

### **1.1 SOBRE LA GEOLOGIA**

La Geología es la ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto, describe los materiales que la forman para averiguar su historia y su evolución e intenta comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos. La unidad de tiempo en geología es el millón de años.

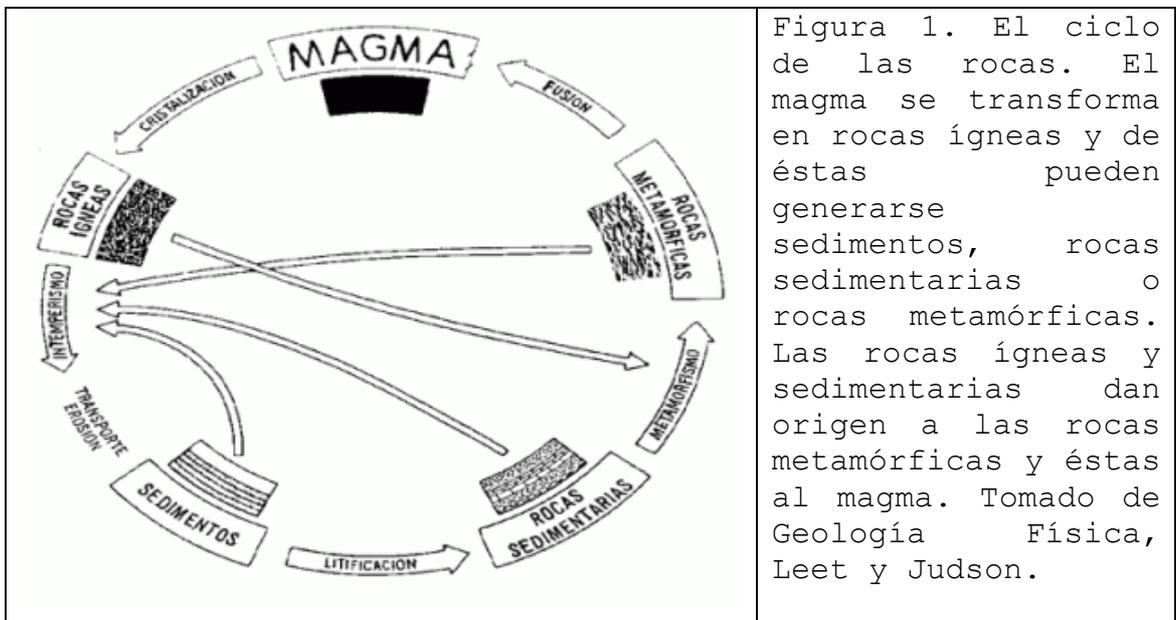
El estudio de la Tierra de manera aislada fue objeto de interés en la antigüedad, pero la Geología como ciencia se inicia en los siglos XVII y XVIII obteniendo su mayor desarrollo en el siglo XX, donde diversas ramas de la Geología se encargan del anterior propósito.

La teoría de la tectónica global o de placas de los años 60 ofrece hoy explicaciones plausibles a la mayoría de los fenómenos y hechos geológicos tales como la formación de montañas, océanos, localización de volcanes y epicentros sísmicos, etc., quedando sin embargo algunos puntos oscuros por resolver. En la actualidad las ciencias geológicas están adquiriendo mayor importancia para enfrentar la escasez de materias primas y energéticas y los problemas ambientales. Esto exige el conocimiento profundo de la geología del terreno y el concurso de personal especializado en geología, geotecnia, geofísica y geoquímica, entre otras disciplinas y profesiones.

Los estudios geológicos son también necesarios en obras de ingeniería civil, como presas, autopistas y edificaciones y sobretodo en los trabajos relacionados con el ordenamiento del territorio y la conservación del medio ambiente.

Para ilustrar los temas de los cuales trata la geología física, una buena herramienta es el ciclo de las rocas, el cual permite describir los principales fenómenos a los cuales están sometidos las rocas y los suelos. Este enfoque de la geología física servirá también como introducción al presente texto.

