

GEOLOGÍA

Es la ciencia que estudia la tierra, su composición, su estructura, y los fenómenos de toda índole que en ella tienen lugar, y su pasado mediante los elementos que de él han quedado en las rocas. No es una ciencia meramente descriptiva, sino que cada caso busca el porqué de la forma, que establece esa mutua dependencia las leyes que lo rigen y el encadenamiento de hecho que constituye la historia de la tierra. La fisiografía y la geomorfología estudian las funciones que modelan la superficie terrestre y constituyen parte de la dinámica externa del globo terráqueo, junto con la meteorología y la oceanografía que estudian respectivamente la atmósfera y los mares. La geodinámica interna estudia la disposición de las rocas en lechos o estratos horizontales o inclinados, plegamientos o dislocaciones, la presencia de mazizos graníticos o de rocas eruptivas, las coladas de lava procedentes de una erupción volcánica

La tectónica investiga la formación de las montañas y la estratigrafía la disposición de los materiales que forman la corteza terrestre, y sus relaciones mutuas. La geología histórica se encarga del factor temporal como hechos que pertenecen al pasado de la época en la que se formaron las rocas sedimentarias, de materiales procedentes de las erupciones volcánicas

La geofísica se encarga de averiguar de donde proceden las fuerzas capaces de plegar los estratos y de formar montañas, de que profundidades han surgido los materiales que han emergido por un volcán, y cual es la causa de las elevadas temperaturas que allí deben de existir. La cristalografía estudia la estructura íntima de minerales y rocas.

Las propiedades, su composición, sus mutuas relaciones y procesos que origina tanto minerales como rocas los estudian la mineralogía y la petrología.

La geoquímica basándose en las proporciones de los elementos químicos estudia la razón de la distribución en la corteza terrestre y en el interior del globo terráqueo en función de sus afinidades actuales y de su misma estructura externa. La paleontología nos plantea la evolución de los seres vivos en el tiempo desde la formación de microorganismos con vida hasta la oveja, y animales superiores. La geología estudia también una ciencia eminentemente productiva, y tenemos aplicaciones a la ingeniería, a la industria, a la agricultura.

Actualismo geológico.

Hasta el siglo XIX se pensaba que en épocas pasadas habían ocurrido grandes cataclismos a escala regional que habían levantado súbitamente las montañas, hundido los fondos oceánicos, sepultado terrenos superficiales. Se superponen dislocaciones bruscas de los terrenos a gran escala, también que el mar había invadido de improviso grandes extensiones de los continentes.

Dos geólogos, Hutton y Lyell fueron quienes a mediados del siglo pasado sentaron las bases de la moderna geología con su doctrina del uniformismo que es el principio básico de las interpretaciones geológicas históricas

Así el actualismo geológico estudia en líneas generales que los fenómenos geológicos han ocurrido siempre de la misma forma que ocurren actualmente interrelacionados a todos los procesos un factor temporal al que ha de dársele su justo valor. Los materiales arrastrados por el agua se depositan en lechos y crean una serie de estratos dispuestos horizontalmente, ha sido el resultado de la sedimentación, lacustre o marina interrumpida durante mucho tiempo y si tales estratos aparecen plegados por empujes tangenciales, laterales en el transcurso de muchos millones de años hasta quedar como actualmente si afloran a la superficie los vemos es porque la acción de las intemperie del tiempo las ha puesto al descubierto, la erosión de los ríos torrencial y del mar en las costas, con el correr del tiempo las ha puesto al descubierto, en la ladera de una montaña, o en

el curso de un río o en el acantilado de la costa. Si se pueden encontrar restos fosilizados de animales marinos aunque estos están en la cima de una montaña, o en el interior de un continente, quiere decir que antes ese terreno estuvo cubierto por el mar. Y se formaron entonces. Si encontramos restos de vegetales es porque la zona se formó en el fondo de un lago o en el lecho de un río en el interior de un continente. Es cierto que algunas formaciones geológicas se realizaron con notable rapidez y aún de forma súbita, un terremoto, o una erupción que en una fracción de segundo destruye ciudades enteras, o devían el curso de un río.

El hundimiento de una caverna, un alud que se desprende de la ladera de una montaña, un corrimiento de tierras que puede afectar a mucho terreno o desviar el curso de un río. Sin embargo todo esto, el actualismo no se puede llevar al extremo, y es muy posible que en épocas antiguas hayan ocurrido cosas que ya no ocurran simplemente porque no se dan las mismas circunstancias, o porque se trate de procesos invariables y únicos ligados al factor temporal, como la evolución. Pero esto demuestra que la atmósfera primitiva era muy distinta a la actual, es decir no había oxígeno libre (reductora), y sin embargo había gases como el metano CH_4 el amoníaco NH_3 , y el ácido sulfhídrico H_2S , que también se encontraban disueltos en el agua del mar. Se daban ciertas reacciones químicas que ahora no ocurren. Por la acción de repetidas descargas eléctricas se sintetizaron los primeros compuestos orgánicos. Es muy posible que la transformación de la antigua atmósfera en la actual haya sido consecuencia de las radiaciones ultravioletas y de la función clorofílica de las algas. Sin embargo las leyes químicas y biológicas no cambian por lo que se puede investigar procesos que habrían ocurrido en otras condiciones. Y podemos estudiar las condiciones de presión y temperatura para la formación de determinado mineral, o de una roca eruptiva, y a partir de ahí saber que condiciones existían en el lugar, y en el momento de la formación de esa roca en el interior de la litosfera. Igualmente conocemos las condiciones en la que vivían determinados animales y vegetales por la composición de las rocas que contienen sus fósiles.

El tiempo en geología se mide en millones de años, o cron, por lo que un siglo (vida media de un hombre) geológicamente no es nada. En un millón de años se puede desarrollar una época glacial, (cuaternaria), para que al retirarse los hielos queden en la topografía de las montañas sus profundas huellas. En geología los acontecimientos no pueden ser estudiados olvidándose del tiempo. La edad de la tierra se mide por métodos radiactivos, tiene aproximadamente 4600 millones de años. La mayor parte corresponde a la era arcaica, y solo los últimos 570 millones de años, a lo que podríamos llamar época histórica, a partir de la era primaria.

El ciclo geológico.

La tierra se encuentra en un proceso continuo de transformación hace varios miles de millones de años, y que no tienen un final previsible. Como resultado de dos fuerzas antagónicas que actúan sobre la corteza terrestre, una externa y otra interna. La interna tiene su origen en una propia fuente de energía de la tierra y la externa, provoca elevaciones o hundimientos de la corteza terrestre provocando reajustes físico químicos, y mecánicos entre sus componentes. Su efecto sensible es la formación de montañas, y sus reacciones más espectaculares son las erupciones volcánicas y los terremotos. Las formas de la dinámica externa actúan de diferente forma sobre la corteza terrestre, y se dan inesperadamente por cambios de temperatura, debido a las condiciones solares se manifiestan en el proceso de erosión y transporte de materiales mediante el viento y el agua de lluvia. Estos procesos tienden a destruir las irregularidades que la geodinámica interna, pero ninguna de las dos acciones tiende a disminuir, por lo que al estar en continua competencia no prevalece ninguna sobre la otra. De esta forma se establece un ciclo de fenómenos geológicos de destrucción y reconstrucción de la corteza terrestre. Los procesos relacionados con la dinámica interna tienden a la formación de determinado tipo de rocas, y a elevarlos para compensar las pérdidas ocasionadas por la erosión. Cuando las rocas formadas por sedimentación llegan a niveles más profundos son desplazadas a la superficie por presiones radiales de forma que originan montañas, y expulsan las rocas fundidas a través de los volcanes que son erosionados y destruidos en el mismo momento de su formación (siempre la formación y destrucción de montañas.. ocurre paralelamente)

Estructura y composición de la Tierra.

Para conocer los procesos que tiene lugar o que se han desarrollado a lo largo del tiempo en nuestro planeta es conveniente el conocimiento de su constitución. Los materiales situados próximos a la superficie podemos conocerlos directamente obteniendo las muestras necesarias. Esto sólo podemos hacerlo en las zonas muy superficiales ya que, mediante sondeos, la máxima profundidad que se ha alcanzado es de unos 13 km., lo que, comparado con el radio terrestre, es muy poco. Por ello, se ha tenido que recurrir a la utilización de métodos indirectos que nos permitan deducir las características de los materiales del interior de la Tierra.

Los principales métodos que podemos utilizar son los siguientes:

Densidad. Podemos conocer el valor de la densidad de los materiales de la Tierra en su conjunto, puesto que sabemos su masa y su volumen. Este valor es de unos 5,5 g/cm³, pero cuando calculamos la densidad de los materiales que están directamente a nuestro alcance, y que son lo que se encuentran en las zonas más superficiales, obtenemos un valor medio de 2,8 g/cm³. Si la densidad de toda la Tierra es de 5,5 g/cm³ y la de la superficie es de 2,8 g/cm³, tendremos que admitir que los materiales situados en el interior han de ser más densos que los más superficiales. Por otra parte, esto se corresponde, desde una consideración simple, con la distribución que había tenido lugar en los primeros tiempos de la formación de la Tierra cuando, al ser un cuerpo en estado fluido que se iría enfriando, los componentes materiales se distribuirían de modo que los más densos se hundirían en el interior.

Rotación. Es un método que viene a confirmar lo anterior. Del movimiento de rotación conocemos cuál es su valor. Si construimos modelos terrestres homogéneos y calculamos su velocidad de rotación obtenemos valores que se apartan mucho del valor real, pero si estos modelos los modificamos utilizando materiales más densos en el interior podemos acercarnos a ese valor real.

Meteoritos. Se han encontrado en la superficie terrestre fragmentos de tamaños variables del espacio exterior terrestre. Estos fragmentos no son homogéneos sino que presentan tres tipos:

a) Sideritos, constituidos fundamentalmente por compuestos de hierro

b) Siderolitos, constituidos fundamentalmente por compuestos de

magnesio

Estos tres tipos se pueden asimilar con la composición que, parece ser, presentan las tres capas que forman la estructura terrestre.

c) Aerolitos o lititos, predominantemente de silicatos de aluminio

Gradiente geotérmico. A partir de la superficie terrestre la temperatura aumenta en profundidad los 3° cada 100 m., lo que se conoce como gradiente geotérmico. Este aumento no se mantiene constante hasta el centro de la Tierra puesto que, si esto fuera así, se alcanzarían temperaturas próximas a los 200.000°, lo que es imposible, interviniendo otra serie de factores que limitan este aumento. El aumento de temperatura puede ser debido al calor residual o a la presencia de materiales radioactivos.

Gravedad. El valor de la aceleración de la gravedad terrestre medida en el ecuador es de 9,8 m/s². Este valor aumenta ligeramente hacia los polos y es mayor en las áreas oceánicas que en las continentales. Cada punto de la Tierra, según su situación, tendrá un valor teórico de gravedad. Si el valor real se aparta del teórico, decimos que existe una anomalía gravitatoria, que podrá ser positiva (si el valor es mayor que el teórico) o negativa (en caso contrario). La causa de estas anomalías es la presencia de materiales de muy alta o muy baja densidad, lo que nos permite localizar su situación aunque sólo podamos hacerlo para materiales no muy profundos.

Magnetismo. Existe un magnetismo terrestre cuyo origen se encuentra en la constitución de los materiales del interior de la Tierra. Este magnetismo hace que se genere un campo magnético con un polo positivo próximo al polo norte geográfico y un polo negativo próximo al polo sur geográfico, aunque no coinciden los polos magnéticos y geográficos. Además, la situación de los polos magnéticos no es invariable, habiéndose modificado su situación a lo largo del tiempo incluso invirtiéndose la polaridad. El valor del magnetismo en un punto cualquiera se expresa mediante la intensidad, la declinación y la inclinación magnéticas. El valor real puede apartarse del valor teórico existiendo, entonces, anomalías magnéticas positivas o negativas, permitiéndonos la localización de masas de diferente intensidad magnética.

Ondas sísmicas. Es el método que nos va a proporcionar el mayor número de datos y nos va a permitir establecer la presencia de las diferentes capas que constituyen la estructura de la Tierra. Las ondas sísmicas, como su nombre indica, se originan cuando se produce un sismo o terremoto, bien natural o bien artificial mediante una explosión colocada. Cuando se produce el terremoto, se originan tres tipos de ondas: longitudinales o primarias (P), transversales o secundarias (S) y superficiales.

Estas ondas viajan por el interior de la Tierra (excepto las superficiales) formando trenes de ondas que se reflejan y se refractan siguiendo las leyes normales según la naturaleza de los materiales, fundamentalmente de la elasticidad y densidad de éstos o bien de su rigidez y compresibilidad; a mayor rigidez mayor velocidad y a mayor densidad menor velocidad.

a) **Ondas P.** Son las más rápidas y, por tanto, las primeras en llegar a los registros. La vibración de las partículas en estas ondas es en la misma dirección de la propagación. Se transmiten en todos los medios, tanto sólidos como fluidos. Su velocidad de propagación viene dada por $\sqrt{\frac{I+4R/3}{D}}$, donde: I = incompresibilidad, R = rigidez y D = densidad.

b) **Ondas S.** Son más lentas que las P. La vibración de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación. Solamente se transmiten por medios sólidos y su velocidad viene dada por R/D .

Estructura de la Tierra

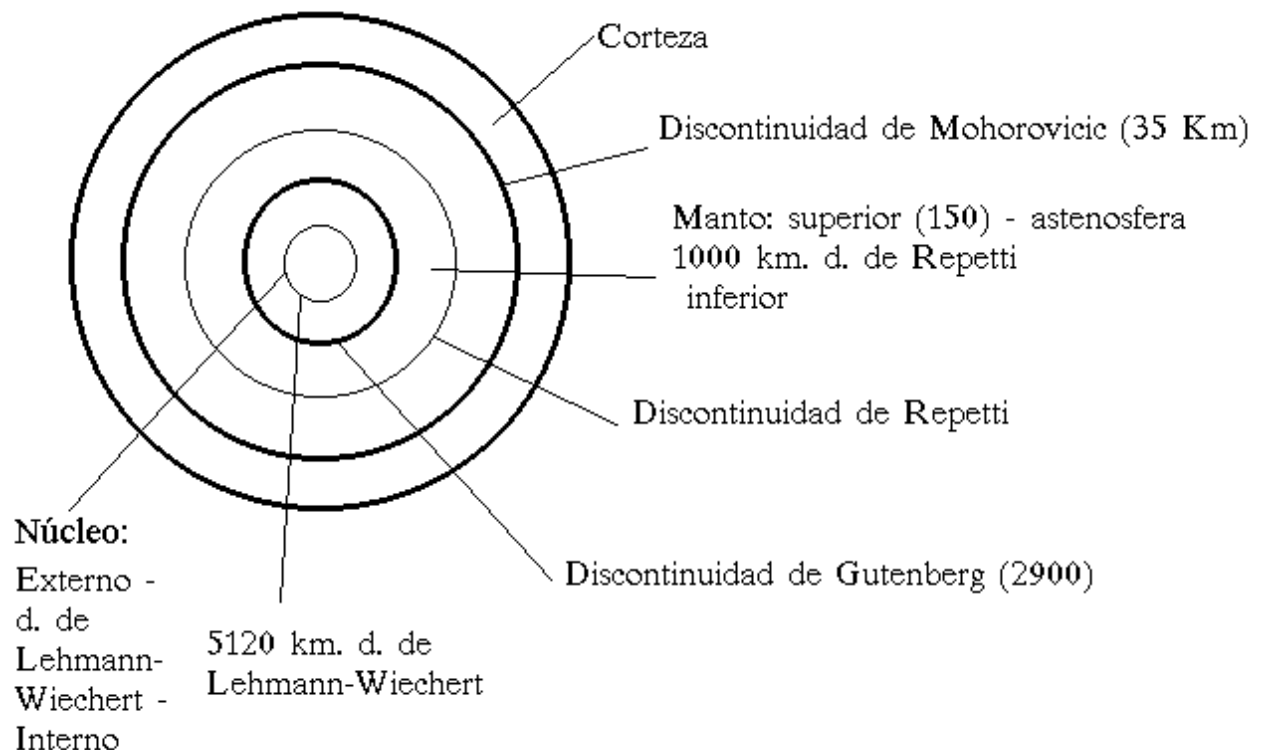
Mediante el estudio de la propagación de las ondas sísmicas se ha conseguido establecer la existencia de una serie de capas que constituyen la estructura interna de la Tierra. Cuando se produce un terremoto o provocamos una explosión se originan ondas P, S que se propagan hacia el interior. Las ondas P viajan a una velocidad de unos 6,8 Km./s, mientras que las ondas S viajan a unos 3,5 Km./s.

