

Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC)



Área de Ingeniería Geología

“El Tiempo en la Geología”

Mario Bergés

01 - 0542

construaprende
Sección 02 .COM

Prof. María Calzadilla

Agosto - Octubre

Santo Domingo, Rep. Dom.

INTRODUCCIÓN.....	3
GEOLOGÍA	4
▪ IMPORTANCIA PRÁCTICA PARA LA INGENIERÍA CIVIL	6
ORIGEN DE LA TIERRA.....	8
▪ HIPÓTESIS NEBULAR.....	8
▪ HIPÓTESIS DE ORIGEN FRÍO	10
▪ LA TIERRA	10
EL TIEMPO EN LA GEOLOGÍA.....	13
▪ ESTRATIGRAFÍA.....	13
▪ FACIES	14
▪ DATACIÓN	16
<i>La Dendrocronología</i>	<i>16</i>
<i>El Análisis de varvas</i>	<i>16</i>
<i>La Datación por hidratación de obsidiana.....</i>	<i>16</i>
<i>La Datación por termoluminiscencia</i>	<i>17</i>
<i>La Datación radiométrica.....</i>	<i>17</i>
<i>Método del carbono 14.....</i>	<i>18</i>
<i>Método del potasio-argón.....</i>	<i>18</i>
<i>Método del rubidio-estroncio.....</i>	<i>18</i>
<i>Otros métodos radiométricos.....</i>	<i>18</i>
<i>Datación por trazas de fisión.....</i>	<i>19</i>
<i>Avances recientes</i>	<i>19</i>
ÉSCALA GEOLÓGICA DEL TIEMPO	20
<i>Periodo cámbrico:.....</i>	<i>21</i>
<i>Periodo ordovícico:.....</i>	<i>21</i>
<i>Periodo silúrico:</i>	<i>21</i>
<i>Periodo devónico:</i>	<i>21</i>
<i>Periodo carbonífero</i>	<i>21</i>
<i>Periodo pérmico:.....</i>	<i>21</i>
<i>Periodo triásico.....</i>	<i>22</i>
<i>Periodo jurásico:.....</i>	<i>22</i>
<i>Periodo cretácico:.....</i>	<i>22</i>
<i>Periodo terciario:.....</i>	<i>22</i>
<i>Periodo cuaternario</i>	<i>22</i>
CICLO GEOLÓGICO	24
GEOSFERAS DE LA TIERRA	26
<i>Litosfera.....</i>	<i>26</i>
<i>La atmósfera</i>	<i>26</i>
<i>Hidrosfera.....</i>	<i>30</i>
CONCLUSIÓN.....	31

Introducción

Vivimos en una ciudad con una densidad de población tal, que permite que no pasen más de cinco minutos para que, ya sea por indirectamente o por haberlos visto, recordemos que existen otros seres humanos alrededor de nosotros. Nos olvidamos, en el afán de los días, de que existen las estrellas, de que el mar no es el fin de nuestra Tierra, de que vivimos en una isla que está en el medio de tanta agua salada, tantos ríos que desembocan allí, tanta tierra alrededor de los mares, tanta gente, tanto espacio... Vivimos, y nos olvidamos de que vivimos en la Tierra. Y no fue sino hasta ahora, cuando en este curso de Geología, lo recordé, y más que eso, lo aprendí.

La Tierra es, según me parece ahora, un ser viviente. Actúa, reacciona, se mueve y tiene procesos. Pero es todo tan lento para nuestras unidades de tiempo, para nuestros períodos de vida, que en realidad parece ser sólo un montón de rocas, minerales, agua, vida.

Es importante, tanto para la ingeniería como para la vida en el planeta, conocer qué es la Tierra, y cómo se comporta. Ésta es la base de las siguientes páginas.



Geología

Según la Real Academia de Lengua Española, la palabra geología es:

Ciencia que trata de la forma exterior e interior del globo terrestre, de la naturaleza de las materias que lo componen y de su formación, de los cambios o alteraciones que estas han experimentado desde su origen, y de la colocación que tienen en su actual estado.¹

Podríamos, extrayendo la esencia del párrafo anterior, decir que la geología es la ciencia que estudia la Tierra. Y esto se ve respaldado por el origen de la palabra: del griego **geo**, que significa tierra y **logos**, que quiere decir conocimiento.

Los geólogos son científicos de la Tierra que estudian las rocas y los materiales derivados que forman la parte externa de la Tierra. Para hacer estos estudios, necesariamente tienen que ayudarse de otras ciencias tales como la física, la química, la biología, la estadística, las matemáticas. Los principios físicos por ejemplo son importantes para entender la destrucción física de rocas en un río, la acumulación de arena y bloques. La química ayuda entender la formación de minerales y de algunas. Así mismo el conocimiento de la biología actual es muy importante para entender la vida de las épocas pasadas.

La verdad es que esta ciencia es sumamente amplia, por lo que se ha ramificado y ha dado lugar a varias ramas especializadas. En la práctica, los geólogos se especializan en una de éstas, las cuales están divididas en físicas e históricas. La geología física está enfocada hacia los procesos y las fuerzas que dan forma al exterior de la Tierra y que actúan en su interior. La geología histórica, está interesada por la evolución de la superficie terrestre y de sus formas de vida.

Así tenemos ramas como las siguientes:

Geofísica: El objetivo de los geofísicos es deducir las propiedades físicas de la Tierra, junto a su composición interna, a partir de diversos fenómenos físicos. Estudian el campo geomagnético, el paleomagnetismo en rocas y suelos, los fenómenos de flujo de calor en el interior terrestre, la fuerza de la gravedad y la propagación de ondas sísmicas (sismología), por ejemplo.

Geoquímica: La geoquímica se refiere a la química de la Tierra en su conjunto, pero el tema se divide en áreas como la geoquímica sedimentaria, la orgánica, el nuevo campo de la geoquímica del entorno y algunos otros.

Petrología: La petrología se encarga del origen, la aparición, la estructura y la historia de las rocas, en particular de las ígneas y de las metamórficas.

Mineralogía: La ciencia de la mineralogía trata de los minerales de la corteza terrestre y de los encontrados fuera de la Tierra, como las muestras lunares o los meteoritos.

Geología estructural: En un principio, a los geólogos estructurales les ocupaba especialmente el análisis de las deformaciones de los estratos sedimentarios. Ahora estudian más las de las rocas en general. Comparando las distintas características de estructuras, se puede llegar a una clasificación de tipos relacionados.