## 1.2 CICLO DE LAS ROCAS



El magma da origen a las rocas ígneas y éstas (u otras) dan origen a los sedimentos; por su parte los sedimentos consolidados dan origen a las rocas sedimentarias. Pero las rocas sedimentarias (y las ígneas) dan origen a las rocas metamórficas y éstas a su vez pueden fundirse para producir magma. El ciclo también puede interrumpirse, como se ilustrará en la siguiente figura, con procesos que adelante se describen.

**1.2.1 El magma.** Es un fluido rocoso incandescente compuesto principalmente de minerales tipo silicatos y óxidos fundidos.

La Tierra está compuesta por un núcleo interior caliente, un manto que lo envuelve y una corteza exterior. La corteza que envuelve la Tierra sólida está compuesta por placas tectónicas de ambiente continental y oceánico.

El magma se produce por debajo de la corteza y en el manto exterior del planeta, donde los materiales están sometidos a un flujo plástico de naturaleza convectiva. Así, el magma es un fundido natural a alta temperatura en el que participan principalmente 8 elementos: oxígeno (O<sub>8</sub>), silicio (Si<sub>14</sub>), aluminio (Al<sub>13</sub>), hierro (Fe<sub>26</sub>), calcio (CA<sub>20</sub>), sodio (Na<sub>11</sub>), potasio (K<sub>19</sub>) y magnesio (Mg<sub>12</sub>).

**1.2.2 La cristalización.** Por el enfriamiento del magma se forman diminutos cuerpos sólidos llamados minerales que tienen la tendencia a formar cuerpos cristalinos, por sus formas espaciales regulares de materia químicamente homogénea.

Esas estructuras, fruto de la cristalización de soluciones magmáticas, son el resultado de la unión eléctrica de átomos, iones y moléculas, en un estado energético mínimo de máximo orden.

En ocasiones el producto de la solidificación es amorfo, es decir, cuando los átomos, iones y moléculas del cuerpo no manifiestan una disposición regular.

Deben destacarse además minerales con formas granulares, laminares y fibrosas, y disposiciones de minerales alineados y cruzados, en un espacio tridimensional. Estos aspectos son determinantes en el comportamiento mecánico de las rocas.

Por la compleja composición química del magma su cristalización no es uniforme sino fraccionada. Como las rocas que se derivan del magma tienen componentes minerales principalmente del grupo de los silicatos, conforme desciende la temperatura en el fundido, se forman silicatos en el orden siguiente:

Primero los ferromagnesianos y las plagioclasas cálcicas, seguirán el feldespato potásico, la moscovita y por último el cuarzo (consideraremos el cuarzo como silicato y no como óxido). Esto se conoce como la serie de cristalización de Bowen.

Las rocas están formadas por minerales; las texturas de las rocas ígneas dependen del tamaño, forma y disposición de los minerales que las componen, pero dicho tamaño depende de la velocidad de enfriamiento del magma; si el enfriamiento es lento, el mineral es grande y la textura será fanerítica (granulada); si el enfriamiento es rápido, los minerales serán pequeños resultando la textura afanítica; una textura combinada por cambios de velocidad de enfriamiento, en la que se muestran minerales grandes dentro de una matriz de minerales finos, es la textura porfidítica.

**1.2.3 Rocas ígneas.** En la Tierra existen dos ambientes geográficos de formación de rocas ígneas: el oceánico y el continental; por regla general en el oceánico estas rocas son ricas en minerales ferromagnesianos y se denominan rocas básicas o ultrabásicas y en el ambiente continental son ricas en minerales con abundancia de sílice y aluminio y se llaman rocas ácidas. Estas denominaciones se dan en función de la composición química de las rocas.

Según la profundidad de formación, las rocas pueden ser plutónicas, cuando provienen del magma que se ha enfriado en el interior de la corteza; o volcánicas, cuando el magma se ha enfriado sobre ella. También puede ocurrir que el

magma se enfríe próximo a la superficie, pero no sobre ella, conduciendo a rocas hipoabisales.

Las plutónicas son de textura fanerítica, las volcánicas de textura afanítica, y las hipoabisales de textura porfidítica dado que su formación condiciona la textura a través de la velocidad de enfriamiento.