Esta velocidad se mantiene prácticamente constante hasta una profundidad media de unos 35 Km. Esta profundidad no es la misma en todas las zonas: mientras en las áreas oceánicas no llega a superar los 8 Km., en las áreas continentales puede llegar a ser de más de 60 Km. Cuando las ondas P llegan hasta esta profundidad tiene lugar un cambio brusco en su velocidad de propagación, pasando a 8,1 Km./s. Como la velocidad de propagación depende de la naturaleza de los materiales, este cambio brusco significa que se ha pasado de unos materiales a otros cuya constitución es muy diferente, por lo que a dicha profundidad situamos una discontinuidad, que es la de **Mohorovicic**. La parte de la Tierra situada por encima de la discontinuidad de Mohorovicic constituye la **corteza**, que es la primera capa estructural.

A partir de la discontinuidad de Mohorovicic, la velocidad de las ondas P va aumentando aunque lentamente y de un modo progresivo llegando a alcanzar los 13,6 Km./s a los 2.900 Km. de profundidad. En este momento se produce nuevamente un cambio brusco en la velocidad de propagación de las ondas, que desciende hasta los 8,1 Km./s. Este cambio brusco nos permite situar una nueva discontinuidad, llamada **discontinuidad de Gutenberg**. La parte de la Tierra comprendida entre las dos discontinuidades es el **manto**, que constituye una nueva capa estructural. Dentro del manto y a unos 1.000 Km. de profundidad se produce una variación en la velocidad de propagación aunque no de un modo muy brusco, por ello situamos aquí una discontinuidad de segundo orden llamada **discontinuidad de Repetti**, que no está admitida por todos. La existencia de esta

discontinuidad permite el considerar un manto superior (situado por encima de ella) y un manto inferior (por debajo). Dentro del manto superior se puede apreciar otra alteración a una profundidad de unos 150 Km., donde se produce un considerable descenso en la velocidad de las ondas P mientras las ondas S casi desaparecen, deduciéndose de esto la existencia de una capa donde los materiales deben encontrarse en un estado semi-fundido. Esta capa de baja velocidad del manto es la astenosfera.

A partir de la discontinuidad de Gutenberg se encuentra la zona central de la Tierra que constituye el núcleo, que es la última capa estructural. Cuando las ondas llegan al núcleo, la velocidad de las ondas P desciende mientras las ondas S desaparecen; este hecho nos permite deducir que, al menos, la parte externa del núcleo es líquida ya que las ondas S únicamente se transmiten por medios sólidos. A una profundidad de 5.120 Km. se produce un nuevo cambio en la velocidad, que aumenta hasta los 10,3 Km./s, por lo que encontramos una nueva discontinuidad de segundo orden llamada discontinuidad de Lehmann-Wiechert. Esta discontinuidad divide al núcleo en externo e interno.



Modelo dinámico de la Tierra

Además, del modelo estructural podemos considerar la existencia de un modelo dinámico. La presencia de la astenosfera, constituida por materiales semi-fundidos de gran plasticidad, permite un desplazamiento de los materiales situados por encima, de modo que esto nos permite considerar una distribución de las capas diferente aunque próxima al modelo estructural:

La zona situada por encima de la astenosfera y que comprende la corteza y parte del manto superior constituye la litosfera.

A continuación se encuentra la astenosfera y por debajo la mesosfera, que comprende el manto superior por debajo de la astenosfera y el manto inferior.

Por último, la endosfera, que comprende el núcleo.

Características de las capas estructurales

– La corteza es la capa de menor volumen y la más superficial, siendo la más importante para nosotros puesto que en ella se manifiestan todos los fenómenos geológicos. Se pueden diferenciar tres tipos de corteza: continental, oceánica e intermedia.

a) **Corteza continental.** Forma las áreas continentales y la plataforma continental, que es la parte del continente que se extiende bajo el océano con extensión variable dependiendo del tipo de costa hasta una profundidad aproximada de 200 m.

La estructura de la corteza continental presenta en la vertical tres capas:

1.– capa sedimentaria, formada por materiales sedimentarios más o menos transformados y con espesores variables que pueden llegar a los 3.000 m.

2.– capa granítica, formada por materiales cuya composición es fundamentalmente de silicatos de aluminio, por lo que también se le llama sial. Las rocas predominantes son las de la familia de los granitos, así como rocas metamórficas

3.– capa basáltica. La composición de los materiales de esta capa es fundamentalmente de silicatos de magnesio, por lo que también se le llama sima. Las rocas predominantes son basaltos, gabros y dioritas.

Entre el sial y el sima, a unos 17 km., se encuentra una discontinuidad de segundo orden, que es la de Conrad.

También, en la horizontal, se pueden distinguir varias zonas tales como los cratones y las cordilleras orogénicas.

· Los cratones constituyen las zonas estables de los continentes, formadas por los escudos y las plataformas. Los escudos se han originado por la erosión de antiguas cordilleras correspondiendo fundamentalmente a las zonas centrales de éstas, por lo que abundan en ellos las rocas metamórficas y magmáticas. Las plataformas son zonas sin relieve que pueden presentar una capa sedimentaria poco deformada.

· Las cordilleras orogénicas constituyen las cadenas montañosas más recientes. Presentan una orientación predominantemente norte-sur o este-oeste. En estas zonas, el sial presenta un gran espesor que puede llegar a los 60 km. debido a que se encuentra enraizado en el sima. También tiene lugar una separación poco nítida entre el sial y el sima de modo que la discontinuidad de Conrad es difícil de localizar y frecuentemente no aparece.

b) **Corteza oceánica.** Se puede diferenciar una corteza abisal, corteza de las dorsales oceánicas y corteza de mares interiores.

1.– Corteza abisal, corresponde a los grandes fondos oceánicos.

Presenta una capa sedimentaria de poco espesor que no supera los 300 m. y que disminuye hacia el interior del océano, y, por

debajo, el sima, en el que se puede diferenciar un sima superior constituido por basaltos con algunos sedimentos intercalados y un sima formado por gabros.

2.– Corteza de las dorsales. Estas alineaciones montañosas submarinas recorren las zonas centrales de los océanos, no presentan capa sedimentaria y su constitución es solamente de basaltos.

3.- Corteza de mares interiores. La única diferencia con la corteza abisal es la presencia de una capa sedimentaria de mayor potencia que puede llegar a alcanzar los 3.000 m.

c) **Corteza intermedia.** Existen algunas en la Tierra constituidas por conjuntos de islas dispuestas en arco con la concavidad hacia el continente más próximo que constituyen los llamados arcos insulares, donde la corteza continental tiene un gran espesor pero no es la misma que la del continente más cercano, por el contrario, la corteza oceánica tiene muy poca potencia. Estas formaciones, para muchos autores, corresponden a la etapa intermedia de la evolución del geosinclinal.

Composición de la Tierra

· En la corteza terrestre se encuentran, prácticamente, todos los elementos del sistema periódico aunque en muy diferente porcentaje. Existen una serie de elementos que abundan más del 1% y que se denominan elementos geoquímicos. Estos elementos son oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio y magnesio; de ellos, el más abundante es el oxígeno, que llega casi al 50%. Estos elementos no se encuentran aislados sino que se combinan entre sí. Como el más abundante es el oxígeno y además tiene mayor afinidad química, los compuestos que más fácilmente se formarán serán óxidos de los distintos elementos, preferentemente de silicio. Estos óxidos podrán combinarse formando compuestos más complejos que son los minerales. Si los más abundantes son los que contienen silicio, los más abundantes serán los silicatos. Siempre que exista sílice se formarán silicatos; cuando no esté presente se formarán los demás compuestos. Los minerales se agrupan de modo natural originando las rocas que son las unidades estructurales de la corteza.

· La constitución del manto es más difícil de establecer. Para la mayoría, el manto está constituido, al menos en su parte superior, por rocas llamadas peridotitas. Otros, sin embargo, piensan que puede estar constituido por eclogitas y dunitas. Esta constitución se deduce considerando la velocidad de propagación de las ondas. A favor de las peridotitas está el hecho de que se han encontrado rocas de este tipo en las zonas correspondientes a la parte central de las cordilleras, que serían de mayor profundidad y las peridotitas podrían proceder del mar.

· La composición del núcleo se piensa que es de hierro y níquel, de ahí que también reciba el nombre de nife; esta constitución se deduce por la velocidad de las ondas y está, además, de acuerdo con una distribución por densidades de los elementos en la Tierra.

Si, considerando únicamente la corteza, el elemento más abundante era el oxígeno, considerando toda la Tierra el primer lugar lo ocupa el hierro.

Clasificación y diferenciación geoquímica

La distribución de los elementos en la Tierra no se ha realizado únicamente por sus densidades con una distribución gravimétrica sino que también intervienen las afinidades químicas de los diferentes elementos que está relacionada con su estructura atómica. De acuerdo con esto, se pueden agrupar los elementos según su afinidad en siderófilos (con afinidad para el hierro metálico), calcófilos (afinidad para formar sulfuros), litófilos (afinidad para formar silicatos) y atmófilos (para encontrarse en la atmósfera). Esta distribución no es estricta y un determinado elemento puede encontrarse en más de un grupo.

En cuanto a la diferenciación geoquímica han existido varias etapas relacionadas con la disposición de los elementos a lo largo del tiempo. En su origen, la Tierra fue un cuerpo incandescente en estado fundido con temperaturas muy elevadas. Al producirse su enfriamiento y llegar a unos 3.000° sería posible la existencia de elementos aislados no combinados. Al continuar el descenso de la temperatura se produciría una distribución de estos elementos de acuerdo con las afinidades químicas que poseen diferenciándose, en esta etapa, la corteza, el manto y el núcleo constituyendo la diferenciación geoquímica primaria.

Cuando la temperatura descendió a los 2.000°, en las zonas más superficiales, que se enfriarían antes, se formarían cristales que hubiesen permanecido estables sino hubiese movimientos pero, al no ser así, se producirían refundiciones. Continuando este proceso llegaría a formarse una capa sólida que constituiría la corteza primitiva siendo el comienzo de los tiempos geológicos hace unos 4.500 millones de años. Posteriormente, a temperaturas inferiores a 1.000° se diferencian la corteza continental y la oceánica constituyendo la diferenciación geoquímica secundaria.

Procesos geológicos externos.

Aunque aparentemente la superficie de la Tierra se mantiene sin alteraciones, realmente, en ella, se han producido a lo largo del tiempo modificaciones que han alterado el aspecto que presenta a nuestros ojos. Estas modificaciones podemos estudiarlas mediante la observación de los materiales correspondientes a épocas que pueden estar muy alejados de nosotros en el tiempo. Esto puede hacerse si aceptamos el principio del actualismo, según el cual los procesos que han tenido lugar en la Tierra a lo largo del tiempo se han realizado del mismo modo a como sucede en la actualidad, teniendo en cuenta el factor tiempo. El estudio de todos los procesos que se han realizado en la Tierra lo hacemos considerando, en principio, que todos ellos forman parte de un gran ciclo geológico.

Ciclo geológico

El conjunto de los procesos geológicos desarrollados a lo largo del tiempo de un modo continuo que afectan a la superficie terrestre constituyen el ciclo geológico. Se desarrolla en tres etapas:

Orogénesis, comprende todos los procesos que dan origen a la formación del relieve, fundamentalmente las cordilleras.

Cliptogénesis, procesos mediante los cuales tienen lugar la erosión del relieve y el transporte de los materiales resultantes.

Litogénesis, depósito y transformación de los materiales transportados junto a los que proceden del manto.

La denominación de ciclo no significa que se realice una sucesión continua de las distintas fases y que al término de un ciclo comience otro nuevo. Si consideramos la Tierra en su conjunto, el ciclo se está realizando continuamente y en las diferentes zonas se estarán produciendo procesos correspondientes a cada una de las fases. Tampoco significa que una fase determinada no comience hasta que concluye la anterior, ya que están solapadas unas con otras. Para una zona determinada de la Tierra, el ciclo puede estar interrumpido en cualquier momento o haber terminado sin que vuelva a comenzar.

Este concepto de ciclo tiende a no ser considerado siendo sustituido por otros conceptos cuya terminología es más precisa, por lo que se habla más frecuentemente de procesos geológicos externos, que constituyen la geodinámica externa y procesos geológicos internos, que constituyen la geodinámica interna.

Procesos geológicos externos

Son los que tienen lugar en la parte más superficial de la corteza, entre la atmósfera, la litosfera y la biosfera. Tienden a eliminar el relieve suavizando la superficie. Las acciones las realizan los agentes geológicos externos, que actúan mediante tres formas:

- Erosión y meteorización de los materiales que a continuación serán transportados teniendo lugar una alteración mecánica y química de estos materiales.
- Depósito de los materiales transportados en zonas deprimidas de la corteza fundamentalmente en los

océanos.

- Formación de sedimentos que serán transformados en rocas sedimentarias.

La energía necesaria para la realización de estos procesos tiene dos fuentes: la radiación solar que permite la existencia de fenómenos atmosféricos y la fuerza de la gravedad que impulsa a los materiales hacia las zonas bajas.

La consecuencia de los procesos externos es la nivelación del terreno eliminando los relieves y rellenando las zonas hundidas.

Los procesos externos se realizan constantemente tanto en el tiempo como en el espacio.

Procesos geológicos internos

Son los que tienen lugar, o al menos se originan, en la zona inferior de la corteza e incluso en el manto. Mediante ellos aparecen nuevas formas y nuevos tipos de materiales. Aunque constituyen unos procesos unitarios, se pueden considerar dos grupos de acciones:

- 1.– Movimientos. Comprenden los diferentes movimientos que afectan a la corteza. Pueden ser orogénicos, epirogénicos, epiroforicos, sísmicos, eustáticos, de convección del manto,...
- 2.– Formación de nuevos materiales. Significa la aparición de nuevos tipos de rocas mediante el metamorfismo y el magmatismo. El metamorfismo comprende el conjunto de transformaciones físico-químicas mediante las cuales se forman las rocas metamórficas. El magmatismo es la formación de rocas magmáticas mediante la consolidación de los magmas.

La energía para la realización de los procesos internos la proporcionan el calor interno del planeta procedente del calor residual o de procesos radioactivos o de transformaciones químicas y la gravedad.

Los procesos internos tienden a formar nuevos relieves y son continuos en el tiempo y discontinuos en el espacio.

Modelado del relieve

El aspecto que presenta la superficie terrestre con sus correspondientes accidentes constituye el paisaje. Éste presenta una disposición que es transitoria, ya que constantemente se está modificando a lo largo del tiempo. Estas modificaciones se realizan de modo que podemos observarlas directamente, aunque, al ser muy lentas, aparentemente no presentan alteraciones. A pesar de que es posible observar directamente los cambios en la superficie, hasta finales del s XVIII no se enunciaron teorías que pretendan explicar las modificaciones. Una de las teorías con más aceptación es la del catastrofismo, según la cual los cambios han tenido lugar mediante sucesivas catástrofes, la última de las cuales había sido el diluvio universal, de modo que el paisaje sería el resultado de la acción de las aguas al retirarse. Las teorías catastrofistas fueron rechazadas cuando se enunció el principio del actualismo.