¹ DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Vigésima segunda edición. (On-line)

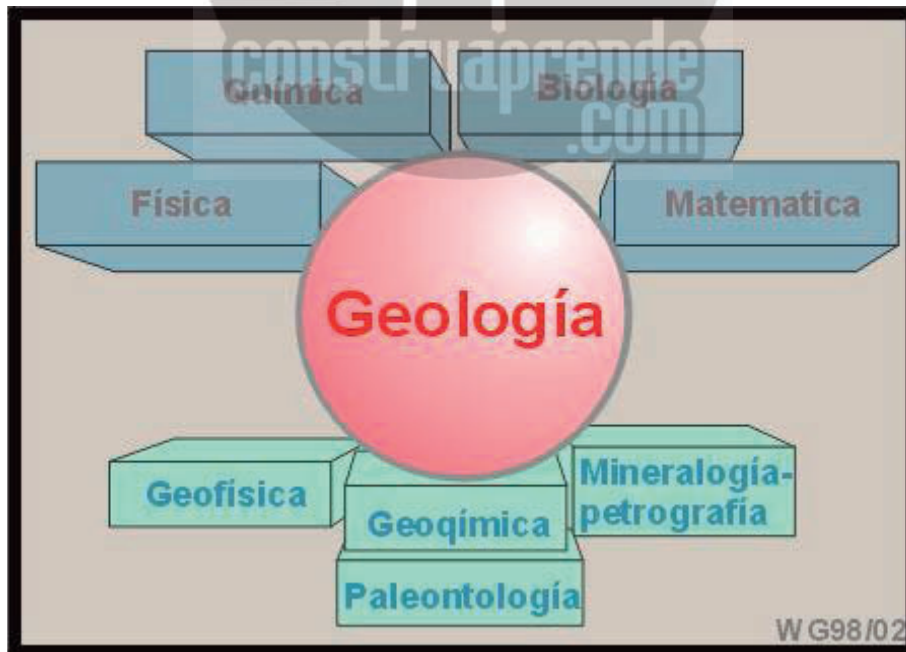
Sedimentología: También llamado geología sedimentaria, investiga los depósitos terrestres o marinos, antiguos o recientes, su fauna, su flora, sus minerales, sus texturas y su evolución en el tiempo y en el espacio.

Paleontología: Estudio de la vida prehistórica, investiga la relación entre los fósiles de animales (paleozoología) y de plantas (paleobotánica) con plantas y animales existentes.

Geomorfología: La geomorfología como su nombre lo indica quiere decir forma y desarrollo de la Tierra. Es el intento de establecer un modelo de la parte externa de la Tierra. Los geomorfólogos explican la morfología de la superficie terrestre en términos de principios relacionados con la acción glaciaria, los procesos fluviales, el transporte y los depósitos realizados por el viento, la erosión y la meteorización.

Geología económica: Se encarga del análisis, la exploración y la explotación de materia geológica útil para los humanos, como combustibles, minerales metálicos y no metálicos, agua y energía geotérmica.

Ingeniería geológica (y del entorno): Los ingenieros geólogos aplican los principios geológicos a la investigación de los materiales naturales -tierra, roca, agua superficial y agua subterránea- implicados en el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería civil. Una nueva rama, la geología del entorno, recoge y analiza datos geológicos con el objetivo de resolver los problemas creados por el uso humano del entorno natural. Por supuesto el aspecto más importante de este estudio, es el relacionado con la vida de las personas en construcciones en lugares de alto riesgo de sismo, o cualquier otro proceso geológico de importancia.



▪ **Importancia práctica para la Ingeniería Civil**

Las obras civiles (hasta ahora todas, sin excepción) son construidas utilizando como soporte la corteza terrestre. La corteza terrestre es una capa cuyo espesor varía, y está en un rango comprendido entre los 4 y los 70 kilómetros. A su vez, la corteza está sustentada por otras capas más. De modo que no podemos olvidar, que las obras civiles están apoyadas sobre la Tierra, y ésta, no es estática ni constante. Hay que recordar que la Tierra está en permanente cambio, y estos cambios tienen influencia directa sobre las construcciones que hagamos, y más aún sobre nuestras vidas en general.

El ingeniero civil, debe estar tan capacitado como para incluir las propiedades del lugar donde erigirá su obra, en el diseño de la misma. Nosotros los ingenieros civiles, debemos informarnos sobre cómo funciona la Tierra, sobre cuáles son los indicios que señalan condiciones favorables, y cuáles no. Debemos reconocer, que tratamos directamente con la Tierra, y por eso debemos documentarnos al respecto.

Por ejemplo, proyectos representativos de la ingeniería geológica son los diques, los puentes, las autopistas, los oleoductos, el desarrollo de zonas de alojamiento y los sistemas de gestión de residuos.

La geología se utiliza de diversas formas en obras hidráulicas entre las cuales están:

Los pozos de punta captación: la mayoría de los problemas de drenaje en los trabajos de ingeniería civil no tienen la magnitud de otros proyectos. Por fortuna, se dispone de otros medios para manejar el agua freática en trabajos pequeños. Estos métodos implican el uso de pozos de captación. El sistema se compone básicamente de una bomba especial y varios pozos de punta de captación para abatir el nivel de agua freática bajo el nivel de la excavación más profunda; así el material que se ve a excavar es comportamiento es incierto, al sólido; de esta manera se facilita el avance de la excavación y se eliminan los problemas causados por el agua. El control del agua freática en las obras de construcción urbana, también es de vital importancia, y solo puede ser efectuado con base en un estricto conocimiento de la capa subyacente local de una detallada geología urbana.

Las centrales hidroeléctricas subterráneas: la idea de situar centrales hidroeléctricas o de bombeo subterráneas es casi tan conocida, que han dejado de ser novedad en el diseño. Esto es un desarrollo que tuvo lugar a partir de la segunda guerra mundial; aunque a fines del siglo XIX, una de las primeras centrales eléctrica o hidroeléctrica canadienses en niágara falls utilizó el subsuelo en un cierto grado. Las turbinas impulsadas por agua se situaron en el fondo de unas excavaciones circulares profundas y se conectaron con los generadores situados en la superficie por medio de flechas de acero, y por eso, esta no puede ser considerada completamente subterránea.

La cimentación de presas: la construcción de una presa almacenadora de agua altera más las condiciones naturales que cualquiera otra obra de la ingeniería civil. Esta es importante por la función que desempeñan: en el almacenamiento de agua para el suministro de avenidas, recreación o irrigación.

