



ROCAS ÍGNEAS

Lic. Héctor R. Fraga, Ing. Marcelo H. Polare
y Lic. Mariela Antola

2017

Departamento de Ciencias Geológicas "Prof. Dra. Pierina Pasotti"
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario

ROCAS ÍGNEAS

1. Definición de Rocas

Se define como roca a una asociación natural de minerales de una misma especie o de distintas especies. En base a esta definición se puede realizar una primera clasificación de las rocas; si una roca está formada por minerales de una misma especie, es una roca simple, en cambio, si una roca está formada por minerales de distintas especies, será una roca compuesta.

1.1. Ciclo de las Rocas - Clasificación según su génesis

Las propiedades de las rocas, su estructura y la forma en que se presentan en la corteza terrestre dependen del medio en que se han originado y de los factores del mismo que las han afectado con posterioridad. Según este parámetro, existen tres grupos: **rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas**, cuyos procesos de formación están bien definidos.

Las rocas pueden ser muy variadas. El **Ciclo de las Rocas** (Figura 1) que lleva a su formación ha estado repitiéndose por millones de años y de este solo podemos observar sus productos: las rocas que existen hoy. Los procesos de formación de las rocas en la Tierra seguirán funcionando en el tiempo, variando estos en duración y/o intensidad.

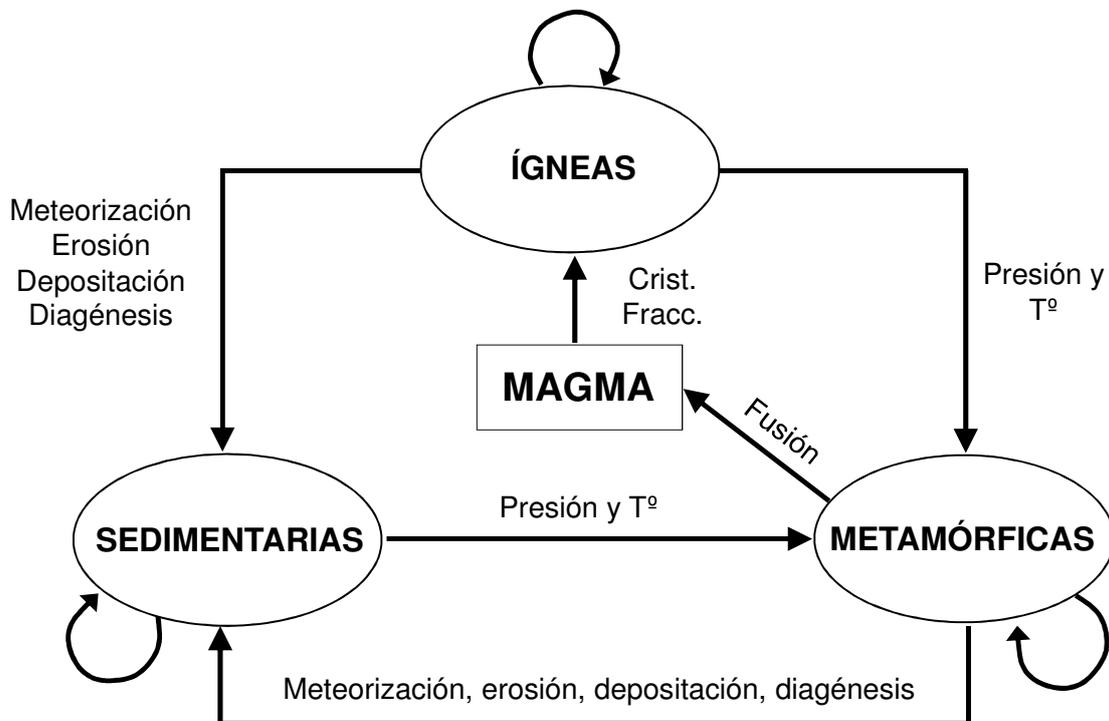


Figura 1: Ciclo de las Rocas

El ciclo de las rocas se podría iniciar con las rocas **ígneas** (del latín *ignius*, “fuego”) que se originan a partir de un líquido compuesto principalmente por roca fundida, gases disueltos y cristales en suspensión, al que llamamos **magma**. Este se abre camino hacia arriba y a medida que asciende por la corteza se va enfriando dando origen por **cristalización fraccionada** a los minerales que forman las rocas ígneas **intrusivas**.

Por su parte, cuando el magma asciende va perdiendo los gases que contiene transformándose en **lava** que se derrama sobre la superficie de la corteza terrestre; esta puede fluir y enfriarse rápidamente al exponerse a la temperatura ambiente, formando las rocas ígneas **efusivas**.