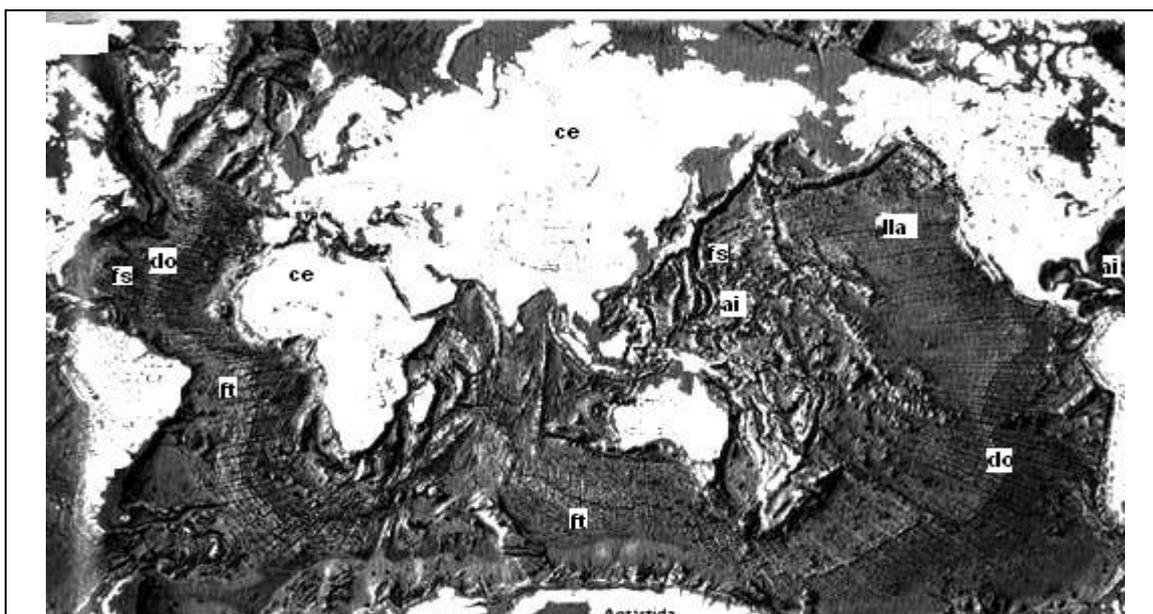


Figura 2. Relieve de los Fondos Oceánicos: se observan las dorsales oceánicas (do), las fallas transformantes (ft), las llanuras abisales (lla) y fosas submarinas (fs), así como los arcos de islas (ai) y continentes emergidos (ce). Fuente La Tierra Planeta Vivo, Salvat..

Las principales rocas ígneas son el granito, entre las plutónicas, y el basalto entre las volcánicas; por regla general la primera de ambiente continental y la segunda de ambiente oceánico. En la Cordillera Central son frecuentes los granitos y en la occidental los basaltos.

**1.2.4 Meteorización, erosión y transporte.** Los sedimentos se explican por la meteorización, la erosión y el transporte de los materiales que conforman la corteza de la

Tierra. La denudación es un proceso nivelador por el cual las rocas de los espacios de erosión nutren los espacios de sedimentación. Semejante proceso se corresponde con fuerzas de degradación de la superficie del planeta, a las que se oponen fuerzas de agradación que reconstruyen el relieve.

La meteorización o intemperismo, como condición previa a la erosión y al transporte, es la alteración del material rocoso expuesto al aire, la humedad o al efecto de la materia orgánica; existen dos tipos de meteorización: la mecánica, que alude a la desintegración del material y la química, a su descomposición. Hay otras formas de alteración que no son meteorización, como la alteración tectónica y la hidrotermal de importancia en el ambiente andino.

Productos del intemperismo son: gravas, arenas, limos y arcillas, además de soluciones silíceas, carbonatadas y ferruginosas, entre otras. Estos materiales explican posteriormente la formación de los suelos de cultivo, también los suelos residuales, los suelos transportados y las rocas sedimentarias, todos ellos gracias a la meteorización que supone la destrucción de las rocas y minerales expuestos sobre la superficie debido a las fuerzas exógenas.