Las obras de control fluvial: desde hace más de 3000 años el hombre ha tratado de amansar algunos de los grandes ríos del mundo. Las primeras obras de ingeniería civil fueron con toda probabilidad las de control fluvial. Las obras fluviales son esencialmente la regulación de la corriente natural del río dentro de un curso bien definido, generalmente

el que suele ocupar la corriente. Ya que la desviación del curso probablemente ocurrirá durante los periodos de caudal de avenida, la obra de control consiste en regular la avenida.

También se utiliza la geología en las obras viales, y dichas entre dichas obras cabe mencionar:

Cimentación de Puentes: como antecedente necesario deberá recalcar la gran importancia de la geología en la cimentación de los puentes. Por muy científicamente que esté diseñada una columna de un puente, en definitiva el peso total del puente y las cargas que soporta deberán descansar en el terreno de apoyo. Para el ingeniero estructural las columnas y los estribos de un puente no son realmente “interesantes”. Sin embargo, debe prestarles un interés más que pasajero, ya que muy menudo el diseño de las cimentaciones compete al ingeniero estructural responsable del diseño de la superestructura.

Campos de Aviación: el crecimiento de la aviación civil ha sido extraordinario en los últimos siglos; y es en este por su extensión en donde la geología no es tan determinante como en otros tipos de construcciones. Los campos de aviación modernos tienen que ser áreas muy grandes y bastante planas sin serios impedimentos para volar en los alrededores.

Carreteras: son contadas las obras de ingeniería civil que guardan relación tan estrechamente con la geología como las carreteras. Se puede esperar que todo proyecto de carreteras importante encuentre una gran variedad de condiciones geológicas, puesto que se extienden grandes distancias. Aunque será extraño que una carretera requiera actividades constructivas en las profundidades del subsuelo, los cortes que se realizan para lograr las gradientes uniformes que demandan las autopistas modernas proporcionan por necesidad una multitud de oportunidades de observar la geología. No sólo es atractivo para los conductores, sino que también revelan detalles de la geología local que de otro modo serían desconocidos.

Origen de la Tierra

Hablar sobre el origen de la Tierra como planeta, es también reconocer que es el origen del Sistema Solar del cual forma parte, y a la vez, está relacionado todo con lo que se sabe sobre el origen del universo. De manera que para ir despejando dudas al respecto es preferible describir brevemente lo que se conoce, desde el inicio de los tiempos: el más viejo acontecimiento del cual se tiene (hay algunas pruebas) conocimiento.

Más que una pregunta científica, es una pregunta filosófica: ¿de dónde venimos? Esta pregunta debió estar inquiriendo las mentes de todos los seres humanos desde el principio de la historia como la conocemos. De hecho todavía está activa, y tiene validez.

Así pues, cuando se descubrió por accidente que en el universo completo existe una radiación de la misma frecuencia que puede ser captada sin importar en cual dirección uno se esté dirigiendo, se dieron las bases necesarias para la afirmación de que en el principio hubo una gran explosión que dio lugar a toda la materia que hoy conocemos. Además, se comprobó que el universo (todo lo que existe en él) está constantemente alejándose de un centro. Este experimento se llevo a cabo gracias al descubrimiento del efecto Doppler. Esto sugiere que el universo está todavía en expansión, lo que ayuda todavía más a la teoría de que todo lo que conocemos, antes estaba situado en un solo punto, el cual luego explotó y dio origen al universo que hoy conocemos.

Esta explosión se conoce como el Big Bang, y se estima que ocurrió hace unos 15,000 millones de años. Aunque descubrimientos recientes lo sitúan aún más alejado en el tiempo.

Después de 300.000 años de esta gran explosión de un punto incompresible, en donde se encontraba toda la materia y energía, el universo era una gran nube de helio e hidrogeno muy densa donde empezaban a formarse irregularidades. Luego a los 1000 millones de años se crean las primeras galaxias a partir de las irregularidades en la nube primordial. En ellas comienzan a formarse las estrellas, donde se producen los elementos mas pesados. En aquel tiempo el universo se expandía a la velocidad de la luz. A los 3500 millones de años la velocidad de expansión comienza a frenarse progresivamente por acción de las fuerzas gravitacionales.

▪ Hipótesis Nebular

Nuestro sistema solar, según la **hipótesis nebular**, se generó a partir de una masa caliente de gas y polvo (nebulosa), dentro de la Vía Láctea (nuestra galaxia). Esta nebulosa de gas y polvo colapsó a su centro por efecto de su propia gravitación y por las ondas de densidad generadas por el movimiento rotatorio de nuestra galaxia espiral. Debido a este colapso hacia su centro, la masa se calentó.

Esta masa, llamada nebulosa solar, aumentó su movimiento rotacional a medida que se contraía debido a la conservación del momento angular. La gravedad, el movimiento de rotación y la presión del gas causaron que la masa se aplanara, formando un disco con un abultamiento en el centro. Este abultamiento generaría al sol, mientras que el disco periférico daría lugar a los planetas y demás cuerpos celestes de nuestro sistema.

A medida que la masa se contraía, las masas individuales rotatorias colapsaban debido a la fuerza gravitacional y a las inestabilidades provocadas por el movimiento rotatorio. Cabe mencionar que el disco periférico al protosol adquirió forma de un bucle espiral con la parte media más abultada. Este disco de masas individuales (protoplanetas) daría lugar a los planetas. En esta fase se generaron el agua y los compuestos orgánicos necesarios para el ensamble de los seres vivos, dentro de la nebulosa solar.

A la masa central se le denomina protosol porque generaría al sol, en tanto que a las condensaciones individuales del disco se les llama protoplanetas, pues darían lugar a los planetas.

Esta etapa dio lugar a una conflagración planetaria, durante la cual los planetas y el sol fueron bombardeados por cuerpos más pequeños, como cometas, partículas de polvo y meteoritos. También ocurrió la captura de productos químicos por el efecto gravitacional de los planetas, algunos en forma de microesferas y otros en estado gaseoso.