En la superficie o cerca de ella, las rocas preexistentes (ígneas, sedimentarias o metamórficas) sufren la acción de agentes externos como el agua, el oxígeno, el anhídrido carbónico y los cambios de temperatura. El proceso colectivo de desagregación y/o alteración de las rocas como consecuencia de la acción de estos agentes se denomina **meteorización**.

Cuando las rocas a causa de la meteorización se han reducido a un material suelto, quedan expuestas a su transporte por el agua, el viento o el hielo, a este proceso se lo denomina **erosión**. Si son movilizados se **depositan** nuevamente, dando origen a las rocas **sedimentarias sueltas**. Estas últimas por un proceso de **diagénesis** (gr., δια-*dia-*, «a través de», y γένεσις *génesis*, «origen») da como resultado rocas **sedimentarias consolidadas**, por medio de la compactación y/o cementación.

Las rocas sedimentarias muchas veces pueden albergar fósiles que son restos de organismos del pasado, evidencias de su actividad, improntas o moldes, que permiten conocer la historia y evolución de la vida y los ambientes en la Tierra.

En el interior de la corteza terrestre las rocas preexistentes (ígneas, sedimentarias o metamórficas) pueden estar sometidas a nuevas condiciones de altas presiones y/o temperaturas. Las rocas así alteradas y modificadas con respecto a su forma original, se denominan rocas **metamórficas** (del griego *meta*, “cambio”, y *morph*, “forma”).

Las rocas metamórficas son las más complejas de todas, dado que los procesos de su génesis pueden ser muy variados. Estas pueden formarse cuando las rocas se encuentran bajo la superficie, a una profundidad superior a los 10 km sometidas a grandes presiones debido al peso de las rocas suprayacentes, y a temperaturas más elevadas a medida que se encuentran a mayor profundidad, (**Metamorfismo dinamo-térmico y de soterramiento**). También pueden originarse cuando un magma caliente la roca circundante a la cámara magmática (**Metamorfismo de contacto o térmico**) o en áreas tensionales asociadas a zonas de falla (**Metamorfismo dinámico o cataclástico**). De todos modos, algo que todas tienen en común es que sus componentes cambian manteniendo su estado sólido. Se generan nuevos minerales y los que existían pueden recrystalizarse es decir, cambiar de forma, de tamaño o de orientación, dependiendo de las condiciones a las que se someta la roca y de cómo

era esta originalmente. Incluso, cuando el metamorfismo alcanza niveles muy altos, la roca puede ser fundida y dar origen a un magma, volviendo a comenzar el ciclo.

Se comprende fácilmente que las rocas sedimentarias pueden quedar expuestas a nuevas meteorizaciones, transporte y sedimentación formando una nueva generación de sedimentos. Algunas rocas sedimentarias han recorrido este ciclo, no una sino varias veces.

Es igualmente indudable que las rocas ya metamorfoseadas pueden sufrir nuevas acciones térmicas o mecánicas más intensas, que dan por resultado nuevas modificaciones, o dicho de otro modo, las rocas metamórficas pueden sufrir nuevas transformaciones.

En el ciclo de las rocas se puede observar que no se produce un paso directo de las rocas sedimentarias a rocas ígneas, dado que un aumento de temperatura y/o presión sobre las primeras darían origen a rocas metamórficas antes de la fusión.

2. ROCAS ÍGNEAS (MAGMÁTICAS)

2.1. Definición

Son rocas provenientes del enfriamiento por **cristalización fraccionada** de materiales formados en el interior de la corteza terrestre. Estos materiales conforman un sistema físico – químico que en la mayoría de los casos presenta tres fases en equilibrio.

Una fase líquida compuesta por silicatos fundidos, otra sólida de cristales de esos silicatos en suspensión y una tercer fase gaseosa de compuestos volátiles como vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y dióxido de azufre (SO₂). Desde el punto de vista químico se puede observar la presencia fundamental de 8 elementos, que expresados por sus óxidos son: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MgO, CaO, Na₂O y K₂O.

Este sistema se denomina **magma** y el proceso de enfriamiento del mismo se produce en el interior de la corteza, a distintas profundidades, desde decenas de km. de profundidad, hasta casi la superficie terrestre.

Cuando los materiales fundidos se derraman sobre la superficie de la corteza terrestre, se ven alteradas sus condiciones de presión, temperatura y volumen, esto da lugar a la pérdida de los gases que pudiese contener el sistema. En estas condiciones el material derramado sobre la corteza se denomina **lava**.

Remarcando estos conceptos, tenemos por un lado el magma y por otro la lava; las principales diferencias que existen entre ambos son que el magma cristaliza en el interior de la corteza terrestre y puede tener gases que modifican las estructuras resultantes y la lava se enfría sobre la corteza terrestre y no tiene gases.