La erosión es el proceso de desprendimiento de las unidades alteradas de la roca merced a agentes como el hielo, el agua y el viento; la gravedad no lo es. Estos mismos agentes ocasionan luego el transporte de los materiales desprendidos, para formar los depósitos sedimentarios, aprovechando la energía proveniente de la gravedad y del Sol.

**1.2.5 Sedimentos.** Son materiales rocosos, organismos muertos, sustancias químicas y otras sustancias acumuladas, fruto de la meteorización y alteración de las rocas, por la precipitación de elementos disueltos en la hidrosfera o la

acumulación de materia orgánica en un medio continental o marino.

Los procesos de denudación de la corteza suponen la erosión de masas emergidas. La energía la provee la gravedad y los movimientos de la tierra fluida a causa de la radiación solar, fuerzas sin las cuales no es posible el transporte de materiales por medios como aire y agua. Según el agente que lo transporta, el depósito recibe el nombre de coluvial, aluvial, eólico o glaciario; y según el lugar donde se encuentre, el depósito recibe el nombre de palustre, marino, lacustre o terrígeno.

Algunos ambientes sedimentarios están situados dentro de los continentes como ocurre con el medio fluvial formado por la acumulación de partículas en el lecho y a ambos lados de los ríos, principalmente durante las crecidas, o el medio lacustre originado por el material sedimentado en el fondo de los lagos. Otros ambientes se localizan en zonas costeras y sus alrededores, entre los cuales citamos las playas y los deltas formados por sedimentos del río cuando termina su curso. Es, sin embargo, en el mar donde suelen darse los máximos espesores de sedimentos ya sobre la plataforma continental, sobre el talud continental o en la desembocadura de los cañones submarinos. El espesor de los sedimentos en las llanuras abisales es pequeño, para desaparecer en las vecindades de las dorsales.

**1.2.6 Diagénesis y litificación.** Cuando los sedimentos son sepultados tiene lugar todo tipo de procesos químicos y físicos que pueden conducir a modificaciones bastante radicales del material original. Con el término diagénesis se cubren todas esas transformaciones ocurridas a temperaturas y presiones relativamente bajas, en zonas no muy profundas por debajo de la superficie de la Tierra. Los tres procesos diagenéticos son la cementación, la consolidación-deseccación, y la cristalización.

Quizás el efecto más obvio de la diagénesis sea la transformación de partículas sueltas, sin consolidar, en una roca sedimentaria compacta y dura. Este es sólo uno de los aspectos de la diagénesis que se denomina litificación y como ejemplo de ella está la conversión de arenas en areniscas, arcillas en arcillolita y turbas en carbón.

La consolidación y la desecación son los dos componentes esencialmente independientes de la diagénesis, el primero es de carácter físico mientras el segundo es más químico que físico, pero uno y otro en general avanzan paralelamente a lo largo de la diagénesis.

La consolidación-desecación es un proceso que se explica con la litificación de las arcillas, cuyo producto final puede ser una roca sedimentaria llamada arcillolita; gracias a presiones litostáticas este material poroso e impermeable disminuye ostensiblemente su volumen, pierde agua y se endurece.

La cementación es el proceso clásico de litificación de las arenas, tras su acumulación, por el cual se forma la roca sedimentaria llamada arenisca, donde la arena porosa y permeable admite coloides cementantes y soluciones con aglutinantes químicos.

La cristalización se da, por ejemplo, en algunos depósitos de naturaleza calcárea, donde los intercambios iónicos producen el endurecimiento de la materia gracias a fenómenos de neocristalización y recristalización, obteniéndose como producto una roca sedimentaria del tipo caliza. Para algunos autores este proceso queda comprendido dentro del fenómeno de la cementación cuando se asume como proceso eminentemente químico.

**1.2.7 Rocas sedimentarias.** Las rocas sedimentarias más importantes por su abundancia y en su orden, son: la lutita, la arenisca y la caliza. Aunque las rocas sedimentarias constituyen una proporción muy pequeña del volumen de la corteza de la Tierra, son altas las

posibilidades de encontrarlas en la superficie, donde tres cuartas partes de las rocas expuestas son sedimentarias. La Cordillera Oriental colombiana es fundamentalmente de naturaleza sedimentaria.