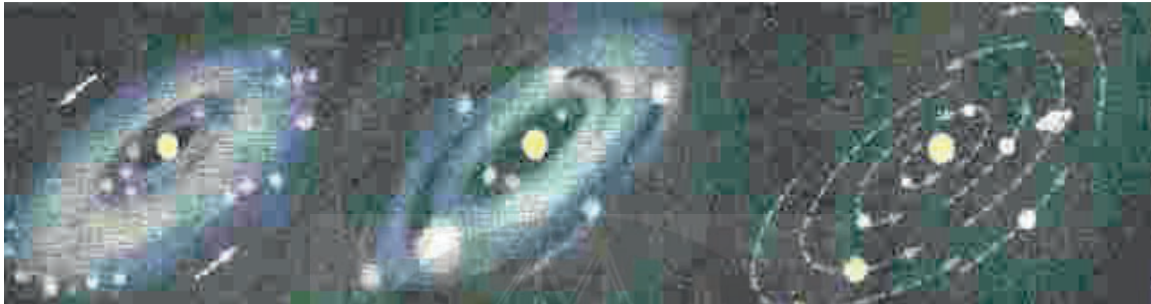
En la Tierra ocurrió que, conforme el exceso de calor se disipaba hacia el Cosmos, el agua en estado gaseoso comenzó a condensarse en pequeñas gotas que se precipitaban al suelo en un movimiento de vaivén, pues al aproximarse al suelo sobrecalentado de la Tierra, de inmediato volvían a evaporarse para volver a la estratosfera, donde volvían a condensarse para precipitarse nuevamente. Este vaivén de gotas de agua ayudó a enfriar la corteza terrestre, poco a poco, a través de miles de años, hasta que el agua líquida pudo depositarse en cuencas, formando así a los océanos, lagos, charcas, etc.



▪ Hipótesis de origen frío

Según esta hipótesis, formulada por O. Yu Schmidt, el Sol, con una masa grande y un ímpetu angular muy pequeño, ya existía cuando atrapó en sus travesías espaciales un enjambre de sustancias meteóricas (nube de gas y polvo) que tenía una masa pequeña y que hacía girar con una velocidad absolutamente grande. La presencia del sol causó un aumento intensivo en los coágulos allí originados y de ellos - los planetas y los satélites. El “viento del sol” (presión de la radiación del sol) tomó una mayor parte en el origen del sistema.

Esta hipótesis ya no es sustentada por los científicos actuales.



▪ La Tierra

Ahora sumergiéndonos en lo que es el origen de la Tierra, hagamos un poco de historia a ver lo que ha ocurrido desde que se formó hasta nuestros tiempos.

La radiactividad de las rocas que existían cuando la tierra era un protoplaneta hizo que la Tierra se derritiera. El hierro y el níquel se hundieron formando el núcleo de la Tierra junto con los demás elementos pesados. Así, hace 4.000 millones de años, la corteza de la Tierra comenzó a formarse, conforme se iba enfriando.

Durante millones de años la corteza incrementó su grosor y los volcanes entraron en erupción arrojando gases que comenzaron a formar la atmósfera y el vapor de agua se condensó, formando los océanos. Hace aproximadamente 3.500 millones de años la mayor parte de la corteza de la Tierra ya se había formado, pero la apariencia de los continentes era muy diferente de la actual.

Con el planeta ya frío (relativamente, como lo conocemos hoy en día), podemos afirmar que aproximadamente el 99% de éste, está constituido solamente por 14 elementos que son Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, C, O, H, N. Éstos son llamados elementos mayores. Los otros elementos naturales (más de 70) son tan escasos que prácticamente no intervienen en la caracterización de los materiales. Estos son llamados elementos traza; esto es: las características como mineralización, densidad, etcétera, son principalmente determinadas por la abundancia de los elementos mayores.

Los geólogos han intentado describir los procesos mediante los cuales la tierra adoptó la forma actual, con miras a conocer qué se puede esperar en los tiempos futuros. Por esto, en la historia de la geología han existido grandes debates entre aquéllos que apoyan distintas ideas que intentan explicar los fenómenos.

Existían dos tendencias sobre el origen de la tierra: los neptunistas, quienes decían que todas las rocas de la superficie se habrían formado en el agua del mar; y los plutonistas, quienes decían que las rocas se habrían formado por unas rocas calientes que se habrían enfriado en el exterior.

Otras tendencias de discusión eran:

Actualistas: aquellos que pensaban que la tierra se comportaba siempre de la misma manera, los procesos geológicos eran muy lentos.

Catastrofistas: aquellos que sostenían que a lo largo de la historia de la tierra había habido una serie de catástrofes.

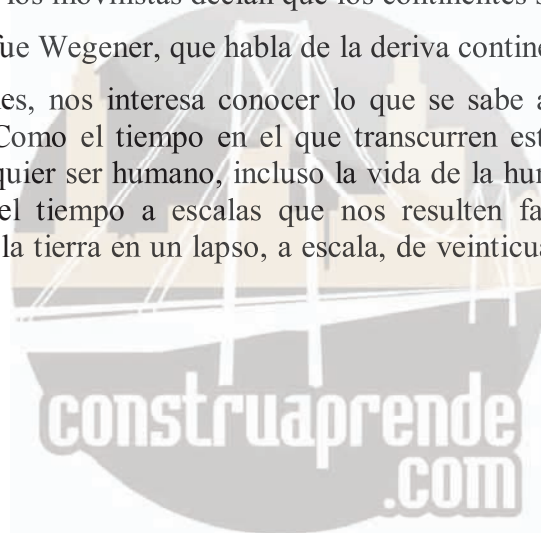
Hoy en día se ha llegado al neocatastrofismo o método actual, el cual sugiere que puede haber catástrofes cada cierto tiempo y que también tiene que haber procesos graduales.

La última gran polémica fue entre fijistas y movilistas.

Los fijistas fueron los que dominaron al principio y decían que los continentes estaban estáticos. Mientras que los movilistas decían que los continentes se movían en horizontal.

El principal movilista fue Wegener, que habla de la deriva continental.

Fuera de las discusiones, nos interesa conocer lo que se sabe a ciencia cierta sobre la historia de la Tierra. Como el tiempo en el que transcurren estos procesos excede por mucho la vida de cualquier ser humano, incluso la vida de la humanidad como conjunto, es preferible adaptar el tiempo a escalas que nos resulten familiares. Así, podemos visualizar el origen de la tierra en un lapso, a escala, de veinticuatro horas, o la duración de un día.



Hora	Acontecimiento
0 h 0 min	Origen de la Tierra
1 h 36 min	Minerales más antiguos que se conocen
3 h 42 min	Origen de la vida
6 h 24 min	Primeros diamantes
5 h 18 min	Primeros microorganismos fotosintéticos
9 h 0 min	Primeras cianobacterias
10 h 6 min	La atmósfera ya es rica en oxígeno
11 h 42 min	Primera glaciación conocida
13 h 18 min	Primeros organismos con resp. aerobia
14 h 24 min	El cráter meteorítico más antiguo
16 h 30 min	Aparece el núcleo celular
19 h 42 min	Primeros heterótrofos y depredadores
20 h 24 min	Primeros organismos pluricelulares
20 h 40 min	Formación de Pangea I
20 h 42 min	Periodo más frío de la historia de la Tierra
21 h 18 min	Primeros peces
22 h 0 min	Primeros anfibios y primeros árboles
22 h 24 min	Formación de Pangea II
22 h 36 min	La mayor extinción de la historia
22 h 53 min	Primeros mamíferos
22 h 56 min	Inicio de la fragmentación de Pangea II
23 h 12 min	Primeras aves
23 h 18 min	Primeras flores
23 h 38 min	Casi la mitad de los continentes inundados
23 h 39 min	Extinción de los dinosaurios
23 h 50 min	Primeros monos
23 h 58 min	Primeros homínidos
23 h 59 min	El primer Homo
23 h 59 min 59 seg 82 cts	Se construyen las Pirámides de Egipto
23 h 59 min 59 seg 98 cts	Colón descubre América
24 h 0 min 0 seg	Ahora

Historia de la Tierra desde su origen hasta nuestros días, en escala de un día.