La cristalización fraccionada implica la aparición sucesiva y escalonada a través del tiempo de los distintos minerales que se forman a diferentes temperaturas a medida

que el magma se enfría en el interior de la corteza o sobre su superficie (lava). Este proceso de cristalización fraccionada sigue las leyes de todos los procesos que se producen en la naturaleza, es decir, van de lo más simple a lo más complejo. En este proceso natural, se forman primero los minerales de estructura cristalina más simple y en el transcurso del tiempo lo hacen sucesivamente los de estructura cristalina más compleja. La cristalización de todos los minerales formados por el proceso anterior, se desarrollan en un intervalo de temperatura que va desde los 1500°C aproximadamente para los de estructura cristalina sencilla, hasta los 500°C aproximadamente para los de estructura cristalina más compleja (Figura 2).

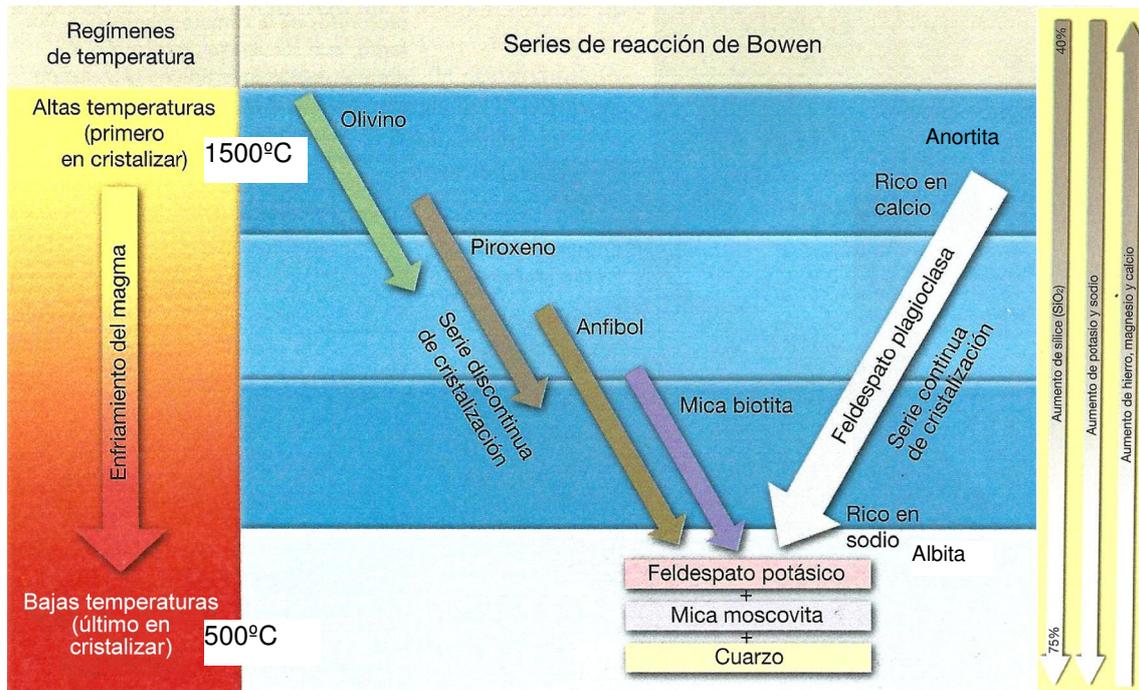


Figura 2: Cristalización fraccionada. Serie de reacción de Bowen (modificado de Tarbuck y Lutgens, 2013).

Dentro de este intervalo cristalizan, por una parte, los silicatos que contienen hierro y magnesio (minerales ferromagnesianos) a través de una serie discontinua, partiendo de los Olivinos para llegar hasta la Biotita, pasando por los Piroxenos (Augita) y Anfíboles (Hornblenda). Este grupo de minerales se denomina **serie discontinua** de cristalización porque los silicatos que aparecen en ella, tienen diferentes estructuras cristalinas.

Por otra parte, cristalizan a través de una **serie continua** los silicatos que contienen calcio y sodio (Plagioclasas), los distintos silicatos que aparecen en esta serie tienen la misma estructura cristalina. Se diferencian por su contenido de calcio y sodio. Así, los que cristalizan a elevadas temperaturas tienen elevado porcentaje de calcio (Anortita); a temperaturas intermedias la proporción es aproximadamente igual (Andesina) y los que lo hacen a bajas temperaturas poseen alto contenido de sodio (Albita).

Por último, separadamente, cristalizan Mica Muscovita, Feldespato potásico (Ortosa) y Cuarzo.

Esta cristalización fraccionada, también conocida como **Serie de reacción de Bowen** (Figura 2) da un grupo de minerales **oscuros o máficos** (Olivinos, Piroxenos, Anfíboles, Biotita; también llamados ferromagnesianos) y otro de minerales **claros o félsicos** (Cuarzo, Feldespatos (Plagioclasas y Ortosa)). Los minerales situados sobre la misma horizontal cristalizan a igual temperatura.