A finales del siglo pasado se enuncia la teoría de Davis, que es la primera que explica las modificaciones de la topografía mediante la acción continuada de los cursos fluviales, pasando por una etapa juvenil, madura y senil. Según esta teoría, el proceso comenzaría con el levantamiento suave de una región, seguido de una etapa de total tranquilidad tectónica. Este levantamiento daría origen a la formación de una altiplanicie, donde se establecerían los cursos de agua aprovechando los desniveles del terreno. Estos cursos se dispondrían perpendiculares a la costa, con una disposición consecuente. En el punto de su desembocadura, existiría una gran diferencia de pendiente, que el río tiende a eliminar mediante su acción erosiva. La erosión se desplazaría

desde la desembocadura hacia el nacimiento, mediante un proceso de erosión remontante. De este modo, los ríos se encajarían en el terreno y la superficie inicial quedaría diseccionada por los cursos de agua, originándose un relieve muy abrupto, constituyendo la fase juvenil. Los ríos tienden a conseguir su perfil de equilibrio correspondiente a una etapa en la que no se realiza erosión. Si continua el proceso se irían suavizando los relieves mediante la erosión remontante entrándose en la etapa de madurez, donde las formas de relieve ya no serían tan acusadas, sino más redondeadas, de modo que sólo los puntos más altos serían testigos de la primitiva altiplanicie. Además, los ríos que se establecen adoptan una disposición subsecuente, perpendiculares a los ríos principales discurriendo por las zonas más débiles o fracturadas, no dependiendo únicamente de la litología. Por último se llegaría a la etapa senil, en la que los ríos solamente tienen fuerza para discurrir, presentándose un paisaje de amplios valles fluviales separados por pequeñas elevaciones muy redondeadas, con una topografía prácticamente llana, constituyendo la etapa senil. Se ha llegado, de este modo, desde una altiplanicie a una perillanura.

En el desarrollo de su teoría, Davis consideró la existencia de unas condiciones como un largo periodo de estabilidad tectónica y unas determinadas condiciones climáticas. Como esto no siempre se cumple, tuvo que admitir algunas excepciones. Así sucede con la existencia de los relieves policíclicos, en los que existen diversas zonas escalonadas que, según Davis, serían una excepción dentro de la estabilidad general, de modo que habría sucesivas etapas de levantamientos locales en cada una de las cuales se establecerían los correspondientes cursos fluviales responsables de cada uno de los tramos. En cuanto a las condiciones climáticas, consideraba como normales los climas húmedos y templados pero tuvo que admitir excepciones como las correspondientes regiones desérticas o polares, en las que los cursos fluviales no están suficientemente desarrollados y otras como los paisajes volcánicos y calizos donde escasean las aguas superficiales.

Con posterioridad a esta teoría, surgen otras que, o bien la rechazan en su totalidad o solamente la admiten parcialmente. Así, existe una escuela alemana que, en principio, rechaza la existencia de un levantamiento inicial y un largo periodo de estabilidad en el que actúan los cursos fluviales y, por el contrario, considera que son simultáneos los levantamientos y las acciones que realizan los agentes externos, de modo que se están produciendo al mismo tiempo y el paisaje resultante dependerá del predominio de una fuerza u otras. Consideran la existencia de unas fuerzas endógenas crecientes, cuya acción tiende a formar los relieves y unas fuerzas exógenas decrecientes cuyas acciones tienden a eliminar los relieves. Cuando predominan las fuerzas endógenas, existirán relieves acusados, mientras que cuando predominan las exógenas, el relieve será suave.

También tuvo importancia la escuela francesa, que basaba la existencia de una determinada topografía según las condiciones climáticas, siendo, por tanto, el clima el máximo responsable del aspecto de una zona determinada. Según ellos, cada clima reúne unas condiciones determinadas que denominaron: zonales las que son propias de un clima, polizonales si se dan en varios climas, azonales si son propias de cualquier clima y extrazonales si no son propias de un clima y aparecen en otro. Se puede admitir la influencia del clima en el paisaje siempre que se tuviera en cuenta que la delimitación entre diferentes zonas climáticas no es estricta, ni tampoco que en una determinada región haya existido siempre el mismo clima y que también pueden encontrarse formas típicas de un clima que no es el que en estos momentos existe en esa zona. Por todas estas circunstancias, es por lo que, en lugar de referirse a zonas climáticas estrictas, se establecieron unos grandes dominios climáticos que serían: el normal (que correspondería a las condiciones normales que consideraba Davis), árido y subárido, glacial y periglacial, ecuatorial e intertropical.

En la actualidad, se explica la existencia de una determinada topografía de un modo más práctico, y en ella influye el clima, la situación, la meteorología, la litología, la estructura, etc.

La atmósfera

Es la capa gaseosa que envuelve la Tierra con un predominio de nitrógeno y oxígeno y menor abundancia de otros gases como CO₂ y vapor de agua que, sin embargo, tienen una gran importancia. Los gases no se

encuentran estratificados debido a que la agitación térmica los mantiene mezclados entre sí. Aunque es una capa homogénea, debido a que se producen inversiones térmicas en altura podemos diferenciar varias capas:

Troposfera

Es la capa más próxima a la Tierra en contacto directo con la superficie. Por la acción de la gravedad contiene los gases más densos y en ella se producen todos los fenómenos meteorológicos. A partir de la superficie hay una disminución de la temperatura con la altura, que es de unos 0,65°C cada 100 m. No obstante, las capas más bajas (hasta 2 ó 3 mil metros) están influenciadas por las partículas materiales procedentes de la superficie terrestre. Su límite superior es la tropopausa, donde tiene lugar una inversión térmica con un aumento brusco de la temperatura.

Estratosfera

En esta capa los gases se mantienen aún en las mismas condiciones, aunque presentan una disposición en la que se sitúan en estratos o capas de acuerdo con sus densidades. La importancia de esta capa es que en ella tiene lugar la constante transformación de oxígeno en ozono y viceversa, posibilitando la presencia del ozono el que las radiaciones ultravioletas procedentes del sol no lleguen hasta la superficie terrestre. Su límite es la estratopausa, donde hay un gran aumento de la temperatura.

Mesosfera

Es la última capa, donde los gases se encuentran en las mismas condiciones que en la superficie. Su límite superior es la mesopausa, donde se recupera la inversión térmica negativa y se pasa a la ionosfera, donde los gases están ionizados.

El calentamiento de la atmósfera se debe a la radiación solar, pero la troposfera es totalmente transparente a esta radiación, por lo que su calentamiento se debe al que refleja la superficie, que es captado por el CO₂ y el vapor de agua y devuelto en parte a la superficie en una contra-radiación, actuando de modo que se produce un efecto de invernadero.

Debido al movimiento de rotación terrestre y a que el ecuador no coincide exactamente con la órbita, el calentamiento de los diferentes hemisferios es distinto a lo largo del año y del día y la noche, de ahí la existencia de las estaciones.

Presión atmosférica

La masa de aire ejerce una presión sobre la superficie, que tiene un valor medio de 1.013 milibares; sin embargo, esta presión no es la misma en todos los puntos de la superficie, puesto que el aire caliente tiende a ascender provocando una disminución de la presión, originándose zonas de bajas presiones, mientras que el aire frío tiende a descender aumentando, de este modo, la presión originando zonas de altas presiones. El ascenso de las masas de aire sólo es posible si hay una disminución de la temperatura con la altura. En ocasiones existe una capa de aire cálido en altura, provocando una inversión térmica que impide una correcta circulación del aire.

Circulación atmosférica

En teoría, el desplazamiento de las masas de aire en la superficie terrestre sería de tal modo que se moverían las altas desde las altas presiones polares hasta las bajas ecuatoriales, estableciéndose una única celda. Sin embargo, existen unas determinadas fuerzas que actúan sobre cualquier partícula que no sea solidaria con la superficie terrestre. La principal de estas fuerzas es la aceleración de Coriolis, que actúa de modo que una partícula que se desplace en el hemisferio norte a lo largo de un meridiano o un paralelo es desviada hacia la

derecha, mientras en el hemisferio sur la desviación es hacia la izquierda. Como consecuencia de la aceleración de Coriolis, se va a modificar la teórica circulación atmosférica constituida por una única celda, de modo que se establecerán tres celdas que quedan distribuidas en latitudes correspondientes a las que provocan la desviación. Estas tres celdas marcan una circulación general de acuerdo con la cual existen zonas permanentes de altas y bajas presiones en determinadas latitudes. Una celda quedará establecida entre la zona polar y la zona subpolar; otra zona entre la zona subtropical y la zona ecuatorial y la tercera, intermedia entre las dos, está forzada por la presencia de éstas, siendo la dirección del desplazamiento entre la zona subtropical y la zona subpolar. La circulación del aire desde las zonas de altas presiones a bajas presiones también está afectada por la aceleración de Coriolis, de modo que no es perpendicular a las isobaras. En las zonas de altas presiones, la circulación del aire es centrífuga, mientras en las de bajas presiones es centrípeta.

Acción geológica de la atmósfera

Se llama meteorización a la acción que realiza la atmósfera sobre los materiales mediante sus componentes y por las variaciones de temperatura. Estas acciones se manifiestan por transformaciones físico-químicas en las rocas como consecuencia de las diferentes condiciones en las que se originaron y las que presentan en la superficie. La meteorización actúa de modo que podemos considerar una acción mecánica y una acción química.

– **Meteorización mecánica.** Tiene lugar, fundamentalmente, por las diferencias de temperatura, por tanto se realizará, sobre todo, en zonas con grandes variaciones térmicas. El resultado es la aparición de fragmentos de pequeño tamaño sin grandes alteraciones. Existen varias formas de meteorización mecánica:

a) Lajación por descarga. Se produce cuando una roca es erosionada de modo que la erosión elimina materiales de esta roca y, de este modo, disminuye la presión sobre los que están situados por debajo, provocando una descompresión que da origen a la separación de pequeñas láminas.

b) Gelivación. En zonas de alta montaña, el agua penetra en las grietas de las rocas. Cuando desciende la temperatura, el agua se congela aumentando de volumen, por lo cual ejercerá una presión sobre las paredes de las grietas, llegando a fragmentar la roca; estos fragmentos pueden acumularse originando los canchales.

c) Formación de sales. Es un proceso parecido a la gelivación, sólo que originado mediante la formación de sales en la roca con un aumento de volumen.

d) Expansiones y contracciones térmicas. En los desiertos, donde existen grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche, los materiales están sometidos a constantes expansiones y contracciones, que podrán llegar a disgregarlos.

– **Meteorización química.** Es la que realizan los componentes de la atmósfera, provocando alteraciones químicas en los materiales. Su acción es más intensa en las zonas de clima húmedo y templado. Se manifiesta de varias formas:

a) Disolución. Cuando en la superficie existen materiales muy solubles puede tener lugar su disolución por medio del vapor de agua presente en la atmósfera.

b) Hidratación. En ocasiones, determinados compuestos absorben agua incorporándola a su estructura, con la consiguiente transformación. El caso más típico es el de la anhidrita, que se transforma en yeso aumentando de volumen.

c) Hidrólisis. Tiene lugar cuando la molécula de agua de los minerales se rompe originando una transformación que a veces tiene gran importancia en la erosión de determinadas rocas, como sucede en algunas rocas magmáticas en las que los feldespatos se transforman en arcillas.

d) Carbonatación. Es la combinación del CO₂ de la atmósfera con el CaCO₃ de las calizas en presencia de agua, transformándolo en bicarbonato cálcico. La importancia de este hecho es que el carbonato, que es insoluble, se transforma en bicarbonato, que es soluble.

e) Oxidación. Consiste en la combinación del oxígeno atmosférico con determinados minerales, sobre todo compuesto de hierro, provocando su alteración.

Las acciones de la meteorización no son muy aparentes y, frecuentemente, suponen, más que una acción directa, una preparación para la actuación de otros agentes.

Suelos

El suelo es una capa no estructural que recubre prácticamente toda la superficie terrestre. Tiene una constitución muy compleja y, en su formación, intervienen la litosfera, la biosfera y la atmósfera. No podemos considerarlo como solamente un conjunto de materia mineral y materia orgánica, ya que entre éstas se establecen interrelaciones muy complejas. Por otra parte, no es una formación que permanezca invariable, sino que constantemente está evolucionando.

La formación de un suelo comienza con la disgregación o alteración de las rocas mediante las cuales se forman pequeñas partículas que se irán acumulando junto a otras que hayan sido transportadas hasta allí. Así se origina el esqueleto mineral del suelo. Posteriormente, sobre este contenido mineral, se establecerán vegetales procedentes de semillas que hayan sido transportadas. A partir de estos vegetales, se origina la materia orgánica, que se incorpora junto a la materia mineral, haciendo posible la aparición de microorganismos que originan transformaciones en esta materia. Por último, se instalarán animales que proporcionarán más materia orgánica y removilizarán las partículas.

Factores que influyen en el tipo de suelo

En el tipo de suelo que se puede originar influyen una serie de factores que condicionan su evolución. En primer lugar depende de la roca madre original, cuya naturaleza condicionará el esqueleto mineral y, por tanto, la base del suelo. Las rocas de textura granuda darán origen a suelos arenosos con componentes que se han originado, preferentemente, por una alteración mecánica, mientras rocas como arcillas o calizas sufren, fundamentalmente, alteración química y originan suelos arcillosos. Por tanto, desde este punto de vista, influyen tanto la naturaleza de la roca original como el tipo de erosión que sufre. La influencia de la roca madre en el tipo de suelo es importante en las primeras etapas de formación del suelo, pero disminuye en el transcurso del tiempo, teniendo más influencia el clima.

El tipo de clima condiciona la acción de los agentes geológicos que actúan sobre las rocas. Si los climas son áridos y secos, la acción erosiva será, preferentemente, de tipo mecánico, mientras en climas húmedos predominará la acción química, produciéndose transformaciones en los materiales. La influencia del clima es de tal manera que incluso diferentes tipos de rocas bajo un mismo clima pueden originar el mismo tipo de suelo, mientras las mismas rocas en distintos climas forman suelos diferentes.

Otro factor que podemos considerar es la vegetación, puesto que ésta proporciona la mayor parte de la materia orgánica del suelo, condicionando, de este modo, el contenido de humus; frecuentemente hay una relación directa entre la constitución del suelo y el tipo de vegetación que se desarrolla sobre él.

Por último, también tiene una cierta influencia la topografía, ya que, en cierto modo, la mayor o menor inclinación del terreno permitirá la acumulación de partículas condicionando el espesor del suelo.

Composición del suelo

En un suelo se pueden diferenciar dos grupos de componentes: una fracción mineral y una fracción orgánica.

La fracción mineral es un conjunto de partículas de muy diversa naturaleza y composición. En ella, se pueden distinguir:

- a) un conjunto de fragmentos minerales procedentes de la roca original con distintos tamaños como gravas, arenas y arcillas
- b) una porción arenosa sin transformación química constituida por granos de cuarzo
- c) una porción arcillosa cuyos componentes son el resultado de la alteración química y pueden continuar sufriendola durante toda la evolución
- d) un conjunto de iones minerales de diferentes cargas que constituyen la base de la nutrición de los vegetales, que solamente pueden absorberlas si se encuentran en determinadas condiciones

La fracción orgánica del suelo se llama humus o mantilla y está constituida por los restos tanto vegetales como animales. Podemos distinguir dos tipos de humus:

- a) Humus bruto, constituido por restos sin alterar o poco transformados, de modo que en ellos aún se puede apreciar su morfología y el organismo del que proceden
- b) El Humus elaborado está constituido por materia orgánica en descomposición, que no sólo proporciona un contenido orgánico sino que, como consecuencia de esta descomposición, se desprenden una serie de ácidos húmicos que actúan sobre las partículas minerales llegando a producir algunas transformaciones

Textura y estructura del suelo

La textura se refiere al tipo de partículas minerales que constituyen el suelo. La estructura se refiere a cómo están dispuestas estas partículas.

La estructura y la textura del suelo condicionan su porosidad, su capacidad de absorción y su PH.

Perfil del suelo

Como consecuencia de los procesos de evolución del suelo se van a poder diferenciar una serie de capas que no son estructurales y que se denominan horizontes. En un suelo típico se diferencian tres horizontes: horizonte A (también llamado eluvial o de lavado), horizonte B (llamado iluvial o de depósito) y horizonte C.

El horizonte A es el más superficial. Es rico en humus y está empobrecido en materia mineral ya que parte de ella puede haber sido arrastrada hacia abajo por el agua que circula. Se pueden distinguir subhorizontes de acuerdo con el estado de la materia orgánica. En el superior, el humus estará constituido por restos orgánicos muy poco transformados en los que se puede apreciar siempre su estructura y morfología. Los otros subhorizontes tienen un humus más elaborado, constituido por restos en descomposición.