Como los procesos que conducen a la formación de rocas sedimentarias están en funcionamiento en nuestro entorno, el examen de éste da los indicios de su formación. Si el entorno es costero, los sedimentos son variados y se van acumulando y sepultando para formar rocas. En un pantano de sal los sedimentos son de grano muy fino (lodos) y en la playa el sedimento es de grano arenoso; estos dos escenarios muestran aguas tranquilas y entornos de alta energía y turbulencia respectivamente, que condicionan la calidad de la roca.

Los diferentes tipos de rocas sedimentarias se relacionan a su vez, no sólo con los procesos de meteorización, sino también con la zona climática en que se formaron y con las diferentes partes del ambiente tectónico sobre las cuales pueden estar operando los procesos superficiales. Pero lo más característico de las rocas sedimentarias es su disposición en capas o estratos, donde el conjunto muestra algunos tipos de estructuras que reflejan el ambiente de formación.

Volviendo a las rocas más frecuentes, tenemos que la lutita proviene de las arcillas y limos depositados en mares, lagos o lagunas; que la arenisca proviene de arenas, por regla general cementadas con minerales como calcita, dolomita y cuarzo; que las calizas son rocas de naturaleza calcárea, de origen químico u orgánico. Además, si las rocas sedimentarias como areniscas, lutitas y conglomerados (rocas clásticas) se forman fundamentalmente por la acumulación de partículas provenientes de otras rocas, también se forman rocas sedimentarias con materiales depositados que no son partículas de rocas transportadas mecánicamente, sino que pueden ser, o bien precipitados de disoluciones acuosas como es el caso de los yesos y sales,

o bien rocas que se forman por la acción de organismos, como es el caso de los arrecifes, o por acumulación de caparazones de organismos muertos como muchas calizas.

**1.2.8 Metamorfismo.** Es el cambio de una clase coherente de roca en otra, gracias a un proceso que se da por debajo de la zona de sedimentación e intemperismo pero sobre la zona de fusión o producción de magma. Los agentes del metamorfismo son tres, y al menos dos de ellos siempre están presentes: temperatura, presión y fluidos químicamente activos. Las nuevas rocas así originadas sufren en la transformación mecánica, química o químico-mecánica un cambio en su estructura o en su composición mineral sin que varíe la química global.

Existen tres series básicas de rocas metamórficas: en las zonas en las que la presión es mucho más elevada que la temperatura, donde se formarán rocas de alta presión; en la zona en que la temperatura es mucho mayor que la presión, donde se formarán rocas metamórficas de alta temperatura, finalmente, si en el lugar de formación la presión y la temperatura están equilibradas, darán a lugar a rocas de presión y temperatura intermedia.

Las zonas que pueden dar lugar a rocas metamórficas son variadas y pueden estar tanto en el ambiente continental como en el oceánico. La Cordillera Central colombiana tiene un basamento fundamentalmente de constitución metamórfica. En la base de la corteza oceánica, algunas rocas podrían sufrir metamorfismo; en las dorsales se da una mayor temperatura gracias al ascenso del magma, favoreciendo la formación de rocas metamórficas. Las zonas de subducción también son ambientes propicios, como lo son a su vez las partes inferiores de la corteza continental o los espacios vecinos en las inmediaciones de las intrusiones ígneas que sufre la corteza superior al ascenso de magmas.

**1.2.9 Rocas metamórficas.** En la corteza la temperatura aumenta en promedio 33 °C por Km. (1° C por cada 30 metros

de profundidad), y la presión unas 1000 atmósferas cada 3 Km. (1 atmósfera cada 3 metros), por lo que a más de 200 °C y 2000 atmósferas (6000 metros) se forman rocas metamórficas como las granulitas, eclogitas, gneises y esquistos. Algunas rocas son de alta temperatura y baja presión (dorsales oceánicas), o baja temperatura y alta presión (zonas de subducción).