Según el tiempo, la temperatura y la presión que el magma soporte en el interior de la corteza, aparecen asociaciones de cristales de distinta composición química o de distinta estructura cristalina. En base a esto tendremos distintas clasificaciones que dependen de su localización en la corteza, de su estructura o de su composición química.

2.2. Clasificación según localización en la corteza

En función a su localización en la corteza terrestre podemos dividir a las rocas ígneas en dos grandes grupos (Figura 3).

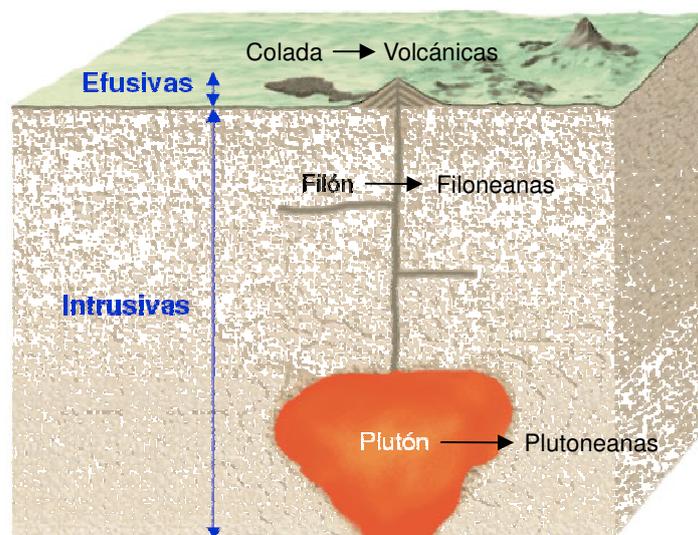


Figura 3. Disposición en la corteza de Rocas Efusivas e Intrusivas (modificado de Tarbuck y Lutgens, 2013).

El primero corresponde a las rocas que se forman en su interior a partir de la cristalización fraccionada. A este tipo de rocas así formadas se las designa con el nombre de **intrusivas** y son siempre macrocristalinas pues sus cristales se observan a simple vista. Pero como hemos visto adoptan cuerpos intrusivos distintos y entonces se las subdivide en: rocas **plutoneanas** (estructuras granítica y porfiroide) y en rocas **filoneanas** (estructuras aplítica y pegmatítica).

Un segundo grupo abarca a todas las rocas que cristalizan o terminan de cristalizar en el exterior sobre la corteza y se las denomina rocas **efusivas**, (estructuras

microcristalina y porfídica). La característica distintiva de éstas es la presencia de minerales microcristalinos, en parte o en la totalidad de su estructura. También se las conoce como rocas **volcánicas**.

2. 3. Clasificación según estructura

De acuerdo a las formas que adoptan los cuerpos intrusivos de magma en la corteza, o al derramarse sobre ella la lava, los minerales que cristalizan en diferentes condiciones de presión, volumen, temperatura, se agrupan formando rocas con distintas estructuras. Se entiende por **estructura** de una roca al número, tipo, tamaño y disposición de sus minerales componentes.

La masa magmática adopta cuerpos de diversas formas y tamaños (Figura 3). Pueden presentarse masas enormes de varios km³ a grandes profundidades formando cuerpos intrusivos en la corteza, llamados **plutones**. En los mismos se manifiestan condiciones de estabilidad en cuanto a presión, volumen y temperatura y los minerales cristalizan con tamaños intermedios dando lugar a la **estructura granítica**. Esta estructura se caracteriza por el tamaño de los minerales que van del milímetro hasta los 2 cm. (Figura 4).