El horizonte B es rico en materia mineral debido a que en él precipitan sustancias procedentes de las disoluciones en el horizonte A. Por el contrario, es muy pobre en humus.

El horizonte C solamente tiene materia mineral, que procede directamente de la evolución de la roca original.

Tipos de suelo

Se pueden hacer diversas clasificaciones. De acuerdo con su evolución, se pueden distinguir:

- a) Suelos brutos, sin evolucionar, no hay una diferenciación en horizontes
- b) Suelos poco evolucionados, presentan un horizonte del tipo AC; entre ellos tenemos: ranker, chernozem, rendzinas
- c) Suelos evolucionados, horizonte del tipo ABC; entre ellos tenemos: tierras pardas, podsoles, tierras rojas, suelos salinos, gley

Acción del viento

El viento realiza, preferentemente, una acción dinámica aunque también una pequeña acción debida a los componentes atmosféricos. La acción del viento va a tener lugar, sobre todo, en zonas que tienen unas determinadas condiciones como gran abundancia de partículas sueltas, presencia de vientos constantes y poca humedad que evite el que las partículas se unan. Por tanto, las zonas más favorables serán los desiertos y algunas playas.

Erosión

La acción erosiva del viento se manifiesta de tres formas:

- a) Corrosión. Es la acción erosiva que realizan las partículas al chocar contra las rocas. Sobre la superficie de las rocas y debido al rozamiento de las partículas, tiene lugar una pulimentación. Cuando en las rocas existen minerales de diferente dureza, serán erosionados en primer lugar los más blandos, apareciendo una serie de huecos y originándose así las rocas alveoladas. Como la mayor parte de las partículas son transportadas cerca de la superficie, la erosión de la roca será más intensa en la parte más baja originándose las rocas en seta. Cuando el viento actúa sobre cantos sueltos y existen vientos de direcciones variables, en los cantos se originan una serie de aristas, denominándose a estos cantos ventifactos. Si existe alternancia de materiales duros y blandos, tiene lugar una erosión diferencial, de modo que si las capas están horizontales se formarán superficies escalonadas, si las capas están verticales se forman túneles o corredores llamados yardang.
- b) Deflacción. Cuando existen partículas sueltas, el viento puede arrastrarlas de modo que solamente permanecen los cantos, formando los desiertos de piedra. En ocasiones, cuando son arrastradas las partículas, se originan hondonadas llamadas graras o sebjas, que, ocasionalmente, pueden llenarse de agua y cuando ésta se evapora se forma una costra salina. También puede suceder que, al arrastrarse las partículas, se llegue hasta el nivel freático del agua subterránea, formándose un oasis.
- c) Atricción. Es la erosión que sufren las partículas al chocar con los obstáculos.

Transporte

La forma en que el viento transporta a las partículas depende de la fuerza del viento y del tamaño de las partículas. Según esto, el transporte puede ser: en suspensión, en arrastre, en saltación y en reflexión.

Sedimentación

Los depósitos originados por el viento son de dos tipos: arenas y loes.

- a) Arenas. Son depósitos, generalmente, de gran extensión, característicos de los desiertos y las playas, constituidos, fundamentalmente, por granos de cuarzo muy seleccionados, prácticamente esféricos. La acumulación de estos granos forma llanuras arenosas, acumulaciones irregulares (llamadas "goze"), mares de

arena y, sobre todo, dunas.

Las dunas son acumulaciones de arena que se originan cuando existe un obstáculo sobre el que se irán acumulando sucesivamente los granos o bien, cuando al cesar momentáneamente el viento se acumulan pequeños montículos arenosos que actúan como obstáculos. Una duna típica presenta una pendiente suave, que corresponde a la dirección en la que sopla el viento (por lo que las partículas se irán amontonando poco a poco) y una pendiente más acusada en el lado opuesto, debido a que en este paso las partículas se desmoronan. Las dunas son fijas cuando permanecen indefinidamente en el mismo lugar y se denominan móviles si se desplazan a lo largo del tiempo. Los tipos principales de dunas son:

Dunas transversales, características de las playas; se originan por la presencia de vientos constantes de no mucha intensidad, disponiéndose las partículas en sentido vertical a la dirección del viento

Dunas longitudinales, características de los desiertos y originadas por vientos constantes que son interceptados por vientos que soplan lateralmente; ocasionalmente, pueden romperse estas dunas cuando los vientos transversales sin muy fuertes formándose cadenas de dunas

Barjanes, son dunas en forma de media luna que se originan cuando el viento sopla en una dirección desplazándose hacia los lados formando unos salientes que les da el aspecto característico

b) Loes. Son acumulaciones de partículas muy finas de naturaleza arcillosa que pueden contener cuarzo y carbonato cálcico. En relación con su origen, en principio se pensó en un origen volcánico pero en la actualidad se cree que tienen origen glacial y desértico. El loes ocupa grandes extensiones en las zonas centrales de los continentes y en la periferia de los desiertos. Su espesor es muy variable y no aparece estratificado. Es fácil de erosionar y frecuentemente está agrietado. Su color es amarillento y, en ocasiones, presenta en la superficie una formaciones muy características llamadas muñequitas de loes, que son concreciones de caliza que han ascendido por capilaridad hasta la superficie.

Las zonas más favorables para la acción del viento son los desiertos, donde se puede apreciar una distribución de zonas en relación con el viento. En un desierto típico, existe una zona central montañosa que es el origen de las demás y en la que hay una constante situación anticiclónica, de modo que los vientos soplan siempre hacia el exterior. Esta zona se denomina hamada. Alrededor de ella se dispone el desierto de piedra o raj. A continuación, el desierto de arena o erg y, por último, el loes. Esta disposición responde a la dirección en la que el viento sopla constantemente.

Acción de las aguas continentales

Las aguas continentales forman parte del ciclo general del agua que se establece a partir de las precipitaciones, la escorrentía, la evaporación y precipitación. Se pueden considerar diversos tipos de manifestaciones del agua en los continentes.

Aguas salvajes

Son las que proceden directamente del agua de lluvia y discurren por la superficie del terreno sin un cauce fijo. Se denominan también aguas de arroyada. La acción de estas aguas es, fundamentalmente, erosiva, sobre todo en materiales sueltos o poco consistentes y en materiales solubles. Dan origen a corrimientos de tierra cuando existen capas que, al absorber agua, se hacen más plásticas, favoreciendo los deslizamientos. La acción sobre materiales sueltos o poco consistentes se manifiesta de modo que en las laderas se forman pequeñas corrientes de agua que irán profundizando en el terreno, formándose una serie de crestas, originándose de este modo los barrancos o cárcavas, sobre todo en regiones mediterráneas, con lluvias aisladas o torrenciales.

El suelo forma una superficie irregular denominándose badlands. Cuando, sobre materiales poco compactados existen cantos sueltos, estos cantos protegen a los materiales situados bajo ellos, de modo que el resto de los materiales son arrastrados formándose pirámides de tierra con un canto en la parte superior que se denominan chimeneas de hadas. Estas formaciones son muy inestables y terminan por desmoronarse debido a la socavación de la base. En los materiales solubles las aguas de lluvia producen una disolución superficial apareciendo una serie de pequeñas grietas, o bien huecos formándose, de este modo, los lenares y lapiaces.

Aguas encauzadas

Son las que discurren por un cauce fijo. La acción que realizan depende de su potencia. La potencia viene dada por $P=KSV^3$, siendo S la superficie inundada del cauce y V la velocidad del agua. Esta potencia dependerá, entonces, del caudal y del régimen hidráulico, siendo importante también las variaciones que se producen en las crecidas con el consiguiente cambio de régimen. La potencia neta de una corriente viene dada por la potencia total menos las pérdidas de potencia que se producen debidas al rozamiento y al transporte: $P_n = P_t - (P_r + P_{tv})$. Según sea la potencia neta se realizarán unas determinadas acciones.

Si la potencia neta es mayor que cero, se producirá erosión, ya que la corriente tiene un exceso de energía. Esta acción erosiva es debida a la fuerza del agua, a su velocidad y a su masa, influyendo la cantidad de materiales transportados y la presión del agua sobre los materiales. Los efectos que realiza serán el desgaste, rotura y disolución de los materiales transportados y de los materiales recorridos.

Si la potencia neta es cero, el agua no tiene fuerzas para erosionar y únicamente podrá realizar el transporte de los materiales. Este transporte puede realizarse en disolución, en flotación, en suspensión, en arrastre o en saltación.

Si la potencia neta es menor que cero, el agua no tiene fuerzas ni siquiera para transportar los materiales, por lo cual se produce su depósito.

– Torrentes

Son corrientes de agua con un régimen de alimentación torrencial que tienen un cauce fijo y un caudal intermitente. Podemos distinguir dos tipos de torrentes: los torrentes de montaña y los torrentes de regiones áridas.

a) Torrentes de montaña. Su alimentación es de lluvia o de nieve. Se encuentran en zonas de montaña pudiendo constituir entidades independientes o ser la cabecera de algunos ríos. En ellos se pueden diferenciar tres zonas:

1.– Cuenca de recepción, donde se reúnen las aguas de lluvia o de deshielo constituyendo la cabecera del torrente

2.– Canal de desagüe, que es el verdadero cauce del torrente; tiene una pendiente muy acusada por donde circula el agua violentamente con régimen turbillónar. Los materiales son transportados de modo que no existe ningún tipo de selección debido a la gran potencia de la corriente; estos materiales proceden tanto de la erosión del cauce como de las laderas

3.– Cono de deyección, se sitúa al final del torrente, que puede desembocar en un río o no; en cualquier caso es la zona en la que disminuye la pendiente de modo brusco por lo que la pérdida de potencia es instantánea depositándose bruscamente los materiales transportados. Debido a que el cauce es muy estrecho y la salida del agua es brusca, se expansiona formando una especie de abanico o de cono. Estos depósitos no presentan selección ya que son transportados juntos los de tamaños diferentes y el depósito es instantáneo. Los cantos son angulosos ya que, aunque el transporte es violento y habrá muchos choques entre los cantos, no llegan a

eliminarse las aristas debido a que el transporte es muy corto. Es frecuente que los depósitos de varios torrentes vecinos se unan entre sí constituyendo, entonces, los depósitos de pie de monte

b) Torrentes de regiones áridas. Tienen alimentación de agua de lluvia con régimen muy esporádico y lluvias torrenciales. A este tipo pertenecen las ramblas mediterráneas (con pendientes no muy acusadas) y los torrentes del desierto o ouad, que tienen un fondo prácticamente plano de modo que, en ocasiones, pueden discurrir en ambos sentidos. Los sedimentos de estos torrentes forman unos depósitos típicos llamados fanglomerados.

– Ríos

Son cursos de agua de cauce fijo y caudal continuo aunque no permanente ya que es variable. Su régimen de alimentación es muy variado: de lluvia, de nieve, de hielo, mixto, etc.

• Erosión fluvial

Se manifiesta, fundamentalmente, en las modificaciones que sufre el valle fluvial. Mediante su ahondamiento, ensanchamiento y alargamiento.

a) Ahondamiento del valle. Se realiza siempre que la erosión de fondo predomine sobre la de las orillas, por lo cual el resultado será la formación de un valle en V, siendo el resultado de la formación de varios fenómenos como:

1.– Gargantas, son desfiladeros que, generalmente, son originados materiales duros, donde el río se encaja; si los materiales son heterogéneos puede producirse una erosión diferencial formándose terrazas estructurales de erosión

2.– Pílancones o marmitas de gigante; cuando en el cauce existen cantos sueltos y el régimen de la corriente es turbillonar, los cantos están sometidos a giros continuos, de modo que su rozamiento con el fondo del cauce provocará el ahondamiento de éste

3.– Cataratas o cascadas, son puntos del cauce donde tiene lugar una ruptura de pendiente muy acusada y de forma brusca por donde el agua se desploma desde una cierta altura. El origen de las cataratas es muy variado, tales como: fallas, presencia de diques, hundimientos, elevaciones, erosión diferencial, etc. Las cataratas son formaciones temporales, desapareciendo más o menos tarde; esto es debido a que, al desplomarse el agua, se producirá una erosión intensa de la base de la catarata, de modo que terminará por desplomarse dando origen a un rápido, al mismo tiempo que el río se encajona

b) Ensanchamiento. Se produce cuando existe un predominio de la erosión de las orillas sobre la de fondo. De este modo se origina un valle más amplio de paredes más suaves llamado valle en artesa.

Una formación característica de este tramo del río son los meandros, que son sinuosidades (curvaturas) que aparecen en el cauce debido a un equilibrio entre la potencia y la resistencia, de modo que cuando aparece un obstáculo, el río no tiene fuerza suficiente para eliminarlo viéndose obligado a rodearlo originándose, de este modo, una curva. La incidencia de la corriente es de modo que choca directamente con la parte cóncava de la curva, por lo cual realizará una acción erosiva sobre ella, haciendo que la curvatura se pronuncie cada vez más. A medida que evoluciona el meandro, puede suceder que dos curvas sucesivas se pongan en contacto y el río, en una crecida, supere el punto de tangencia quedando abandonado un meandro que formará un lago semilunar. Los meandros que evolucionan y que son típicos de los tramos medios del río se denominan meandros divagantes; los meandros típicos del curso alto originados sobre materiales duros se denominan meandros encajados, que, cuando son abandonados, forman arcos naturales.

c) Alargamiento. Como consecuencia de la erosión remontante, la acción erosiva progresa desde la desembocadura hacia el nacimiento. Por ello, en muchos ríos actuales, la acción erosiva es más intensa en la zona próxima al nacimiento. Puede suceder que un río que tenga suficiente capacidad erosiva capture a otro que discorra próximo a él, produciéndose de este modo un alargamiento de valle y apareciendo un valle abandonado del río capturado. La zona de captura forma un ángulo más o menos recto.

• Sedimentación

Los depósitos fluviales constituyen, en general, los aluviones. En ellos se observa una selección por tamaños de modo que en la vertical encontramos los más gruesos o gravas en el fondo; a continuación los intermedios o arenas; y encima los más finos o arcillas. Esta disposición puede estar alterada debido a las riadas. También hay una selección horizontal, de modo que los más gruesos predominan en el centro del cauce, disminuyendo el tamaño hacia las orillas. Lo mismo sucede a lo largo del cauce, predominando los más gruesos en el curso alto. Estos materiales se disponen formando llanuras fluviales, a veces de gran amplitud y en las que el río discurre sobre sus sedimentos de modo que pueden originarse inundaciones cuando se produce una crecida. También forman lentejones o islotes en el cauce.

Los deltas son depósitos que se forman en la desembocadura de algunos ríos, constituidos por partículas de pequeño tamaño. Para que se forme un delta es necesario que la desembocadura tenga lugar en zonas donde la potencia del mar y la del río estén equilibradas, de modo que los materiales transportados se depositen en la misma desembocadura. También es necesario que el río transporte gran cantidad de partículas finas. La formación del delta comienza con el depósito de las partículas en el fondo, que irá aumentando hasta llegar a superar la superficie, formándose islotes de modo que el río se bifurca en una serie de brazos. Los deltas tienen forma típica de triángulo con un vértice hacia el río y evolucionan hacia el interior del mar con una pendiente muy suave.

• Perfil longitudinal

Es el perfil que describe el cauce del río desde el nacimiento hasta la desembocadura. Todos los puntos del perfil son variables, excepto uno que tomamos de referencia y que es el correspondiente a la desembocadura. Este punto se denomina nivel de base. Pueden considerarse niveles de base locales cualquier zona donde el río se remansa; para los afluentes, el nivel de base es su desembocadura en el río principal.

El río tiende a eliminar los accidentes de su cauce, suavizando el perfil. Se llama pendiente de equilibrio al punto en el que el río alcanza un estado en el que solamente transporta materiales sin que realice erosión.