El Tiempo en la Geología

Cuando hablamos de tiempo en geología, como hemos visto anteriormente, debemos recordar que para que los sucesos adquieran una dimensión justa, se habla de unidades mucho mayores a las que estamos acostumbrados a utilizar. Además, hay que hacer la aclaración de que hay dos métodos por los cuales se organizan los sucesos de los cuales se tiene conocimiento. Estos métodos dan origen al tiempo relativo y al tiempo absoluto.

El tiempo relativo, como su nombre lo indica, es aquél que resulta al organizar los sucesos conociendo simplemente cuál de ellos ocurrió primero que el otro. Así, se crea un orden cronológico, que no puede relacionarse con el tiempo actual más que para saber que ocurrió antes o después, ni tampoco pueden relacionarse con exactitud los sucesos entre ellos.

El otro, el tiempo absoluto, consiste en el conocimiento de la fecha en la cual se originó la evidencia. Éste método es mucho más preciso que el anterior, y ofrece la ventaja de que se puede relacionar con la época actual, sabiéndose así cuánto tiempo ha transcurrido entre el suceso y nuestros tiempos. Para que fuera posible la utilización de este método fue necesario que se conocieran las velocidades de desintegración de los minerales radiactivos².

Las evidencias geológicas se consiguen de uno de los tres tipos de roca.

1. **Ígneas:** Que se originan con el enfriamiento del magma en el interior o exterior de la corteza terrestre.
2. **Sedimentarias:** Originadas por la acumulación de sedimentos, y posterior compactación y cementación de los mismos.
3. **Metamórficas:** Originadas por cambios en el factores externos como presión y calor, lo que originan un cambio en la composición y la forma de rocas anteriores.

Se establece un esquema con los sucesos geológicos al datar estos episodios usando diversos métodos radiométricos y relativistas.

El tiempo geológico relativo ha sido determinado, en gran parte, por la posición relativa de las rocas sedimentarias, ya que una capa sedimentaria representa cierta cantidad de tiempo, basándose en el **principio de superposición** que dice que en una serie de rocas sedimentarias que no hayan sido volcadas, la capa más alta es siempre la más joven y la capa más baja es siempre la más antigua.

▪ **Estratigrafía**

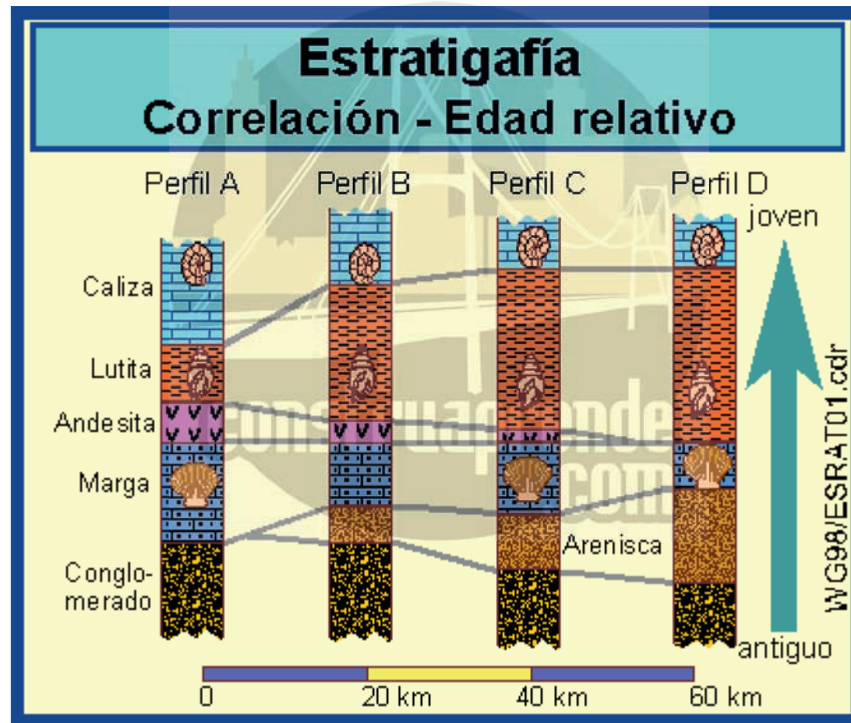
La estratigrafía es una rama de la geología cuya finalidad es el estudio de las rocas vistas como capas o estratos. Centrada en especial en las rocas sedimentarias, la disciplina se ha extendido a todos los tipos de rocas y a sus interrelaciones, en especial las cronológicas, como ya hemos visto anteriormente.

² Radiactividad: Proceso caracterizado por la emisión espontánea de partículas originadas por los núcleos de ciertos elementos. Al hacerlo producen nuevos elementos. (Explicado mejor en el texto, más abajo).

El tema de estudio cronológico por medio de la estratigrafía fue iniciado en Inglaterra por William Smith, que realizó el primer mapa geológico de Inglaterra (1815), y en Francia por Georges Cuvier y Brongniart. Estas investigaciones se basaban, y siguen haciéndolo, en dos principios fundamentales. El primero, la ley de superposición, que permite una apreciación del cambio de las condiciones con el tiempo. El segundo, que los lechos de roca se caracterizan por su contenido de fósiles, lo que facilita el seguimiento de los lechos en el terreno entre distintas afloraciones³. La variación observada entre las formas de vida en las series de rocas llevó al desarrollo, durante el siglo XIX, de la columna estratigráfica, una tabla basada en las sucesiones de rocas a lo largo del tiempo geológico.

La dilucidación de las propiedades de las sucesiones sedimentarias permite la reconstrucción de las geografías del pasado. Cuando se incluyen en el estudio las rocas ígneas y las rocas metamórficas asociadas, el campo de la estratigrafía se extiende tanto que se convierte en la historia de la Tierra registrada en las rocas.