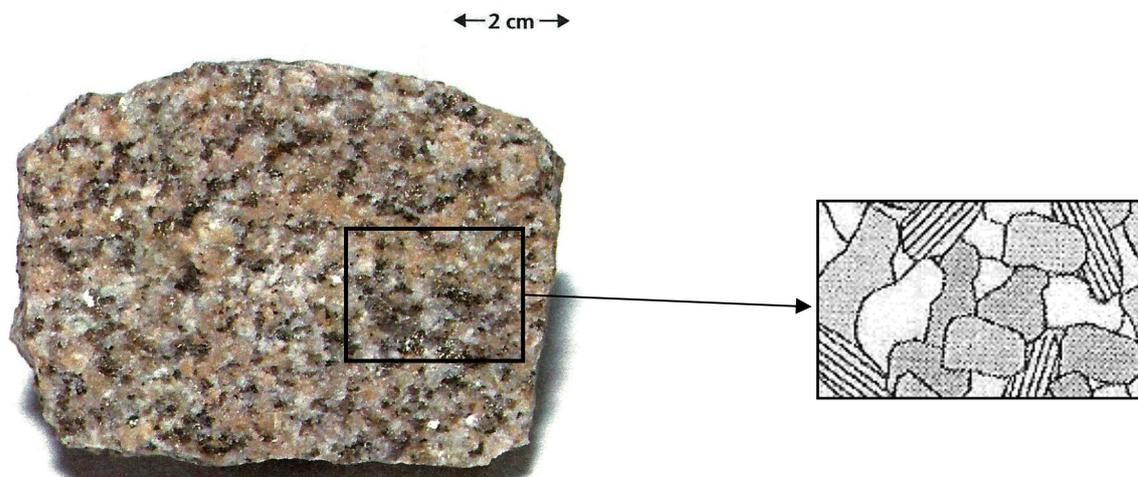


Figura 4: Estructura granítica. Ej. Granito

Otra estructura que cristaliza en el interior de la corteza en los plutones y que suele aparecer con mucha frecuencia se denomina **estructura porfiroide** y consiste en una pasta macrocristalina granítica en la cual se hallan insertados cristales de dimensiones mucho mayores llamados fenocristales; éstos últimos presentan tamaños superiores a los 2 cm. (Figura 5).

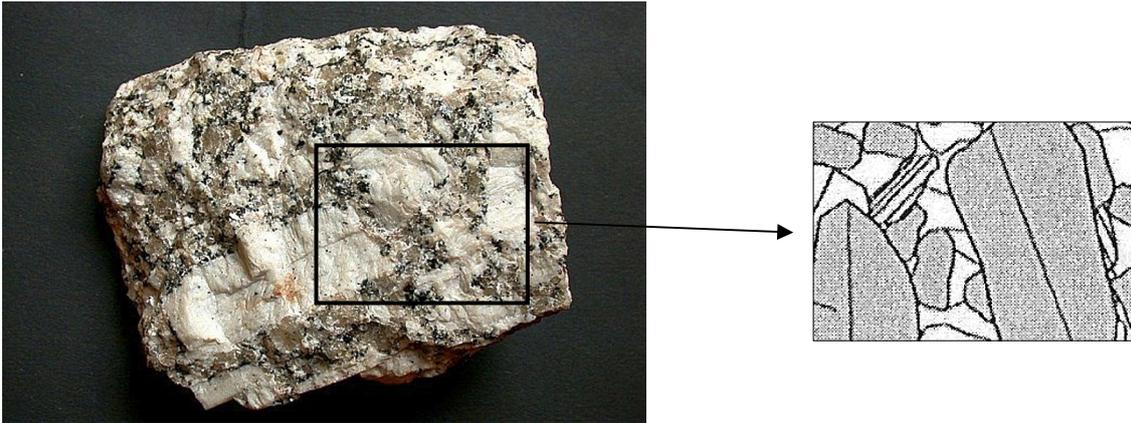


Figura 5: Estructura porfiroide. Ej. Granito porfiroide

Puede ocurrir que debido a grietas o fracturas que se producen en la corteza se intruyan porciones de magma en estos sitios dando lugar a la formación de cuerpos esencialmente tabulares denominados **filones**. Si el magma se enfría rápidamente, la relación presión y temperatura se ve desequilibrada y, en consecuencia, los minerales cristalizan con tamaños menores, dando lugar a las **estructuras aplíticas**, que se caracterizan por dimensiones próximas al milímetro (Figura 6).