Se llama perfil de equilibrio provisional a aquel en el que a lo largo de todo el cauce se ha alcanzado la pendiente de equilibrio, de modo que el río sólo transporta materiales. El perfil de equilibrio definitivo sería aquel en el que el río solamente tuviera fuerza para discurrir, sin erosionar ni transportar. Este es un concepto teórico y nunca llega a alcanzarse debido a la existencia de rejuvenecimientos y envejecimientos:

a) Rejuvenecimientos. Existen diversos factores que pueden modificar la potencia del río y, en este caso, aumentarla. Entre estos factores tenemos modificaciones en el nivel de base cuando asciende el continente o desciende el océano, comenzando un nuevo ciclo erosivo. Otras causas pueden ser: aumento del caudal por mayor aporte de los afluentes o por un cambio climático con aumento de precipitaciones. También puede darse una disminución de la carga, de modo que el exceso se potencia sea utilizado para erosionar.

b) Envejecimientos. Suponen una disminución de la potencia. Tienen lugar por modificaciones del nivel de base cuando desciende el continente o asciende el océano, por cambios climáticos a otros más secos, por menor aporte de los afluentes, por aumento de la carga, etc.

En los ríos actuales se han producido cuatro épocas de rejuvenecimientos y envejecimientos alternativos, que

se corresponden con los cuatro periodos glaciares e interglaciares que han tenido lugar en el Cuaternario. Esta alteración de rejuvenecimientos y envejecimientos da origen a la formación de las terrazas fluviales: cuando tiene lugar un envejecimiento, al perder potencia, el río depositará materiales. Cuando se rejuvenece aumenta la erosión y el río se encaja abandonando parte del cauce primitivo y así se repite el proceso hasta en cuatro ocasiones.

Lagos

Son acumulaciones de agua en zonas más o menos deprimidas del terreno y que persisten durante un tiempo determinado. El agua puede proceder de lluvia, manantiales, ríos, etc. Para que exista un lago es necesario, además, que tenga un fondo impermeable que evite que las pérdidas por infiltración sean superiores a la alimentación. Tipos:

Según su régimen pueden ser:

- a) Exorreícos. Tienen un emisario que puede ser un manantial o un río. también presentan un afluente.
- b) Endorreícos. Tienen afluente pero carecen de emisario.
- c) Arreícos. No tienen ni afluente ni emisario.

Según la causa que los origina pueden ser muy variados:

- a) Glaciares: – de morrena
 - de barrera de hielo
 - de sobreexcavación
- b) Coralinos: como los atolones
- c) Por obstrucción de un valle
- d) Volcánicos: – de cráter
 - de barrera de lava
- e) Fluviales: – meandros abandonados
 - lagos deltaícos
- f) Eólicos: por deflación
- g) Litorales: albuferas
- h) Tectónicos: debidos a sistemas de fallas

En los lagos se realizan las mismas acciones que en el mar pero a menor nivel.

Los lagos son formaciones temporales que terminan por desaparecer. Las causas de su desaparición pueden ser varias:

- a) Evaporación superior a la alimentación
- b) Infiltración superior a la alimentación
- c) Relleno de materiales

La evolución de un lago da origen a la formación de una zona pantanosa antes de su desaparición.

Agua sólida

Existen lugares donde las precipitaciones son siempre en forma de nieve, acumulándose sucesivamente sin que llegue a fundirse a lo largo de todo el año. Estos lugares están delimitados por la isoterma 0° y su situación depende de la latitud. La acción geológica que realiza la nieve por sí misma es muy poco apreciable, solamente en el caso de la formación de aludes pueden realizar una cierta erosión cuando la masa de nieve se desliza por una ladera arrastrando los materiales sueltos y formando canales de erosión.

– Periglaciario

Se refiere a las acciones que tienen lugar en regiones con nieves perpetuas y donde no llegan a formarse glaciares, por tanto corresponden a las zonas alrededor de los glaciares o bien del interior de algunos glaciares. En el periglaciario se realizan acciones como consecuencia de un constante hielo y deshielo. Entre estas acciones tenemos:

- a) Gelivación, solidificación del agua en las grietas de las rocas
- b) Crioturbación, modificación del suelo mediante la formación y licuación del hielo manifestándose de diversas maneras:
 - 1.– Cantos elevados por medio de una columna de hielo
 - 2.– Suelos poligonales formados por cantos por cantos orientados como consecuencia de la presencia de materiales arcillosos cuya congelación varía con respecto a la del agua y su temperatura es diferente a la del canto
 - 3.– Pip–crecks, son cantos elevados sobre columnas de hielo que sufren un determinado giro adquiriendo una disposición característica
 - 4.– Suelos almohadillados

En relación con el suelo periglaciario se puede distinguir el pergelisuelo, que es un suelo permanentemente helado hasta una cierta profundidad y el mollisuelo, que es un suelo que permanece helado solamente durante una época del año y que o bien puede ser independiente o corresponder a la parte superficial del pergelisuelo.

– Glaciares

Un glaciar es cualquier masa de hielo que se mueve más o menos aparentemente a favor de la gravedad. En la actualidad, existen glaciares en zonas de alta latitud y en altas montañas de regiones templadas.

Para que se forme un glaciar es necesario que tenga lugar una alimentación alta en forma de precipitaciones de nieve y bajas temperaturas que impiden que el hielo se funda. El glaciar comienza a formarse por la acumulación de nieve que, debido a la presión, se transforma en una masa más compacta llamada nevé o neviza que, a su vez, se convierte en hielo esponjoso y, finalmente, en hielo glaciar, bastante denso y de color

azulado. La masa de hielo, a diferencia del agua, puede moverse a contrapendiente. Este movimiento es más rápido en el centro cerca de la superficie, disminuyendo hacia el fondo y los lados; también es más rápido en los ensanchamientos y disminuye en los estrechamientos.

• Tipos de glaciares

a) Glaciares marinos. El agua del mar se congela a una temperatura algunos grados bajo cero, dependiendo de la salinidad, formándose una capa de hielo de no gran espesor que se denomina banquís. Estas masas de hielo se fracturan formándose entre ellas unos canales llamados pack y originando iceberg, planos,... En la actualidad, este tipo de glaciar sólo existe en el polo sur.

b) De casquete polares o inlandsis. Son masas de hielo de gran espesor que pueden superar los 3.000 m. y que, en la actualidad, se encuentran en Groenlandia y en el polo sur. En Groenlandia la masa de hielo ha provocado el hundimiento del centro de la isla originando una depresión isostática. Solamente afloran sobre el hielo los picos más altos de las montañas, que forman los nunatacs, sometidos a periglaciario. Cuando el hielo llega al mar se desprenden grandes bloques que forman iceberg. Estos glaciares están en equilibrio y no avanzan por falta de alimentación ni retroceden debido a las bajas temperaturas.

c) De meseta o escandinavo. Es, en realidad, un casquete muy reducido. Se encuentran en Escandinavia y de la masa de hielo salen lenguas que llegan hasta el mar.

d) De valle o alpino. Es el más típico. Se encuentra en las altas montañas de zonas templadas. En él se diferencian tres partes:

1.- el circo, donde se acumula el hielo

2.- la lengua, que es la masa de hielo que desliza

3.- la zona de fusión o ablación, donde el hielo se funde; en esta zona puede que la temperatura sea superior en varios grados al cero, debido a defecto de nevera que produce la masa de hielo

e) Pirenaico o de circo. Es como el anterior pero únicamente reducido al circo debido a la falta de alimentación o las altas temperaturas que impiden que se forme la lengua.

f) Alaskiano. Es un glaciar que se origina al confluir varias lenguas en una meseta desde donde se originan otras lenguas, que llegan al océano.

• Accidentes del glaciar:

a) Grietas. Pueden llegar a tener hasta 10 m. de anchura. Existen varios tipos:

1.- Seracs. Son bloques de hielo separados por grietas perpendiculares entre sí que se forman en el circo glaciar debido a la diferente velocidad de desplazamiento de los distintos tipos de hielo.

2.- Rimaya. Son las grietas que en el circo separan el hielo de las paredes debido a las diferentes temperaturas.

3.- Grietas longitudinales. Se forman en la lengua y en los ensanchamientos como consecuencia de la distinta velocidad en los lados y en el centro.

4.- Grietas transversales. Se forman en la lengua cuando ésta supera un obstáculo.

5.- Grietas oblicuas o crevasses. Son originadas por la diferente velocidad del hielo en distintas zonas.

b) Arrugas de hielo. Aparecen en la superficie cuando se estrecha el cauce.

c) Arroyos supraglaciares sobre la lengua originados por fusión.

d) Arroyos subglaciares, que discurren bajo el hielo.

e) Iceberg. Son grandes masas de hielo originadas al fracturarse la lengua cuando llega hasta el océano. Los del hemisferio norte son más potentes y son arrastrados por las corrientes hasta latitudes más bajas, donde se funden. Los del hemisferio sur son más planos y de menor espesor.

• Erosión glaciar

Han existido tres tendencias en relación con la acción erosiva del hielo. Para los ultraglaciarios el hielo es responsable del modelado de todos los materiales por donde discurre. Para los antiglaciarios, el hielo no sólo no erosiona sino que protege los materiales sobre los que se encuentra. Actualmente, se piensa que el hielo realiza una determinada acción erosiva pero además hay que considerar las acciones de otros agentes que pueden modificar la erosión del hielo propiamente dicha. La acción erosiva del hielo es debida al empuje de la propia masa de hielo así como el rozamiento de los materiales que transporta.

En un glaciar se pueden apreciar distintas formas de erosión:

a) Circo. Es una depresión más o menos circular que puede haber correspondido a la cabecera de un torrente y donde, como consecuencia de la acción del hielo y de la meteorización, tiene lugar un retroceso de las laderas. Cuando dos circos se sitúan en las laderas opuestas puede formarse una arista glaciar; si son tres o más circos se forma un pico piramidal o horn.

b) Valle glaciar. Tiene forma de U, puede presentar transversalmente una serie de escalones que son resultado de glaciares de distintas épocas y diferente potencia o también debido a la acción de ríos. Longitudinalmente presentan cubetas de sobreexcavación originadas bien por un aumento de la masa de hielo o por una erosión diferencial; cuando desaparece el hielo puede formar lagos llamados ibones. También se forman umbrales o verrous a modo de escalones en la salida del circo y en las cubetas; en estas zonas el hielo circula a contrapendiente.

c) Rocas aborregadas. Son afloramientos rocosos constituidos por rocas muy redondeadas como consecuencia del paso del hielo. La superficie de las rocas sobre las que discurre el hielo presenta una serie de estrías que nos indican la dirección del movimiento del hielo. Como consecuencia del paso constante del hielo al rozar con las rocas origina pequeñas partículas que constituyen la harina glaciar o de roca.

• Transporte

Los materiales transportados por los glaciares constituyen en general las morrenas. Según su disposición pueden ser superficiales, internas o de fondo.

Las superficiales son aquellas en las que los materiales se disponen sobre la lengua. Cuando se sitúan a los lados se denominan laterales; si están en el centro, centrales.

Las internas son las anteriores cuando se disponen en el interior del hielo.

Y las de fondo cuando atraviesan la masa de hielo y se disponen sobre la superficie del terreno.

· Sedimentación

Los depósitos glaciares se denominan till y las rocas a las que dan origen tillitas. Se caracterizan por su eterometría, o sea, una gran diversidad en el tamaño de los componentes; también por la falta de selección así como por el aspecto brechoide de los cantos.

Los depósitos más característicos son las morrenas, que pueden ser laterales o centrales y también morrenas frontales, que se originan en el frente del glaciar cuando éste retrocede y, al producirse la fusión, los materiales transportados se depositarán formando una especie de arco. Un glaciar puede tener más de una morrena frontal que indicarían diferentes etapas de retroceso del glaciar.

Otros depósitos son los bloques erráticos que, a veces, alcanzan gran tamaño y pueden haber sido transportados a gran distancia.

Los drumlins son depósitos formados por pequeños montículos más alargados en una dirección y de tamaños variables que parecen proceder de la sedimentación de un exceso de carga en la masa de hielo. Forman un paisaje característico llamado cesta de huevos.

Depósitos mixtos fluvioglaciares son los esar, os o esker, constituidos por la acumulación de materiales a los lados de la antigua lengua cuando se produce la fusión y son arrastrados por el agua.

Los kames son depósitos que forman una especie de paredes en el frente del glaciar después de la fusión.

Las varvas glaciares son depósitos de partículas finas que se forman en los lagos glaciares cuando el agua procedente de la fusión del glaciar arrastra las pequeñas partículas que se han originado por rozamiento. Estos depósitos forman bandas de diferente color y espesor alternativamente que corresponden a distinto tiempo de depósito por lo que pueden utilizarse para conocer la edad de los materiales aunque no es un método muy preciso.

Cuando desaparecen los glaciares, el paisaje resultante es un conjunto de zonas pantanosas, morrenas y lagos glaciares, así como fiordos originados cuando el glaciar llega hasta el manto penetrando éste en la desembocadura.

Acción geológica del mar

Las aguas oceánicas presentan unas características diferentes a las aguas continentales. Así, tienen una salinidad más alta de, aprox., un 35 por mil aunque en algunos mares interiores se llega al 38 o 40 por mil, mientras otros no llegan al 10 por mil, como en el Báltico. Todas las sales marinas proceden de los continentes, desde donde son arrastradas por los ríos. La temperatura varía en superficie entre -2°C y 35°C ; en profundidad es, aprox., de 0°C . Esta temperatura no sufre alteraciones tan bruscas como en los continentes. En cuanto a la presión, aumenta 1 atm. cada 10 m.

Las aguas oceánicas presentan tres tipos de movimientos: las olas, las mareas y las corrientes.

Las olas son movimientos vibratorios de las partículas, que se transforman en ondulatorios al rozar con el fondo, de modo que cuando llega a la costa tiene lugar el desplome de la cresta de la ola y a continuación un movimiento de retroceso o resaca. Se originan, fundamentalmente, por el viento y no existe desplazamiento de la masa de agua.

Las mareas son desplazamientos del agua como consecuencia de la atracción del sol y la luna, provocando el flujo y el reflujo periódicos.

Las corrientes son masas de agua que se desplazan sobre otras. Pueden ser de distinta salinidad y temperatura como consecuencia de que en grandes masas las aguas con diferente salinidad y temperatura no se mezclan, formándose verdaderos ríos en el interior de los océanos. Otras son las litorales, que son debidas al oleaje cuando incide oblicuamente sobre la costa. Las de marea son debidas al movimiento de éstas en los estrechos. Y de turbidez, cuando existen masas de agua con gran número de partículas.

Rocas sedimentarias.

Las rocas podemos considerarlas como agregados naturales de individuos minerales. En relación con el número de minerales de que están constituidas puede ser simples, si están formadas por un solo mineral, y compuestas, si están formadas por varios minerales. En las rocas podemos considerar una serie de características:

- a) Composición química, generalmente se expresa en óxidos
- b) Composición mineral, se diferencian tres grupos de minerales:
 - 1. Minerales esenciales, los que abundan más del 1%
 - 2. Minerales accesorios, abundan menos del 1%
 - 3. Minerales accidentales, que aparecen sólo esporádicamente
- c) Textura, son las características de los minerales que constituyen la roca y las relaciones que se establecen entre ellos, o sea, las características microscópicas de la roca
- d) Estructura, se refiere a los aspectos que podemos observar directamente en la roca

Clasificación

Desde el punto de vista de su origen se distinguen dos grupos:

Rocas endógenas

Se originan en el interior de la corteza. Comprenden las rocas metamórficas, formadas por transformaciones físico-químicas en estado sólido de otras rocas preexistentes, y las rocas magmáticas, formadas por la consolidación de los magmas.

Las rocas exógenas:

Tienen su origen en el exterior y comprenden las rocas sedimentarias.

Aunque los distintos tipos de rocas presentan diferentes características, las rocas son entidades que permanecen estables en unas determinadas condiciones físico-químicas, de modo que cuando éstas varían las rocas se modificarán para adaptarse a las nuevas condiciones de tal modo que un tipo de roca determinada es una etapa más dentro de ciclo petrológico general, dentro del cual quedan establecidas unas relaciones entre los distintos tipos de rocas:

R.S. -- FUSIÓN + CONSOLIDACIÓN --> R.MA.

R.S. -- METAMORFISMO --> R.MET.

R.MA. -- EROSIÓN + TRANSPORTE + SEDIMENTACIÓN --> R.S.

R.MA. -- METAMORFISMO --> R.MET.

R.MET. -- EROSIÓN + TRANSPORTE + SEDIMENTACIÓN --> R.S.

R.MET. -- FUSIÓN + CONSOLIDACIÓN --> R.MA.