Para entender lo que son los estratos, y de qué manera nos ayudan los fósiles a organizarlos, la imagen que sigue ilustra una configuración:



▪ Facies

El significado de la palabra facies ha sido muy debatido en geología y es ampliamente utilizado tanto en rocas sedimentarias como en el área de petrología metamórfica. Hoy día la palabra facies se emplea tanto en sentido descriptivo como interpretativo y la palabra en si misma es tanto singular como plural.

³ Efecto de surgir, aparecer. En geología, se refiere a los lugares donde las formaciones rocosas antes enterradas quedan expuestas a la superficie, sobre la corteza terrestre, ya sea artificial o naturalmente.

Según la Real Academia Española, la palabra facies significa: *Aspecto, caracteres externos de algo.*

La definición de facies, en geología, se refiere a un cuerpo de roca caracterizado por una particular combinación de litología, estructuras físicas y biológicas que imparten un aspecto diferente del cuerpo de rocas que la rodean. En rocas sedimentarias (a partir de afloramientos o núcleos), se define en base al color, estratificación, composición textural, fósiles y estructuras sedimentarias.

El estudio e interpretación de las texturas sedimentarias, estructuras, fósiles y asociaciones litológicas de rocas sedimentarias a escala de afloramiento, de pozo o de un pequeño segmento de una cuenca, constituye el alcance de un estudio de análisis de facies.

Así como se habla de capas o estratos cuando se piensa en la división vertical, o por deposición de los sedimentos, se tiene que considerar también, que los sedimentos de una misma capa, cambian conforme cambia el terreno horizontalmente. La imagen mostrada a continuación ayudará a la interpretación del concepto.



En ocasiones se acumulan al mismo tiempo diferentes sedimentos adyacentes unos a otros, y cada uno posee un conjunto distintivo de características que reflejan las condiciones de un ambiente particular. Si se estudia una serie de capas sedimentarias, se puede ver los cambios sucesivos que hubo en un lugar concreto con el paso del tiempo. También pueden verse los cambios de los ambientes pasados si se sigue la pista de una unidad individual de roca sedimentaria en lateral.

Las facies no son más que el término que se utiliza para nombrar las “capas” horizontales, en las que se presentan sedimentos diferentes. Cada facies pasa gradualmente en sentido lateral a otra que se formó al mismo tiempo, pero que exhibe características diferentes. Normalmente, la fusión de las facies adyacentes tiende a ser una transición gradual, antes que un límite claro, pero a veces ocurren cambios bruscos.

Para el ingeniero civil, es de suma importancia conocer sobre las facies. Los materiales de construcción, en gran medida son rocas sedimentarias, y estas se depositan en ambientes específicos. Conociendo pues la variación de capas, no sólo en profundidad, sino también en extensión lateral, puede uno saber en qué lugar encontrar estos materiales.

También, hay que reconocer que el estudio de las facies nos ayuda a entender cómo varía el terreno en su extensión. Pues no basta con saber cuáles capas lo componen en profundidad, si no estamos atentos a que pueden existir cambios bruscos o lentos hacia otro tipo de sedimento, otro tipo de roca.

▪ **Datación**

El tema de la datación es un tema extenso, ya que hay una gran variedad de novedosas técnicas, y existe un registro no despreciable de las técnicas antiguas.

La datación no es más que los métodos que se utilizan para determinar la edad de rocas y minerales. Aplicando la información obtenida, los geólogos pueden descifrar los 4.600 millones de años de historia de la Tierra. Los sucesos del pasado geológico quedan registrados en los estratos de la corteza terrestre.

Con las técnicas disponibles en la época, los geólogos del siglo XIX sólo podían componer una escala de tiempo relativa. Así, la edad de la Tierra y la duración de las unidades de esta escala permanecieron desconocidas hasta principios del siglo XX. Poco después del descubrimiento de la radiactividad, se desarrollaron los métodos radiométricos de datación. Con ellos, se pudo calibrar la escala relativa de tiempo geológico creando una absoluta.

La escala relativa se confeccionó aplicando los principios de la estratigrafía. Uno de ellos es el principio de superposición, que ya explicamos anteriormente.

Basándose en los fósiles que contienen, se pueden poner en correlación estratos de rocas de distintos lugares. Al establecer nuevas relaciones, los geólogos empezaron a componer grandes grupos que se convirtieron en el fundamento de la división del tiempo geológico en vastos bloques. De esta forma, se dividió la historia de la Tierra en cuatro eras (precámbrico, paleozoico, mesozoico y cenozoico); éstas, a su vez, fueron fragmentadas en periodos. Esta clasificación es fundamental en el estudio de la geología.

Aunque el desarrollo de las técnicas radiométricas fue el primer y principal gran progreso en el establecimiento de la escala absoluta de tiempo, se concibieron otros métodos con aplicaciones limitadas. Los más importantes fueron:

La Dendrocronología: Este método se basa en la cantidad, la extensión y la densidad de los anillos anuales de crecimiento de árboles longevos, lo que permite a los dendrocronólogos datar con precisión eventos y estados climáticos de los últimos 2.000 o 3.000 años.

El Análisis de varvas: Es uno de los sistemas más antiguos para la determinación absoluta de edades. Fue desarrollado por científicos suecos a principios del siglo XX. Una varva es un lecho, o una sucesión de ellos, depositado en zonas de agua tranquila a lo largo de un año. Su cuenta y correlación se ha usado para medir edades de depósitos glaciares del pleistoceno. Dividiendo la velocidad de sedimentación, en unidades por año, por el número de unidades depositadas después de un evento geológico, los geólogos pueden establecer la antigüedad del suceso en años.

La Datación por hidratación de obsidiana: Llamada también datación por el cerco de hidratación o de obsidiana. Se utiliza para calcular edades en años, determinando el grosor de las aureolas (anillos de hidratación) producidas por vapor de agua

difundiéndose en superficies recién cortadas de cristales de obsidiana. Se puede aplicar a vidrios de entre 200 y 200.000 años.

La Datación por termoluminiscencia: Este método se basa en el fenómeno de la radiación ionizante natural inducida sobre los electrones libres de un mineral que pueden quedar atrapados en los defectos de la estructura cristalina. Estos electrones escapan como termoluminiscencia cuando se calientan hasta una temperatura inferior a la de incandescencia. De esta forma, registrando la termoluminiscencia de un mineral como el cuarzo y suponiendo un nivel constante de radiación natural, se puede datar el último drenaje de electrones atrapados en los últimos cientos de miles de años. Cuando se aplica sobre vasijas de barro, por ejemplo, la muestra se calienta hasta que brilla con una energía que ha permanecido almacenada desde que fue cocida.