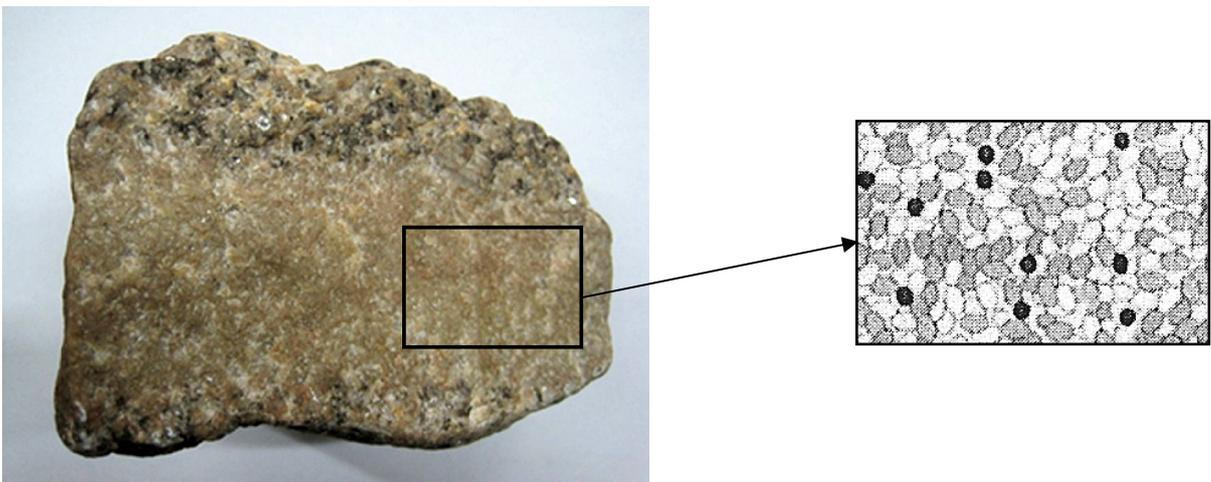


Figura 6: Estructura aplítica. Ej. Aplita

Puede ocurrir que para esta misma forma de intruirse el magma en las grietas de la corteza, el mismo presente una gran cantidad de gases. Estos actúan como retardadores del tiempo de cristalización, o sea que las condiciones de presión y temperatura se mantienen a través del tiempo y los minerales cristalizan en grandes tamaños formando **estructuras pegmatíticas**, cuyos cristales son mayores que los 2 cm. (Figura 7).

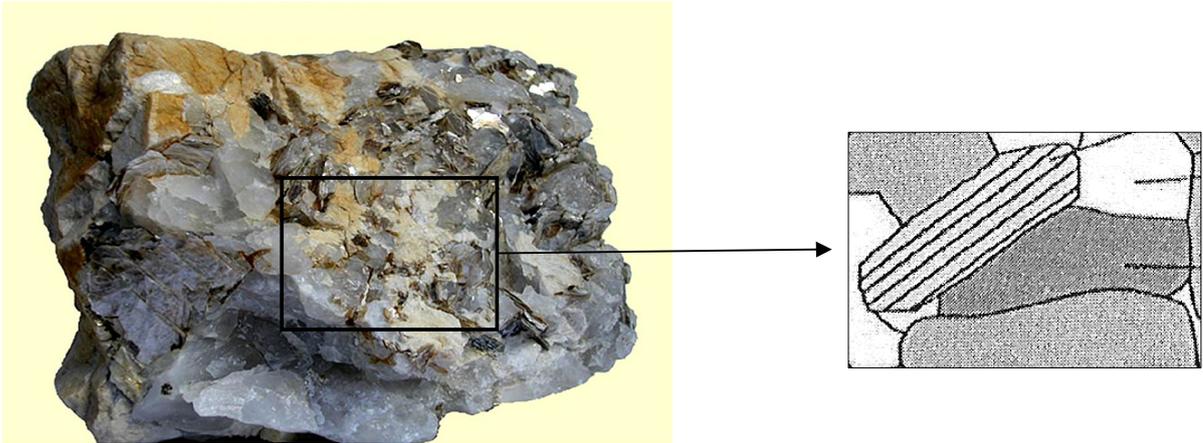


Figura 7: Estructura pegmatítica. Ej. Pegmatita

Hasta aquí el magma ha cristalizado en el interior de la corteza. Si el magma a través de grietas o de conos volcánicos se derrama en forma “tranquila” sobre la superficie terrestre, pierde los gases y se desequilibran completamente las condiciones de presión, volumen y temperatura, transformándose en lava dando origen a cuerpos esencialmente tabulares denominados **coladas**. En este proceso adquiere fundamental importancia el tiempo de cristalización, el cual es breve como consecuencia del derrame de la lava sobre la superficie, que en contacto con la atmósfera se enfría más rápidamente y se forman cristales no observables a simple vista y por lo tanto originan una **estructura microcristalina** (Figura 8).