Rocas sedimentarias

Son las rocas que se forman a partir del depósito en el aire o en el agua de los materiales resultantes de las acciones de los agentes geológicos externos. Se excluyen los materiales piroclásticos de origen volcánico.

La formación de una roca sedimentaria se realiza en varias etapas:

Hipergénesis

Comprende la erosión de los materiales en cualquiera de sus formas. El resultado de ella es la formación de los derrubios o detritos.

Sedimentogénesis

Comprende el transporte y la sedimentación de los fragmentos originados anteriormente. El resultado es la formación de los sedimentos. El depósito de los fragmentos se realiza en las cuencas de sedimentación, que son zonas hundidas de la corteza donde se acumulan los materiales. Dentro de las cuencas de sedimentación existen diferentes ambientes sedimentarios con unas determinadas condiciones físico-químicas. Podemos diferenciar entre medios continentales y medios oceánicos. Dentro de los medios continentales tenemos los siguientes ambientes:

- a) Subaéreos, que comprenden el glaciar y periglacial y el desértico y peridesértico
- b) Hídricos, que comprenden el fluvial, piedemonte, lacustre, palustre e hipogeo.

Los medios marinos pueden ser:

- a) Mixtos, que comprenden litoral, deltaico y estuario
- b) Marinos estrictos, que comprenden el véntico, pelágico y recifal.

Diagénesis

Es un conjunto de procesos mediante los cuales los sedimentos se transforman en rocas sedimentarias. Hay que tener en cuenta que, en ocasiones, la transición entre sedimento y roca sedimentaria es prácticamente insensible. Existen sedimentos de gran antigüedad que no han llegado a constituir rocas sedimentarias. La diagénesis se realiza en las siguientes etapas:

1. Compactación. Como consecuencia de la presión litostática (ejercida por los propios sedimentos), los fragmentos se aproximan entre sí eliminándose la mayor parte de los huecos existentes en los sedimentos.
2. Cementación. Comprende la unión entre los fragmentos mediante sustancias presentes en el agua por medio de disoluciones y precipitaciones. El cemento puede proceder de los mismos fragmentos o encontrarse disuelto en el agua y puede ser de la misma naturaleza que los fragmentos o de diferente naturaleza. Existen

fragmentos calcáreos, silíceos o ferruginosos. Un tipo especial de cementación es la recristalización que se realiza por crecimiento de cristales de los propios fragmentos.

3. Autigénesis. Es la formación de minerales nuevos como consecuencia de la precipitación de sustancias disueltas que pueden proceder o no de los fragmentos.

4. Metasomatismo. Es la sustitución de algún elemento de los minerales por otro presente en el agua o en las rocas vecinas, sin llegar al metamorfismo.

La formación de la roca sedimentaria no significa que sea imprescindible el que se realicen todas las fases de la diagénesis ya que pueden faltar alguna o algunas.

El tipo de roca sedimentaria resultante de la realización de todos estos procesos dependerá de una serie de factores como roca madre original, formas de erosión, formas de transporte, condiciones de la cuenca de sedimentación y transformaciones durante la diagénesis.

Composición química

No es útil para obtener datos sobre las rocas y por tanto no la vamos a considerar.

Composición mineralógica

Se pueden considerar dos grupos de minerales: halóctonos o halotígenos y autóctonos o autógenos.

Los minerales halóctonos son los que proceden del exterior de la cuenca de sedimentación y forman parte de los sedimentos. Nos proporcionan datos sobre la roca original así como la erosión y el transporte. Existen minerales de este tipo sin alterar químicamente como cuarzo, feldespatos, micas o minerales pesados, y otros con alteración química como las arcillas.

Los minerales autógenos se forman en la cuenca de sedimentación y nos proporcionan datos sobre las características físico-químicas que existían en ella. Entre ellos tenemos carbonatos, óxidos, hidróxidos, sulfuros, nitratos, etc.

Estructuras

Existen diversos tipos:

- a) Biógenas, son las realizadas por los seres vivos
- b) Abiógenas, las de origen inorgánico
- c) Primarias, contemporáneas a la formación de las rocas
- d) Secundarias, posteriores a la formación de las rocas
- e) Horizontales, aparecen en la superficie de los estratos
- f) Verticales, en el espesor de los estratos

– Abiógenas

- a) Primarias horizontales. Ripple-marks. Son ondulaciones con distintas características según sea su origen:

por el viento, por el agua o en las playas.

b) Primarias verticales. Estratificación. Es la disposición en capas o estratos que presentan muchas rocas sedimentarias. La estratificación tiene muchas variaciones, así puede ser homogénea o heterogénea, horizontal o cruzada, fisilidad (presencia de unos planos secundarios de estratificación dentro del primario) o granoselección (cuando existe una distribución en la vertical de acuerdo con el tamaño de las partículas de los estratos).

c) Secundarias horizontales. Entre ellas las grietas de retracción de las arcillas, huellas de escurrimiento y huellas de gotas de lluvia.

d) Secundarias verticales. Como los nódulos (fragmentos de forma redondeada formados por varias capas) y las geolas (formaciones en las que se produce una cristalización en un hueco).

– Biógenas

a) Primarias verticales. Cualquier tipo de fosilización.

b) Secundarias horizontales. Huellas y pistas de reptación.

c) Secundarias verticales. Taladros y tubos.

Clasificación de las rocas sedimentarias

La clasificación más aceptada es la que se realiza teniendo en cuenta su origen y su composición. Se distinguen tres grupos:

* Detríticas: conglomerados

areniscas

arcillas

* Carbonatadas: a) detríticas: calcirruditas

calcarenitas

calcilutitaas

b) no detríticas: organógenas

bioquímicas

físico-químicas

* No detríticas no carbonatadas: silíceas

ferruginosas

fosfatadas

salinas

carbonosas

– Rocas detríticas

Son rocas que se forman por la acumulación de los fragmentos de otras rocas formados por la acción de los agentes externos.

Texturas. En relación con el tamaño de sus componentes se diferencian los clastos, que son los granos de mayor tamaño; la matriz, de tamaño arenoso; y el cemento o sustancia que une los anteriores. Otro aspecto de la textura es la morfometría, que se refiere a la forma de los granos, su redondeamiento o el aspecto de su superficie. También puede incluirse el modo en el que están dispuestos e incluso la porosidad o permeabilidad.

Dinámica cortical. Tectónica de placas.

Los materiales que encontramos en la corteza normalmente no presentan una disposición como la que tenían cuando se formaron sino que aparecen modificados en forma de pliegues y de fracturas.

Las deformaciones que sufren los materiales son debidas a la actuación de unas fuerzas determinadas. Estas fuerzas pueden ser de dos tipos: dirigidas y no dirigidas.

las fuerzas no dirigidas son las que realizan su acción sobre los materiales en todos los sentidos, parecido a como actúa el agua sobre un cuerpo sumergido en ella. Debido a esta similitud, estas fuerzas se denominan de presión litostática o presión confinante y está ejercida por los propios materiales.

las fuerzas dirigidas actúan en un sentido determinado. Pueden ser de varios tipos:

- a) De compresión. Son dos fuerzas convergentes de sentido opuesto que actúan sobre un material.
- b) De tensión. Dos fuerzas que actúan en sentido opuesto siendo divergentes.

Cuando actúan estas dos fuerzas, al cesar la acción de una de ellas aparece la otra.

- c) De cizalla. Dos fuerzas opuestas que actúan en diferente plano.
- d) De torsión. Cuando dos fuerzas actúan en sentido helicoidal.

La acción de las fuerzas sobre los materiales produce en éstos una serie de deformaciones como respuesta a dichas fuerzas. Las deformaciones son de varios tipos:

- a) Elástica. Se produce cuando, al actuar una fuerza, los materiales se deforman pero esta deformación desaparece cuando cesa la acción de la fuerza.
- b) Plástica. Si al actuar una fuerza, los materiales se deforman persistiendo la deformación cuando cesa la acción de la fuerza.
- c) Ruptura. Cuando al actuar las fuerzas se supera el límite de plasticidad de los materiales, éstos no se deforman sino que se fracturan.

Si hacemos actuar una fuerza sobre los materiales de la superficie, prácticamente en todos los casos las respuestas de las rocas son siempre fracturas, ya que se encuentran en un estado de gran rigidez. Pero esto no significa que los materiales se hayan encontrado siempre en condiciones idénticas a las actuales, existiendo

una serie de factores que condicionarán el tipo de deformación. Es lo que sucede con la presión confinante, que cuanto mayor es más favorece las deformaciones, que también se ven favorecidas con el aumento de temperatura y la presencia de fluidos. Otro factor es la duración del tiempo de actuación de las fuerzas, de modo que una fuerza débil que actúe mucho tiempo causará deformaciones y una fuerza intensa que sea instantánea causará ruptura. También influye la composición y estructura de las rocas sobre las que actúan las fuerzas, según lo cual pueden ser competentes si son rígidas e incompetentes si son plásticas, aunque estos conceptos son muy relativos y una misma roca puede comportarse de un modo u otro según dónde se encuentre.

Aunque los mecanismos de deformación de los materiales son muy variados podemos señalar como los más importantes los movimientos intragranulares y movimientos intergranulares.

Pliegues

Son deformaciones plásticas de las rocas en forma de ondas. Se presentan en rocas sedimentarias y metamórficas.

Para conocer la posición de una capa de rocas en el terreno es necesario establecer su dirección, rumbo y su buzamiento. La dirección viene dada por el ángulo que forma la intersección de la capa con el terreno y el norte señalado por una brújula. El buzamiento es el ángulo que forma la superficie de la capa con el terreno medido perpendicularmente a la dirección. El buzamiento varía entre 0° y 90° .

Elementos de un pliegue

- a) Charnelas. Son las zonas de máxima flexión de las capas. Cada una de ellas tiene su charnela.
- b) Flancos. Son los lados del pliegue. En ellos puede medirse el buzamiento. Si es menor de 90° , los flancos son normales. Si es mayor de 90° son invertidos.
- c) Núcleo. Es la zona más interna del pliegue.
- d) Plano axial. Es el plano que contiene todas las charnelas.
- e) Eje del pliegue. Es la intersección del plano con el terreno.
- f) Inmersión. Es el ángulo que forma el eje con la horizontal.
- g) Vergencia. Es el ángulo que forma el plano axial con la vertical.
- h) Terminación periclinal. Es la zona donde cambia el rumbo de los estratos en un pliegue.

Tipos de pliegues

- Sinclinal. Es cóncavo hacia arriba. Los flancos son convergentes. En el núcleo se encuentran los materiales más modernos.
- Anticlinal. Cóncavo hacia abajo, con los flancos divergentes. En el núcleo se encuentran los materiales más antiguos.

Frecuentemente se encuentran anticlinales y sinclinales asociados que, por tanto, tienen un flanco común.

- a) Pliegues normales, con los flancos abiertos, pueden ser simétricos (si los dos flancos presentan el mismo

buzamiento) o asimétricos (si tienen distinto buzamiento).

b) Pliegues en abanico, con flancos que se cierran.

c) Pliegues isoclinales, con flancos paralelos.

d) Pliegues en V

e) Pliegues en terraza estructural

f) Pliegues encofrados

g) Pliegues monoclinales o en rodilla. Según el ángulo de vergencia pueden ser: rectos, inclinados, tumbados o acostados.

h) Pliegues armónicos, en ellos las capas se han plegado todas de igual forma.

i) Pliegues disarmónicos; debido a la presencia de capas incompetentes, se producen plegamientos distintos como consecuencia de diferente comportamiento, como sucede con los pliegues de arrastre, en los que una capa incompetente forma un conjunto de pliegues, cuyas charnelas se dirigen hacia la charnela principal. Otro ejemplo es el boudinage o plegamiento en morcilla.

j) Plegamiento concéntrico, las capas de los pliegues conservan su espesor en profundidad.

k) Plegamiento similar o semejante, se produce un englosamiento en las charnelas y adelgazamiento en los flancos.

l) Plegamiento hipertenso, engrosamiento en los flancos y adelgazamiento en las charnelas

* Si observamos los pliegues en planta, pueden ser normales, braquipliegues o domos (cúpulas).

Los pliegues pueden presentarse asociados, formando:

1. Anticlinorios, o conjunto de pliegues cuyas charnelas son divergentes hacia arriba.

2. Sinclinorios, cuyas charnelas son divergentes hacia abajo.

Los mantos de recubrimiento son pliegues inclinados de gran extensión que se han desplazado de su zona de raíces.

Causas del plegamiento

Los pliegues pueden haberse originado por diferentes causas:

a) Por compactación lateral, realizada por una serie de fuerzas.

b) Por deslizamientos gravitacionales en materiales muy plásticos.

c) Por intrusión de diapiros o, en general, de materiales que deforman las capas.

d) Por compactación contemporánea a la sedimentación.

e) Por transformaciones de materiales con aumento de volumen.

Fracturas

Se originan cuando se supera el límite de plasticidad de los materiales. Existen dos tipos: diaclasas y fallas.

Diaclasas

Son fracturas en las que no existe un desplazamiento de los bloques resultantes de la fracturación. Están presentes en cualquier tipo de rocas.

Según su disposición pueden ser ortogonales, radiales, circulares y poligonales. Varían mucho en cuanto a extensión y profundidad. Pueden presentarse longitudinales o transversales a los estratos.

Según su origen pueden ser:

- a) Sinclasas, que se forman al mismo tiempo que las rocas, como sucede con las grietas de retracción de las arcillas.
- b) Tectoclasas, originadas con posterioridad a la formación de la roca, como sucede en las charnelas de los anticlinales. También pueden formarse por lajación cuando se produce una distensión al perder materiales una roca cuando se erosiona.

Fallas

Son fracturas en las que existe un desplazamiento de los bloques resultantes de la fracturación.

– Elementos de una falla

- a) Plano de falla. Es la superficie sobre la que ha tenido lugar el deslizamiento de los bloques. En el plano puede medirse el buzamiento.
- b) Labios de falla. Son los dos bloques resultantes de la fracturación y que se han desplazado sobre el plano. Según su posición existe un labio superior o elevado y un labio inferior o hundido, que nos indican el movimiento de los bloques. Con relación al plano de falla, se llama techo al labio situado sobre el plano y muro, al situado bajo el plano.
- c) Eje de falla. Es la intersección del plano con el terreno.
- d) Salto de falla. Es el valor numérico del desplazamiento entre dos puntos que se encontraban juntos antes del fallamiento. Puede medirse de varias formas:
 - Salto vertical, medido sobre la vertical del labio
 - Salto en buzamiento, medido sobre el plano
 - Salto en dirección, si medimos el desplazamiento horizontal
 - Salto neto
- e) Escape de falla. Es el resalte topográfico que aparece en el terreno al originarse la falla.

f) Espejo de falla. Es la superficie que, en ocasiones, aparece en el plano de falla y que se encuentra pulimentada como consecuencia del rozamiento de los bloques. Algunas veces presenta estrías que nos indican la dirección del desplazamiento. Como consecuencia del rozamiento entre los bloques pueden formarse una serie de fragmentos triturados que constituyen las brechas de falla o milonitas.

– Tipos de fallas

a) Normales, directas o de gravedad. En ellas el labio hundido coincide con el techo y el labio elevado con el muro. Se han originado por distensión. Si el plano de falla es perpendicular, se llaman verticales y en este caso no existe techo ni muro.

b) Falla inversa. El labio elevado coincide con el techo, estando situado sobre el plano de falla, y el labio hundido coincide con el muro. Se originan por compresión.

Cuando el plano de fallas es casi horizontal, se denominan cabalgamientos, donde puede apreciarse una inversión en los materiales.

c) Falla longitudinal o de dirección. Es aquella en la que el desplazamiento de los bloques ha tenido lugar en la horizontal.

d) Falla en cizalla o en tijera. En ésta, el desplazamiento de los bloques se ha producido mediante un giro.

e) Conformes. Cuando el buzamiento de las capas tiene el mismo sentido que el plano de falla.

f) Contrarias. El buzamiento de las capas es en sentido opuesto al del plano.

g) Pliegues-falla. Son aquellas en las que el fallamiento se produce en los flancos o en las charnelas de un pliegue. Pueden formar lo que se denominan escamas imbricadas, cuando forman una sucesión.

h) Mantos de corrimiento. Son semejantes a los mantos de recubrimiento de los pliegues, de modo que uno de los bloques fracturados avanza un gran espacio con relación a su posición original. Cuando se erosiona pueden aparecer materiales primitivos denominándose a esta zona erosionada ventanas o klipers.

