca²⁺, son oscuras y fácilmente alterables. Destacan el OLIVINO, intrusivo, y la KOMATITA, extrusiva; aunque esta última es propia del Eón Arcaico y su atmósfera fuertemente reductora.

- **BÁSICAS o MÁFICAS:** Con mayor cantidad de sílice, destacan el GABRO, intrusivo, y el BASALTO, extrusivo. La DIABASA, DOLERITA o MICROGABRO es la versión hipoabisal.
- **INTERMEDIAS:** Destacan la DIORITA, intrusiva, y la ANDESITA, extrusiva.
- **ÁCIDAS o FÉLSICAS:** Abundantes en sílice y ricas en Al^{3+} , K^{+} y Na^{+} , su color tiende a ser claro. Destacan el GRANITO, intrusivo, y la RIOLITA, extrusiva. La APLITA es la versión hipoabisal.

A nivel académico, se utilizan sistemas estándar, como:

- El **Diagrama IUGS de Rocas Ultramáficas**, ternario, clasifica éstas según su contenido mineral.
- El **diagrama QAPF o de STRECKEISEN**, ternario o cuaternario, según se mire, identifica las rocas NO ultramáficas según su contenido en cuarzo (Q), feldespato alcalino (A), plagioclasas (P) y feldespatoideos (F).
- A pesar de su antigüedad, sigue siendo usado el **Diagrama TAS**, o Total Álcali-Sílice. De tipo binario, clasifica las rocas por su contenido en óxidos.

El estudio del magmatismo y de las rocas ígneas no solo tiene un gran interés científico al permitir comprender las dinámicas internas y corticales del planeta, sino que también tiene implicaciones prácticas en la industria, la minería y la construcción.

Y es que estos conocimientos son fundamentales para la extracción de recursos minerales, la identificación de materiales adecuados para la construcción y la comprensión de los riesgos geológicos asociados con la actividad volcánica.

En definitiva, el estudio de las rocas ígneas es fundamental tanto desde un punto de vista teórico como práctico.