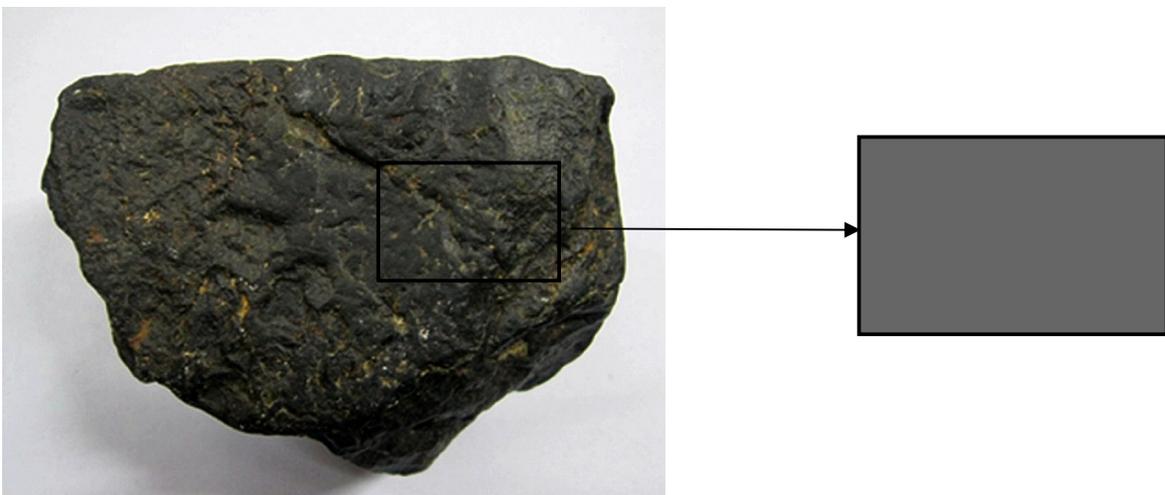


Figura 8: Estructura microcristalina. Ej. Basalto

Por último, existe una estructura que presenta características macro y microcristalinas. Esto sucede como consecuencia del inicio de la formación de algunos cristales de minerales que alcanzan tamaños macrocristalinos en el interior de la corteza, pero debido al derrame de una lava formada por dichos cristales y un “líquido”, los minerales restantes no tienen tiempo suficiente para cristalizar en tamaños apreciables

a simple vista y lo hacen formando una pasta microcristalina que engloba a los ya cristalizados en el interior de la corteza. A esta estructura se la denomina **estructura porfídica** (Figura 9).

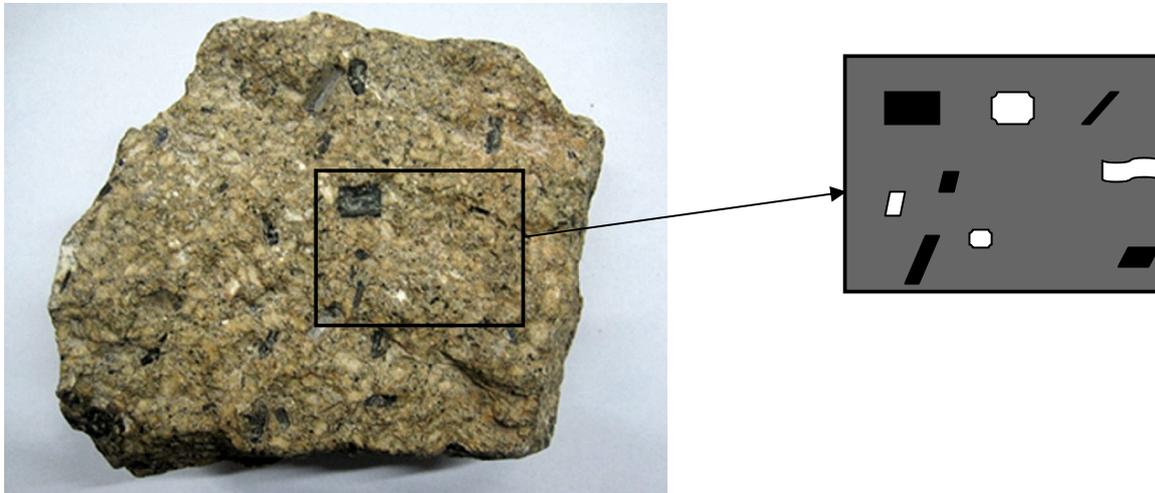


Figura 9: Estructura porfídica. Ej. Andesita

En resumen, si asociamos localización en la corteza terrestre y estructura de las rocas ígneas, tenemos el siguiente cuadro (Cuadro 1).

Cuadro 1: Estructuras de las rocas ígneas y su localización en la corteza terrestre.

ROCAS ÍGNEAS			
INTRUSIVAS		EFUSIVAS	
PLUTONEANAS (PLUTONES)	GRANÍTICA	VOLCÁNICAS (COLADAS)	MICROCRISTALINA
	PORFIROIDE		
FILONEANAS (FILONES)	APLÍTICA		PORFÍDICA
	PEGMATÍTICA		

2.4. Clasificación según tipo químico

Esta clasificación depende de la acidez del magma, referida a la cantidad de sílice (SiO_2) que el mismo contiene.

En base a la proporción de SiO_2 tendremos el siguiente cuadro de clasificación de rocas ígneas (Cuadro 2).

Cuadro 2: Clasificación de las rocas ígneas en función de la cantidad de sílice

Ácidas	mayor del 65% de SiO_2
Neutras	entre 45 y 65 % de SiO_2
Básicas	menor del 45% de SiO_2

Esta clasificación la podemos hacer en forma exacta en un laboratorio por medio de análisis químicos, pero en campaña se realiza una determinación en forma expeditiva.