– Asociaciones de fallas

Frecuentemente las fallas aparecen formando conjuntos. Si existe una disposición tal que el conjunto de las fallas da origen a una elevación en el terreno, se denomina macizo tectónico o horst. Si el conjunto de fallas da origen a una zona hundida, se forma una fosa tectónica o rift.

Cuando existe un conjunto de fallas dispuestas sobre el plano de una falla principal de modo que las placas de éstas están en sentido opuesto al principal, se llaman fallas antitéticas. En relación con el origen de las fallas, la inmensa mayoría tiene origen tectónico, o sea, mediante la presencia de una fuerza; excepcionalmente, pueden originarse fallas de gravedad por deslizamientos.

Orogénesis

La orogénesis comprende todo el conjunto de procesos mediante los cuales tiene lugar la formación de las cordilleras. Estos procesos tienen una duración muy amplia entre 10 y 15 mill. de años.

Geosinclinal

Cuando se observan las cordilleras más recientes, nos encontramos con una serie de características comunes a

todas ellas: un gran espesor de materiales sedimentarios que poseen las mismas características, por lo que deben haberse formado bajo las mismas condiciones físico-químicas. Estos materiales se encuentran plegados y fracturados y además aparecen series de origen marino a grandes alturas. Las zonas centrales de estas cordilleras están constituidas, fundamentalmente, de materiales magmáticos y las periféricas de materiales metamórficos. En todo el conjunto, se pueden también apreciar intercalaciones volcánicas entre los sedimentos. La explicación a esta serie de hechos puede hacerse considerando la existencia de una cuenca de sedimentación marina de gran profundidad, donde se acumularían los materiales procedentes del continente. Pero si esto fuera así, cuando estos materiales formaran parte de una cordillera, no presentarían en todo su espesor unas características uniformes, puesto que se habrían formado a distintas profundidades en la cuenca con condiciones físico-químicas diferentes. Por ello, en lugar de considerar una cuenca de sedimentación estática, se considera una cuenca en la que se está produciendo al mismo tiempo que el depósito, un hundimiento suave y constante; de este modo las transformaciones de los materiales se realizan siempre bajo las mismas características.

Este proceso de hundimiento constante de la cuenca se denomina subsistencia. Los materiales depositados sufrirían la acción de unas fuerzas que llevarían consigo a la elevación de todo el conjunto, explicándose de este modo la presencia de pliegues y fracturas, así como de materiales marinos a gran altura. También puede explicarse la presencia de materiales magmáticos en las zonas centrales, que se corresponderían con las más profundas de la cuenca, donde son más elevadas las presiones y las temperaturas provocando la fusión de los materiales. Estas altas presiones y temperaturas también explicarían los fenómenos de metamorfismo, así como los procesos volcánicos. A esta cuenca de sedimentación de gran profundidad, muy alargada y estrecha situada en el borde de un continente sometida a subsistencia se le da el nombre de geosinclinal.

En un geosinclinal se pueden distinguir varias formas:

- a) Antepaís, corresponde al continente más próximo y, en ocasiones, también está sometido a hundimiento aunque con poco espesor de sedimentos.
- b) Miogeosinclinal o prefosa, es la zona hundida más próxima al continente, de menor profundidad y con sedimentos de carácter terrígeno.
- c) Eugeosinclinal o fosa principal, es la de mayor extensión, con gran espesor sedimentario, subsistencia y gran profundidad.
- d) Geoanticlinal, zona elevada que separa entre sí el eu y el mio.

Los geosinclinales pueden ser simétricos o asimétricos, según tengan o no posiciones dobles. Con respecto a su situación pueden ser intercontinentales o periféricos.

Relaciones entre placas

Desde un punto de vista muy simple, se establecen tres tipos de relaciones entre placas: separación, aproximación y deslizamiento longitudinal, creando, de este modo, tres tipos de límites en los cuales se sitúan los márgenes de las placas en contacto. En estos límites se producen la mayor parte de los fenómenos de la geodinámica interna. Podemos considerar la existencia de tres tipos de márgenes entre placas:

1. Constructivos. En ellos se forma corteza oceánica, que se incorpora a las placas limitantes aumentando, de este modo, su superficie. Se localizan en las dorsales oceánicas, correspondiendo a relaciones de separación entre las placas con distensión de la corteza. Tienen como consecuencia la expansión de los fondos marinos y la deriva de los continentes.
2. Destructivos. En ellos la corteza oceánica se incorpora de nuevo al manto, disminuyendo la superficie de, al

menos, una de las placas. Corresponden a las denominadas zonas de subducción, donde se encuentran las grandes fosas oceánicas. Son el resultado de la aproximación o colisión entre placas con compresión de la corteza. Tienen como consecuencia el crecimiento de la corteza continental mediante los procesos orogénicos.

3. Neutros. Corresponden a deslizamientos longitudinales entre las placas, sin aumento ni disminución de la corteza. Se localizan en estos márgenes las llamadas fallas transformantes originadas por desgarres en la corteza.

Placas actuales

En la actualidad se pueden considerar ocho grandes placas y un número mayor de placas pequeñas situadas entre las anteriores. La delimitación de las placas se hace a partir de la situación de los hipocentros de los terremotos, ya que la inmensa mayoría de éstos se originan en los límites de las placas. Esas placas son:

- a) Placa africana. Comprende África, la mitad oriental del Atlántico Sur y la parte occidental del Índico.
- b) Placa antártica. Comprende el Antártico y parte de los océanos que lo rodean.
- c) Placa indoaustraliana. Comprende India, Australia, parte de Nueva Zelanda y la mayor parte del Índico.
- d) Placa pacífica. Comprende la mayor parte del océano Pacífico.
- e) Placa norteamericana. Comprende Norteamérica, Groenlandia, la mitad occidental del Atlántico Norte y parte del Ártico.
- f) Placa eurasiática. Comprende Europa, Asia y la mitad oriental del Atlántico Norte y parte del Ártico.
- g) Placa sudamericana. Comprende Sudamérica y la mitad occidental del Atlántico Sur.
- h) Placa de nazca. Comprende la parte suroriental del Pacífico.

Las placas más pequeñas proceden de la fracturación de las grandes placas y son muy numerosas, por ejemplo: la arábiga, la iraní, la placa de cocos, etc.

Desplazamiento de los continentes

Cronológicamente, la tectónica de placas comienza con la deriva de los continentes y, por consiguiente, la apertura de los fondos freáticos. Durante mucho tiempo, prevalecieron las ideas figistas, que consideraban los continentes y los océanos como áreas estables que no se modificaban a lo largo del tiempo. Posteriormente, surgieron teorías como la deriva continental y consideraban una variación en el tiempo de la situación de los océanos y los continentes. En la actualidad se piensa que tanto los continentes como los océanos han sufrido variaciones a lo largo del tiempo. Se considera que debió existir una masa continental única, que se fragmentó originando dos supercontinentes: el de laurasia (al norte) y el de gondwana (al sur). Se trataría de intentar reconstruir estos dos supercontinentes a partir de la distribución actual de los continentes, con lo que quedaría demostrado que los continentes actuales han sufrido un desplazamiento desde su posición original. Existen varias pruebas que nos confirman estos desplazamientos. Entre ellas tenemos:

- 1. Posibilidad de ajuste geográfico y topográfico entre los continentes separados en la actualidad, lo que se consigue si se considera la plataforma continental, que es el verdadero borde del continente.
- 2. Identidad en las alineaciones montañosas que se ajustan cuando se encajan los continentes.

3. Presencia de fósiles idénticos correspondientes al tiempo en el que los continentes debieron estar unidos.
4. Existencia de seres vivos que se consideran fósiles vivientes y que sólo están presentes en zonas que debieron estar unidas.
5. Paleomagnetismo. Cuando los materiales magmáticos llegan al exterior, algunos de los minerales que los constituyen se magnetizan orientándose según la posición que en ese momento tenía el campo magnético terrestre, que se supone siempre ha existido. Este magnetismo es remanente y, por tanto, persiste a lo largo del tiempo, lo que nos permite conocer cuál era la posición inicial de unos materiales en una época determinada, así como los desplazamientos y giros que han sufrido.
6. En los continentes del hemisferio sur se observan depósitos de glaciaciones que tuvieron lugar durante el carbonífero y que se encuentran en la India, Sudamérica, África y Australia y debían proceder de un gran casquete polar situado en la Antártida. Esto nos indica que, mientras Australia ha permanecido sin desplazarse, Sudamérica, África y la India han debido moverse hacia el norte. Esto se corrobora también con la presencia en África y Sudamérica de depósitos de origen desértico correspondientes al triásico, lo que indica que en esta época estaban ya más cerca del ecuador.

Formación de las cordilleras

Según la tectónica de placas, la deformación de las cordilleras es una consecuencia del choque entre dos placas. De acuerdo a como se realice este choque podrán originar unas determinadas cordilleras.

Choque entre placa continental y placa oceánica. Cuando chocan entre sí una placa continental y otra oceánica, el límite de la placa oceánica se introduce bajo la continental y los materiales acumulados en el borde de la placa continental o en la superficie de la oceánica, como consecuencia del choque se plegarán y deformarán originándose, de este modo, una cordillera con todos los fenómenos que lleva esto consigo. Estas cordilleras, debido a su situación, se denominan perioceánicas o pericontinentales y significan un aumento de la superficie de los continentes. A este tipo pertenecen, por ejemplo, los Andes.

Puede suceder que el choque tenga lugar entre una placa continental y la parte oceánica de una mixta de modo que toda la parte oceánica de ésta se introduce bajo la continental, poniéndose en contacto dos zonas continentales que son muy consistentes. Como el número de materiales depositados será muy alto y el choque es muy intenso, los plegamientos serán muy acusados, dando origen a cordilleras de gran amplitud. Son las llamadas cordilleras bicontinentales, como los Alpes (formados por el choque de la placa africana y la eurasiática) y el Himalaya (formado por el choque de la placa eurasiática con la India, cuando ésta se desplazó hacia el norte). En algunos casos, la placa que se introduce puede provocar levantamientos en la placa continental.

Choque de dos placas oceánicas. En este caso, como las dos placas tienen la misma consistencia, no hay una verdadera subducción, sino la aparición de una serie de afloramientos de tipo volcánico que dan origen a los arcos insulares, que constituyen formaciones temporales que en un tiempo más o menos largo, al continuar el acercamiento se incorporan al continente más próximo.

Existen otro tipo de cordilleras que, en realidad, no están constituidas por un choque entre placas. Son las llamadas cordilleras intracontinentales. Se originan cuando, en el interior de una placa continental, se produce una distensión, formándose un geosinclinal poco profundo y amplio. En él, se depositarán materiales procedentes del continente y posteriormente un acercamiento de los bordes, originándose cordilleras que quedan situadas en el interior del continente. Es el caso, por ejemplo, de los Urales o los Pirineos.

Causas del movimiento de las placas

Parece ser que el principal motivo por el cual tiene lugar el movimiento de las placas es la existencia de las corrientes de convección. La localización de estas corrientes es muy complicada. Para algunos, las corrientes se mueven por el interior de la Tierra, desplazándose por todo el mar. Para la mayoría, este desplazamiento se localiza en la astenosfera. Como esta capa está constituida por materiales semifundidos, cuando una corriente se desplaza horizontalmente sobre ella, arrastrará los materiales que constituyen los bloques de la litosfera que se moverán como si fueran balsas sobre la astenosfera. Cuando dos corrientes se enfrentan de modo que descienden, se producirá un choque entre placas, mientras que cuando dos corrientes enfrentadas se separan tendrá lugar un alejamiento entre las placas. Como las corrientes no se distribuyen uniformemente, sino que se localizan en determinadas zonas, puede explicarse la distribución de las cordilleras en la Tierra.

Otras causas que pueden contribuir al movimiento de las placas pueden ser:

Transformaciones minerales en las zonas de subducción, donde al aumentar la presión algunos minerales se transforman dando origen a otros más densos, por lo que la atracción gravitatoria será mayor tendiendo a situarse en el interior, con lo que, al mismo tiempo, se produciría un vacío que sería ocupado por materiales fundidos de zonas más profundas.

También puede contribuir la diferencia de energía potencial gravitatoria que existe entre la cresta de las dorsales y los fondos oceánicos con diferencias de altura de hasta 4.000 m.

Y también puede considerarse la acción que realizan los magmas que salen por las dorsales y que pueden actuar como cuñas que separan las dos placas limitadas.

Terremotos

Los terremotos o movimientos sísmicos son movimientos bruscos, instantáneos y de poca duración que tienen lugar en la corteza terrestre. El origen de los terremotos puede ser variado.

Los microsismos o terremotos de poca intensidad pueden originarse por causas muy diversas, como hundimientos de cavernas, corrimientos de tierra, tormentas, aludes, etc.

Los macrosismos tienen su origen como consecuencia de dislocaciones en materiales dispuestos en el interior de la corteza. Estas dislocaciones pueden dar origen a una fracturación, formándose una falla o bien ser el resultado del desplazamiento de los labios de una falla ya existente.

El punto del interior de la corteza donde se origina el terremoto se llama hipocentro. El punto de la superficie más próximo al hipocentro, situado en su vertical y donde se registran en primer lugar los efectos del terremoto se llama epicentro.

El desarrollo de un terremoto comienza con unos movimientos preliminares, a continuación la sacudida principal y luego los movimientos de reajuste o réplica. La duración del terremoto es de unos segundos e incluso algún minuto.

– Ondas sísmicas

Como consecuencia de las dislocaciones tienen lugar movimientos vibratorios que se transmiten por medio de ondas, que pueden ser de tres tipos: primarias, secundarias y superficiales. Las ondas superficiales se transmiten por la superficie, reflejándose y refractándose en el terreno. Son las más lentas, con una velocidad de 3,3 km/s. Son las causantes de los daños que causan los terremotos. Existen dos tipos:

a) Ondas love. En ellas, la vibración de las partículas se realiza en la horizontal y perpendicular a la dirección de propagación.

b) Ondas rayleigh, en las que las partículas vibran en órbitas elípticas.

Procesos magmáticos.

Rocas magmáticas

Son rocas que se originan a partir de la consolidación de un magma procedente de procesos internos. La consolidación puede tener lugar en el interior de la corteza, cerca de la superficie o en el exterior. En el ciclo general de las rocas, las rocas magmáticas pueden proceder de rocas sedimentarias, de rocas metamórficas o directamente de los magmas. La mayor parte de estas rocas son rocas compuestas.

Composición mineral

Predominan los silicatos. Los silicatos presentan una estructura en la que un átomo de silicio se dispone en el centro de un tetraedro cuyos vértices estarían ocupados por átomos de oxígeno. Según la disposición de los tetraedros se pueden distinguir varios tipos de silicatos:

- a) Nesosilicatos. Constituidos por tetraedros aislados de sílice.
- b) Sorosilicatos. Formados por pares de tetraedros que comparten un oxígeno.
- c) Ciclosilicatos. Constituidos por tres, cuatro o seis tetraedros.
- d) Inosilicatos. Formados por cadenas simples o dobles de tetraedros.
- e) Filosilicatos. Forman láminas con un retículo hexagonal.
- f) Tectosilicatos. Constituidos por tetraedros que comparten sus oxígenos con otros tetraedros, formando un armazón tridimensional.

Los minerales que forman las rocas magmáticas podemos diferenciarlos en dos grupos: leucocratos y melanocratos.

· Leucocratos. Son minerales ricos en sílice, de colores claros y baja densidad. Entre ellos tenemos:

a) Sílice. SiO_2 . Puede presentarse en tres formas polimorfas dependiendo de la temperatura: cuarzo, tridimita y cristobalita.

b) Feldespatos. Son silicatos aluminicos calcoalcalinos saturados de sílice.

Tenemos los feldespatos potásicos ($6\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{K}_2\text{O}$). Se presentan en tres formas polimórficas: ortosa, sanidina y microdina.

Feldespatos calcosódicos. Forman una serie isomórfica desde el término sódico, que es la albita, al término cálcico, que es la anortita. La serie está constituida por: albita, oligoclasa, andesina, labrador, bitounita y anortita.