El entorno más frecuente en el que las rocas metamórficas están disponibles para el hombre, es la cadena montañosa en donde la erosión de una parte temporalmente engrosada de la corteza continental expone rocas ígneas y sedimentarias que antes estuvieron profundamente sepultadas pudiendo sufrir cambios mineralógicos en respuesta al incremento de presiones y temperaturas. Si se tratara de una roca sedimentaria que ha sufrido metamorfismo, tras un posterior proceso de meteorización que altere su composición química, con la presencia de agua pueden producirse silicatos hidratados y dióxidos de carbono para generar carbonatos.

Más si el metamorfismo de las rocas sedimentarias comprende la producción de vapor de agua, dióxido de carbono y otras sustancias gaseosas excedentes, el metamorfismo de las rocas ígneas incluye por lo general la absorción retrógrada de los volátiles señalados, que son tomados de las masas sedimentarias que acompañan el proceso.

Al clasificar las rocas metamórficas es indispensable describir la roca en términos de su textura y su composición química, así como de su mineralogía. Estos tres parámetros tienden a ser aplicados genéticamente, aunque pocas veces se pueda, decidir si una roca es metamórfica, ígnea o sedimentaria, pero sí con mejor aproximación si ella es ígneo-metamórfica o sedimentario-metamórfica, ya en atención a las facies minerales, a la textura que proporciona una valiosa escala de técnicas o a los distintos contextos que facilitan la asociación.

Con alguna aproximación, las principales rocas metamórficas son: a partir de la lutita, y conforme aumenta la presión y la temperatura, la pizarra, la filita, el esquisto y el paragneis; a partir de la arenisca (cuarzosa), la cuarcita; a partir de la caliza, el mármol; a partir del basalto (o rocas afines), que es la vulcanita más abundante, la serpentina y la anfibolita, y a partir del granito, que es la roca plutónica más abundante, el ortogneis.

**1.2.10 La fusión.** Si pudiéramos ver el más espectacular de los fenómenos naturales, una erupción volcánica, obtendríamos la evidencia directa de la existencia de material rocoso fundido que surge del interior del planeta. El calor del interior de la Tierra es una consecuencia de su proceso de formación. Al observar la superficie del planeta son evidentes las transformaciones de su superficie: volcanes y terremotos coinciden y se extienden sobre las jóvenes cordilleras como una expresión en superficie de los procesos dinámicos que convulsionan al planeta en su conjunto.

El colapso gravitacional de la nube de gas primogénita dejó como herencia la energía de acreción y la rotación del planeta. Su forma esférica por acción de su propia gravedad, es el resultado de una masa que ha sobrepasado cierto límite. A su vez la masa de gas y polvo primogénita venía siendo el fruto de materia reciclada en el interior de los astros en donde se cocieron elementos de diferente número atómico, incluyendo la formación de elementos radiactivos.

La sismología es el método geofísico más revelador en lo que a contraste estructural en el interior de la Tierra se refiere. El estudio de la gravedad también proporciona interesantes observaciones, pues sus cambios reflejan faltas de homogeneidad laterales en la masa del interior del planeta. El magnetismo y paleomagnetismo de las rocas ha contribuido en mayor grado a la aceptación general del concepto de tectónica de placas. Si a estos datos se

agregan los beneficios de la geoquímica y la astrofísica, podremos concluir en modelos físicos que expresen las capas más internas de la Tierra con su correspondiente composición estimada a partir de isótopos.

Por razones térmicas y de presión, a gran profundidad las rocas son susceptibles de transformarse en magma. Un descenso de la presión obliga a la fusión de los materiales que a gran profundidad están sometidos a elevadas temperaturas. Por el gradiente geotérmico, en los primeros km. de la corteza, la temperatura es extremadamente alta, pero la presión será suficiente para que las rocas estén en su fase sólida; se requieren sismos y movimientos de la corteza para que se despresurice el medio y así, las rocas por calor se fundan.

Otras fuentes de energía para la fusión de las rocas las proveen las corrientes de convección del manto, la fricción entre placas tectónicas y la presencia de elementos radiactivos.