En la práctica, para distinguir en forma expeditiva los distintos tipos de rocas según esta clasificación, utilizamos minerales indicadores, en el caso de las rocas ácidas el mineral indicador es el cuarzo, su presencia se debe observar a simple vista o con ayuda de una lupa, en algunas rocas también se puede tomar como tal a la ortosa. Para definir a las rocas básicas, utilizamos de indicadores a los minerales oscuros como los ferromagnesianos (Olivinos, Piroxenos, Anfíboles,) y las plagioclasas cálcicas (Anortita) o calcosódicas (Labradorita).

A mayor proporción de sílice tendremos minerales claros (félsicos), Cuarzo y otros silicatos. A medida que la proporción de sílice disminuye, tendremos minerales oscuros (máficos o ferromagnesianos) predominantes. En las rocas ácidas observamos un predominio de Cuarzo y minerales claros sobre los oscuros, esta condición se invierte al observar las rocas básicas, en las cuales no aparece el Cuarzo. Estas variaciones en la aparición de minerales de distintas tonalidades y de distinto peso específico (menos peso en las ácidas, más peso en las básicas) hacen que al comparar dos muestras de roca (una ácida y otra básica) de igual volumen, resulta más pesada la roca básica.

Para distinguir las rocas neutras de las anteriores, como estas a veces presentan características similares a las ácidas o a las básicas, la falta de Cuarzo como mineral componente y además la presencia de silicatos claros y oscuros son los elementos

que permiten determinar a este grupo de rocas. Estas consideraciones respecto a la clasificación de los diferentes tipos de rocas ígneas (ácidas, neutras y básicas) tienen carácter general y debe realizarse para cada muestra un análisis particular.

2.5. Aplicación a la Ingeniería

El Ingeniero utiliza materiales (minerales y rocas) de la corteza terrestre, para la construcción o fundación de sus obras, entonces es esencial que conozca sobre las propiedades, estructura y existencia de los diferentes macizos rocosos. Toda obra de ingeniería tiene que apoyarse sobre un suelo o una roca y en muchos casos es preciso hacer excavaciones o destapes debiendo cuantificar costos y tiempos de ejecución. En consecuencia, el costo, la estabilidad y en algunos casos la posibilidad de las obras de ingeniería, dependen en mayor o menor grado de la resistencia, la estructura y la disponibilidad de los materiales respectivos.

Las rocas ígneas juegan un rol importante como agregado pétreo (hormigón, asfaltos, aislación, etc.), como rocas ornamentales y como material de fundación en las obras de ingeniería. El grado de aptitud de los distintos tipos de rocas ígneas como material de aplicación tiene una respuesta de tipo general correlacionándolas con el concepto de reticulados espaciales, recordando que la resistencia de dichos reticulados es función del tamaño, número, tipo y disposición de las barras.

Si asimilamos los distintos tipos de estructuras de las rocas ígneas a la idea de reticulado espacial, los mismos van a dar respuestas distintas de acuerdo a las sollicitaciones que sobre ellas se ejerzan. Es así que una roca cuya estructura está formada por una gran cantidad de cristales muy pequeños y de distintos grupos de minerales, se comportará bajo la acción de sollicitaciones externas distribuyendo en forma escalar los esfuerzos internos dentro de la masa rocosa y estos se darán con valores prácticamente uniformes en todos los puntos de la masa. O sea que la misma se comportará como un medio isótropo para el reparto de dichos esfuerzos. Esto significa que la disposición de los minerales componentes no interfiere en la distribución de esfuerzos. En realidad, podemos definir a estas rocas como un material marcadamente **Continuo, Homogéneo e Isótropo (CHI)**.

Si aumenta el tamaño de los cristales dejando constante los distintos grupos de minerales y disminuyendo su número, el comportamiento de la roca estará condicionado por la disposición de los minerales componentes. Esto se traduce por la aparición de discontinuidades entre mineral y mineral, lo que altera el reparto uniforme de esfuerzos internos en la masa de la roca. En consecuencia, la distribución de dichos esfuerzos no es de tipo escalar, pues el medio no puede considerarse isótropo. Podemos decir que disminuye su **CHI**.

En conclusión, las rocas ígneas que poseen mayor aptitud para sollicitaciones en cuanto a resistencia mecánica son las de estructura microcristalina, aptitud que decrece en orden sucesivo para las estructuras aplítica, porfídica, granítica, porfiroide y pegmatítica.

Referencias Bibliográficas:

- Cátedra de Fundamentos de Geología (2008). *“Rocas Ígneas. Guía de trabajos prácticos”*. FCNyM - UNLP.
- TARBUCK, E.J. y LUTGENS F.K. (2013). *“Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física”*. 10ª ed., Madrid, Pearson Educación, Prentice Hall.
- TREFETHEN, J. (1959). *“Geología para Ingenieros”*. Compañía Editorial Continental S.A.