A temperaturas altas, existe solución sólida entre los tres términos (potásico, cálcico y sódico). A temperaturas bajas, se produce la desmezcla, cristalizando por separado la albita y el potásico, aunque también pueden formarse pertitas, que son cristales de ortosa.

c) Feldespatoides. Son silicatos no saturados de sílice, o sea, pobres en sílice, con potasio, sodio y calcio.

Entre ellos se encuentran la neferina, leucita, zeolitas, etc.

· Melanocratos. Son pobres en sílice, de alta densidad y de colores oscuros. Entre ellos se encuentran:

a) Olivinos. Silicatos de hierro y magnesio que forman una serie isomórfica desde el término férrico o forsterita al término magnésico o fayalita.

b) Piroxenos. Silicatos complejos, entre los que se encuentra la augita.

c) Anfíboles. Silicatos más complejos que los piroxenos, con los que forman series paralelas. Entre ellas está la hornblenda.

d) Micas. Silicatos complejos con agua. Entre ellas tenemos: moscovita, biotita y flogopita.

Existen también en estas rocas minerales accesorios que se encuentran en baja proporción y que son muy variados. Entre ellos tenemos: apatito, circón, rutilo, granates, pirita, turmalina, etc.

La composición mineral es útil para deducir las condiciones de formación de la roca y cómo ha tenido lugar. La determinación cualitativa de los minerales que constituyen una roca se realiza mediante el microscopio petrográfico a partir de las propiedades ópticas de los minerales como color, pleogroismo, birrefringencia, extinción, etc. También puede hacerse separación por densidades pero es un método más lento y menos fiable. La determinación cuantitativa se establece siguiendo el principio de que la superficie que ocupa un mineral en una lámina es equivalente al volumen que ocupa en la roca.

Composición química

Es útil, sobre todo, para el estudio de las rocas en las que no han llegado a formarse cristales. La composición química se expresa en óxidos de los diferentes elementos. Para mayor precisión se hallan los valores moleculares y los valores equivalentes. A partir de estos resultados, se puede llegar a la reconstrucción de la posible constitución mineral que habría tenido la roca si las condiciones para la cristalización hubieran sido adecuadas. Para ello, una vez obtenidos los diferentes compuestos químicos, reconstruimos los minerales que se habrían formado, aunque tendremos que añadir la sílice sobrante para poder obtener la composición mineral más lógica.

Clasificación de las rocas magmáticas

Puede hacerse atendiendo a diferentes factores.

– Clasificación genética. Según su origen pueden ser:

a) Plutónicas o intrusivas, si el magma se consolida en el interior de la corteza.

b) Volcánicas o efusivas, si la consolidación tiene lugar en el exterior.

c) Filonianas, si consolidan cerca de la superficie.

– Clasificación químico-mineral

a) Sobresaturadas, con cuarzo libre.

b) Subsaturadas, con minerales subsaturados que, en presencia de sílice, habrían dado minerales saturados.

- c) Saturados, sin cuarzo ni minerales saturados.
- d) Ácidas, ricas en sílice (cuarzo libre, colores claros y baja densidad).
- e) Básicas, pobres en sílice (sin cuarzo, colores oscuros y alta densidad).
- f) Ultrabásicas, con menos sílice.
- g) Intermedias.

Puede hacerse también una clasificación atendiendo al contenido en diferentes minerales, sobre todo feldespatos y cuarzo.

Magmas

En la zona inferior de la corteza y en la parte superior del manto, como consecuencia de las altas presiones y temperaturas, los materiales se funden originándose, de este modo, los magmas.

En relación con la tectónica de placas, vamos a encontrar procesos de magmatismo en los distintos márgenes entre placas. En los bordes constructivos tiene lugar ascenso de magmas que llegan hasta el fondo oceánico originándose, de este modo, el nivel basáltico de la corteza oceánica. En los bordes neutros no existe un magmatismo importante. En los bordes destructivos los procesos magmáticos se deben a la fusión de la corteza oceánica, que subduce.

También aparecen procesos de magmatismo en el interior de algunas placas, en zonas muy localizadas que pueden corresponder a antiguos bordes de placas o a puntos calientes de zonas de alta temperatura del manto que provocan la fusión parcial de la litosfera situada por encima.

Desde el punto de vista químico, existen tres tipos de magmas:

- a) Magmas toleíticos. Son magmas basálticos con un 50% de sílice, que se originan por fusión a poca profundidad entre 15 y 30 km. en zonas muy calientes como las dorsales oceánicas, por donde ascienden rápidamente sin diferenciarse.
- b) Magmas alcalinos. Es un magma basáltico, con un 45% de sílice, rico en metales alcalinos, que se origina en el manto por fusión entre 50 y 70 km. de profundidad y que asciende bruscamente pudiendo diferenciarse. Corresponde a bordes constructivos y zonas de interplacas.
- c) Magmas calcoalcalinos. Se pueden formar por fusión parcial de corteza oceánica a 100 o 150 km. de profundidad en las zonas de subducción. Asciende muy lentamente y puede diferenciarse.

Vulcanismo

Un volcán es cualquier punto de la superficie por donde salen al exterior materiales a altas temperaturas procedentes del interior de la corteza o del manto superior.

Los productos que arroja un volcán son de tres tipos:

- a) Gases, fundamentalmente es vapor de agua que puede proceder de aguas meteóricas infiltradas, de aguas marinas o de aguas juveniles que proceden directamente del magma. Además del vapor de agua, los volcanes expulsan compuestos de carbono, de azufre y de nitrógeno. El contenido en gases influye en el tipo de erupción.

B) Líquidos, constituyen las lavas, que podemos considerarlas como magmas que han perdido gran parte de sus volátiles. Las lavas se extienden formando coladas cuya amplitud depende del tipo de magma. Podemos considerar dos tipos de lavas:

1. Lavas en bloque. Se denominan AA. Son lavas en las que la consolidación es muy rápida y los gases escapan con gran violencia, por lo cual, la superficie aparece fragmentada en una serie de bloques, presentando un aspecto irregular.

2. Lavas cordadas. Se denominan pahoehoe. Son lavas que consolidan más lentamente escapando los gases con suavidad. Al consolidarse, la costra superficial se arruga tomando un aspecto de cuerda. En ocasiones, la lava del interior no consolidada escapa dando origen a la formación de túneles que tienen gran importancia en los paisajes volcánicos ya que en ellos puede acumularse el agua. También es frecuente la presencia en la superficie de túneles o ampollas originadas por los gases o por la presión de la lava.

Cuando la consolidación se realiza en el mar, las lavas toman aspecto de almohadillas, constituyendo las lavas almohadilladas.

En las lavas se pueden observar texturas muy variadas, desde algunas muy compactas hasta otras con gran número de huecos.

c) Sólidas. En general, se denominan piroclastos. Proceden de materiales consolidados en el conducto de salida bien en la misma erupción o en erupciones anteriores y que son arrojados al exterior durante la erupción. De acuerdo con su tamaño se denominan bombas, lapillis y cenizas. La acumulación de estos productos da origen a conglomerados volcánicos que no se consideran rocas sedimentarias. En algunas erupciones muy violentas pueden unirse entre sí las partículas arrojadas formando, de este modo, unas rocas denominadas ignimbritas.

– Tipos de erupciones

El tipo de erupción volcánica depende del contenido en gases y de la naturaleza de la lava. Las lavas de tipo básico son fluidas, cuyos gases escapan lentamente. Las de tipo ácido e intermedio son viscosas y los gases escapan con dificultad, provocando erupciones más violentas. Hay que tener en cuenta que un volcán puede tener distintos tipos de erupción a lo largo de su vida activa. Se ha establecido una clasificación de diferentes tipos de erupción de acuerdo con la mayor o menor viscosidad de la lava. Según ésta, podemos considerar los siguientes tipos:

a) Volcanes fisurales. Son aquellos en los que las lavas salen al exterior por unas grietas o fisuras formando coladas que se expansionan siendo de naturaleza muy fluida. En la actualidad, sólo existe el tipo islándico.

b) Erupciones centrales. La lava surge por un punto determinado. Se consideran los siguientes tipos:

1. Tipo hawaiano: lavas fluidas que forman coladas que se deslizan suavemente. Consolidan muy lentamente y los gases escapan con facilidad. En ocasiones, las lavas forman pequeños lagos donde se producen explosiones esporádicas.

2. Tipo estromboliano: las lavas son más viscosas, por lo que los gases escapan con mayor dificultad, provocando explosiones más o menos violentas.

3. Tipo vesubiano: las lavas son viscosas y pueden consolidar directamente en el cráter, por lo que la presión de los gases provoca explosiones muy violentas lanzando gran cantidad de materiales piroclásticos.

4. Tipo vulcaniano: es lo mismo que el anterior pero mucho más violento. Los materiales son arrojados

formando nubes ardientes que provocan lluvias torrenciales y una gran violencia en la erupción.

5. Tipo peleano: las lavas consolidan en el cráter formando pitones o agujas, por lo que la presión de los gases hace que se formen cráteres secundarios por donde son arrojadas grandes masas de materiales.

6. Tipo explosivo: como consecuencia de la entrada de agua en el foco magmático y su evaporación instantánea, se forman una gran cantidad de gases cuya presión hace que todos los materiales sean lanzados al exterior.

– Estructuras volcánicas

Son el resultado de las erupciones y están constituidas por los materiales procedentes del volcán. Tipos:

a) Volcanes mixtos o estrato-volcanes. Es el volcán típico, constituido por una serie de capas sucesivas en las que alternan las lavas consolidadas con materiales piroclásticos.

b) Volcanes piroclásticos, formados únicamente por materiales piroclásticos, por lo que son como los anteriores pero de menos altura.

c) Escudos volcánicos, formados por la acumulación de sucesivas capas de lava muy fluida que irán, por tanto, formando una estructura plana.

d) Mesetas basálticas. Proceden de grandes erupciones fisurales que se extienden, sucesivamente, en capas horizontales. Pueden llegar a ocupar varios miles de km².

e) Domos de lava. Son formaciones en forma de cúpula que pueden originarse al acumularse sucesivas capas más o menos concéntricas de lava en el exterior del conducto de salida.

f) Pitones o agujas, constituidos por lavas que consolidan en el cráter del volcán debido a su gran viscosidad.

g) Chimeneas volcánicas. Son los conductos de salida donde consolidan los materiales antes de salir exterior. En ocasiones, al ser erosionados el resto de los materiales, las chimeneas destacan mucho en el paisaje.

h) Hoyos de explosión. Son a modo de cráteres sin cono, de fondo plano y paredes bajas. Se suponen formados por explosión.

i) Calderas. Son parecidas a grandes cráteres que pueden originarse por explosión o por hundimiento.

– Distribución de los volcanes

La localización geográfica de los volcanes se corresponde, prácticamente, con la de los terremotos. Así, existe una zona circunpacífica, otra zona mediterránea, otra que coincide con las dorsales y volcanes aislados en el interior de continentes, sobre todo África. Esta distribución corresponde a las zonas de contacto entre placas. En España, existen zonas de vulcanismo no activo en Gerona, en el Campo de Calatrava y en el cabo de Gata.

El vulcanismo es una manifestación más del magmatismo general. En ciertas zonas, que se corresponden con los márgenes de las placas, como consecuencia de las altas temperaturas se funden los materiales y se originan magmas, que tienden a salir al exterior, a lo que contribuye la presión de los gases, los cuales arrastran a los demás materiales.

Historia de la Tierra.

A partir del estudio de la estratigrafía, paleontología, etc. se han pretendido establecer las diferentes etapas en la historia de nuestro planeta. Para ello se han establecido una serie de etapas cuyos límites, frecuentemente, no son muy precisos. A partir de los tiempos geológicos, la historia de la Tierra se divide en las siguientes eras:

1. Arcaica o precámbrico (agnostozoico)

2. Primaria (paleozoico): cámbrico

ortovícico

silúrico

devónico

carbonífero

permico

3. Secundaria (mesozoico): triásico

jurásico

cretácico

4. Terciaria (lenozoico): paleógeno paleoceno

eoceno

oligoceno

neógeno mioceno

plioceno

5. Cuaternaria (antropozoico): pleistoceno

holoceno

Origen de la Tierra. Era arcaica.

En relación con el origen de la Tierra existen varias teorías que se pueden resumir en dos grupos:

1. Los que consideran que se origina a partir del sol con el resto de los planetas. Entre ellas podemos mencionar las siguientes:

a) Desprendimiento de fragmentos del sol como consecuencia de la fuerza centrífuga de giro de éste.

b) Choque del sol con otra estrella desprendiéndose los planetas.

c) Paso de una estrella cerca del sol arrancando fragmentos de éste.

d) El sol estaría acompañado de otra estrella formando un sistema binario, la cual se desintegró originando los planetas.

2. Otro grupo de teorías considera un origen simultáneo del sol y los planetas, bien desde una nebulosa de polvo y gas estelar o bien por una concentración progresiva de partículas cósmicas, según la teoría de los planetesimales.

Cualquiera que fuera el origen de nuestro planeta, en un principio sería un cuerpo incandescente. Durante este periodo, los materiales se dispondrían por densidades y por afinidades geoquímicas, diferenciándose el núcleo y el manto. Los gases que se desprendían formarían la atmósfera primitiva, que carecería de oxígeno y abundarían los mismos gases que actualmente expulsan los volcanes. Cuando la temperatura descendió, se condensaría el vapor de agua formándose la primitiva hidrosfera. Igual que sucede en la actualidad con las lavas de los volcanes, que se consolidan y vuelven a fundir y consolidar, se alcanzaría un momento en el que se formaría una costra superficial consolidada que constituiría la corteza primitiva sujeta todavía a muchos cambios. Esto debió suceder hace unos 4.000 millones de años, marcando el principio de los tiempos geológicos. Las rocas más antiguas que se han datado tienen unos 3.500 millones de años. No se sabe si esta corteza estaba formada por sial y sima o era simplemente basáltica.

Era arcaica

Se extiende desde 4.000 millones de años a los 600 millones de años. En la actualidad, todo este periodo de tiempo constituye el precámbrico, el cual se subdivide en I, II, III y IV.

Los primeros sedimentos serían gruesos y toscos, sobre todo, detríticos, procedentes de la desintegración de rocas ígneas. No aparecen calizas hasta muy tarde. La mayoría de los materiales estarían metamorfizados aunque no muy intensamente ya que la corteza sería muy delgada y los geosinclinales no muy profundos. Posteriormente aparecen materiales de más alto grado de metamorfismo, como gneis.

Los geosinclinales eran laxos y amplios y dieron lugar a un gran número de orogenias de las cuales quedan pocos restos. Entre ellas tenemos: carénilas o uronianas, suecofénidas, pregóticas, góticas, rifeidas y asínticas.

En la actualidad, los materiales precámbricos forman los escudos o cratones de las partes centrales de los continentes. Parece ser que la primitiva corteza siálica se fue agrandando hasta constituir una gran megajea mucho mayor que la actual. Hace unos 800 ó 900 millones de años, esta corteza se fragmentó en un proceso que se denomina la revolución algónica, iniciándose un nuevo ciclo orogénico.

El clima debió ser frío y húmedo, existiendo restos de materiales glaciares. Al final, el clima debió ser más seco y árido.

Los restos fósiles son muy escasos hasta finales de la era, lo que puede indicar que existían pocos seres vivos o que sus restos hayan desaparecido. El origen de la vida debió ocurrir al principio de la era en una serie de etapas que comienza con la síntesis de moléculas orgánicas, agrupación de estas moléculas formando macromoléculas políneas, reduplicación de ácidos nucleicos, aislamiento de material orgánico formándose células procarióticas, que posteriormente originarían células eucarióticas; a partir de aquí, evolución de formas eterótrofas y otrótrofas con enriquecimiento de oxígeno en la atmósfera que permitió el desarrollo de la vida a gran escala. La evolución debió ser muy rápida puesto que, a comienzos de la era primaria, están representados todos los grandes grupos de seres vivos. Los fósiles más antiguos son bacterias y algas calcáreas. Los más abundantes son bacterias y algas; posteriormente, gusanos, medusas y esponjas. Al final de la era, abundan organismos calcáreos.