La Datación radiométrica: Las técnicas radiométricas se desarrollaron después del descubrimiento de la radiactividad en 1896. Los ritmos regulares de desintegración de los elementos radiactivos inestables resultaron ser relojes virtuales en el interior de las rocas terrestres.

Los elementos radiactivos, como el uranio (U) y el torio (Th), se desintegran de forma espontánea formando distintos isótopos del mismo elemento. Esta desintegración se acompaña de la emisión de radiación o partículas (rayos alfa, beta o gamma) desde el núcleo por captura nuclear o por liberación de electrones ligados. Algunos isótopos se convierten en un producto estable, o isótopo hijo, en un solo paso (el carbono 14, por ejemplo), mientras que otros necesitan varias etapas hasta estabilizarse; es el caso del uranio 235, del uranio 238 y del torio 232. Si un isótopo hijo es estable, se acumula hasta que el isótopo padre desaparece. Si es radiactivo, se alcanza el equilibrio cuando se desintegra a la misma velocidad con la que se forma.

La desintegración radiactiva puede realizarse de varias maneras. Así, si se produce por emisión alfa, el isótopo pierde dos protones y dos neutrones que juntos componen la partícula alfa; su número atómico (cantidad de protones) disminuye en dos y su masa atómica (cantidad de partículas nucleares, o nucleones) en 4. En la desintegración beta, o pérdida de un electrón, un núcleo radiactivo gana o pierde una unidad de carga eléctrica sin cambiar su número de nucleones. Hay más sustancias radiactivas emisoras de rayos beta que de rayos gamma.

Un tercer modo importante de desintegración implica la captura de un electrón que, al ser absorbido por un núcleo, se une con un protón para formar un neutrón. Así, el número atómico se reduce en uno mientras que la masa atómica no cambia. El cuarto tipo de desintegración, la radiación gamma, consiste en la emisión de ondas de energía electromagnética.

Los científicos describen la radiactividad de un elemento en función de su vida media⁴. Ésta cubre un rango muy extenso de tiempo, desde los pocos microsegundos hasta miles de millones de años. Al final del periodo de vida media, la mitad de la cantidad original del elemento radiactivo ha decaído; después de otro periodo igual, lo que quedaba se reduce de nuevo a la mitad, lo que reduce a una cuarta parte el total inicial, y así

⁴Tiempo que tarda en perder la mitad de su actividad por desintegración.

sucesivamente. Cada elemento radiactivo tiene su propia vida media, por ejemplo, la del carbono 14 es de 5.730 años y la del uranio 238 de 4.500 millones de años.

Las técnicas de datación radiométrica se basan en series de desintegración con tasas constantes de decaimiento de los isótopos. Desde que una cantidad de un elemento radiactivo se incorpora a un cristal de mineral en crecimiento, ésta empieza a disminuir a un ritmo fijo, creándose un porcentaje determinado de productos derivados en cada intervalo de tiempo. Estos "relojes de las rocas" son los cronómetros de los geólogos.

Método del carbono 14: Las técnicas de datación con radiocarbono, desarrolladas en un primer momento por el químico estadounidense Willard Frank Libby y sus colaboradores de la Universidad de Chicago en 1947, suelen ser útiles para la datación en arqueología, antropología, oceanografía, edafología, climatología y geología reciente.

Por medio de la actividad metabólica, el nivel de carbono 14 en un organismo vivo se mantiene en equilibrio la atmósfera o con el de otras partes de la reserva dinámica terrestre, como el océano. A partir de la muerte del organismo, el isótopo radiactivo empieza a desintegrarse a un ritmo conocido sin ser reemplazado por el carbono del dióxido de carbono atmosférico. Su rápida desintegración limita, en general, el periodo de datación a unos 50.000 años, aunque a veces se extienda el método hasta 70.000 años. La incertidumbre de la medida aumenta con la antigüedad de la muestra.

Aunque el método se adapta a una gran variedad de materiales orgánicos, su precisión depende del valor usado para la vida media de las variaciones en las concentraciones atmosféricas de carbono 14 y de la contaminación. En 1962, la vida media del radiocarbono fue redefinida desde 5.570 ± 30 años a 5.730 ± 40 años; por ello, algunas determinaciones anteriores requieren un ajuste, y debido a la radiactividad introducida en los últimos años en la atmósfera, las dataciones de radiocarbono se calculan desde 1950. La escala temporal del carbono 14 contiene otras fuentes de incertidumbre que pueden producir errores entre 2.000 y 5.000 años. El problema más grave es la contaminación posterior al depósito, que puede estar causada por filtración de agua subterránea, por incorporación de carbono más antiguo o más joven, y por captación de impurezas en el terreno o en el laboratorio.

Método del potasio-argón: Se aprovecha la desintegración del potasio radiactivo a argón para la datación de rocas. También se produce la transformación del potasio 40 en calcio 40, pero no es útil en este caso. Los geólogos pueden datar muchas muestras con este sistema debido a la abundancia del potasio en micas y feldespatos. El derrame de argón es problemático si la roca ha sido expuesta a temperaturas superiores a 125 °C; en tal caso, la edad calculada será la del último calentamiento y no la de la formación original.

Método del rubidio-estroncio: Usado en la datación de antiguas rocas terrestres ígneas y metamórficas así como de muestras lunares. Este método se basa en la desintegración beta de rubidio 87 a estroncio 87. Se suele usar para verificar fechas calculadas con potasio-argón, debido a que el estroncio derivado no se difunde tras un calentamiento suave como hace el argón.

Otros métodos radiométricos: Existen otros métodos radiométricos tales como los métodos con torio 230 y los métodos con plomo.

Datación por trazas de fisión: Esta técnica, también conocida como método de las trazas de fisión espontánea, se sirve de los rastros de las trayectorias de partículas nucleares en un mineral por la fisión espontánea de impurezas de uranio 238. La edad se calcula determinando la razón entre las densidades de trazas de fisión espontánea y las de fisión inducida. Este método proporciona los mejores resultados en micas, tectitas y meteoritos. Se ha usado para asistir en dataciones de 40.000 a 1 millón de años, intervalo no cubierto por las técnicas del carbono 14 y del potasio-argón. Sin embargo, las rocas sometidas a altas temperaturas o a bombardeo de rayos cósmicos pueden producir fechas erróneas.

Avances recientes: Existen nuevas técnicas utilizadas para datar depósitos de rocas determinando concentraciones de isótopos de renio y osmio.



Éscala Geológica del Tiempo

Como expliqué anteriormente, existen tres tipos de rocas de las cuales se puede obtener información: ígneas, metamórficas y sedimentarias. Además de estas rocas, existen fósiles y huellas de los fósiles que también ayudan a la elaboración de una cronología. La escala geocronológica no es más que el resumen de lo que sabemos acerca del transcurrir del tiempo en nuestro planeta.

Las divisiones de la escala de tiempos geológicos resultante se basan, en primer lugar, en las variaciones de las formas fósiles encontradas en los estratos sucesivos. Sin embargo, los primeros 4.000 a 6.000 millones de años de la corteza terrestre están registrados en rocas que no contienen casi ningún fósil; sólo existen fósiles adecuados para correlaciones estratigráficas de los últimos 600 millones de años, desde el cámbrico inferior. Por esta razón, los científicos dividen la extensa existencia de la Tierra en dos grandes divisiones de tiempo: el precámbrico y el fanerozoico, que comienza en el cámbrico y llega a las divisiones de tiempo más recientes.

Diferencias fundamentales en los agregados fósiles del fanerozoico primitivo, medio y tardío han dado lugar a la designación de tres grandes eras: el paleozoico (vida antigua), el mesozoico (vida intermedia) y el cenozoico (vida reciente). Las principales divisiones de cada una de estas eras son los periodos geológicos, durante los cuales las rocas de los sistemas correspondientes fueron depositadas en todo el mundo. Los periodos tienen denominaciones que derivan en general de las regiones donde sus rocas características están bien expuestas; por ejemplo, el pérmico se llama así por la provincia de Perm, en Rusia. Algunos periodos, por el contrario, tienen el nombre de depósitos típicos, como el carbonífero por sus lechos de carbón, o de pueblos primitivos, como el ordovícico y el silúrico por los ordovices y los siluros de las antiguas Gran Bretaña y Gales. Los periodos terciario y cuaternario de la era cenozoica se dividen en épocas y edades, desde el paleoceno al holoceno (o tiempo más reciente). Además de estos periodos, los geólogos también usan divisiones para el tiempo de las rocas, llamados sistemas, que de forma similar se dividen en series y algunas veces en unidades aún más pequeñas llamadas fases.

El descubrimiento de la radiactividad permitió a los geólogos del siglo XX idear métodos de datación nuevos, pudiendo así asignar edades absolutas, en millones de años, a las divisiones de la escala de tiempos. A continuación se expone una descripción general de estas divisiones y de las formas de vida en las que se basan. Los registros fósiles más escasos de los tiempos precámbricos, como hemos dicho, no permiten divisiones tan claras.

De modo que la escala, está dividida y subdividida con base en los fósiles encontrados. Así pues, tenemos:

1. Eones: Los intervalos más grandes. Hadeno, Arcaico, Proterozoico y Fanerozoico.
2. Eras: Es la subdivisión del eon más joven. Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico.
3. Períodos o Sistemas: La subdivisión de las eras. Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero, Pérmico, Triásico, Jurásico, Terciario, Cuaternario.
4. Épocas: Son la subdivisión de los períodos.

Estos son los períodos en los que dividimos el tiempo:

Periodo cámbrico: (570 a 510 millones de años)

Una explosión de vida pobló los mares, pero la tierra firme permaneció estéril. Toda la vida animal era invertebrada, y los animales más comunes eran los artrópodos llamados trilobites (extintos en la actualidad) con miles de especies diferentes. Colisiones múltiples entre las placas de la corteza terrestre crearon el primer supercontinente, llamado Gondwana.

Periodo ordovícico: (510 a 439 millones de años)

El predecesor del océano Atlántico actual empezó a contraerse mientras que los continentes de esa época se acercaban unos a otros. Los trilobites seguían siendo abundantes; importantes grupos hicieron su primera aparición, entre ellos estaban los corales, los crinoideos, los briozoos y los pelecípodos. Surgieron también peces con escudo óseo externo y sin mandíbula, que son los primeros vertebrados conocidos; sus fósiles se encuentran en lechos de antiguos estuarios de América del Norte.

Periodo silúrico: (439 a 408,5 millones de años)

La vida se aventuró en tierra bajo la forma de plantas simples llamadas psilofitas, que tenían un sistema vascular para la circulación de agua, y de animales parecidos a los escorpiones, parientes de los artrópodos marinos, extintos en la actualidad, llamados euriptéridos. La cantidad y la variedad de trilobites disminuyeron, pero los mares abundaban en corales, en cefalópodos y en peces mandibulados.

Periodo devónico: (408,5 a 362,5 millones de años)

Este periodo se conoce también como la edad de los peces, por la abundancia de sus fósiles entre las rocas de este periodo. Los peces se adaptaron tanto al agua dulce como al agua salada. Entre ellos había algunos con escudo óseo externo, con o sin mandíbula, tiburones primitivos (aún existe una subespecie de los tiburones de esta época) y peces óseos a partir de los cuales evolucionaron los anfibios. En las zonas de tierra, se hallaban muchos helechos gigantes.

Periodo carbonífero: (362,5 a 290 millones de años)

Los trilobites estaban casi extinguidos, pero los corales, los crinoideos y los braquiópodos eran abundantes, así como todos los grupos de moluscos. Los climas húmedos y cálidos fomentaron la aparición de bosques exuberantes en los pantanales, que dieron lugar a los principales yacimientos de carbón que existen en la actualidad. Las plantas dominantes eran los licopodios con forma de árbol, los equisetos, los helechos y unas plantas extintas llamadas pteridospermas o semillas de helecho. Los anfibios se extendieron y dieron nacimiento a los reptiles, primeros vertebrados que vivían sólo en tierra. Aparecieron también insectos alados como las libélulas.

Periodo pérmico: (290 a 245 millones de años)

Las zonas de tierra se unieron en un único continente llamado Pangea, y en la región que correspondía con América del Norte se formaron los Apalaches. En el hemisferio norte aparecieron plantas semejantes a las palmeras y coníferas que sustituyeron a los bosques formadores de carbón. Los cambios en el medio, resultado de la redistribución de tierra y

agua, provocaron la mayor extinción de todos los tiempos. Los trilobites y muchos peces y corales desaparecieron cuando terminó el paleozoico.

Periodo triásico: (245 a 208 millones de años)

El principio de la era mesozoica quedó marcado por la reaparición de Gondwana cuando Pangea se dividió en los supercontinentes del Norte (Laurasia) y del Sur (Gondwana). Las formas de vida cambiaron considerablemente en esta era, conocida como la edad de los reptiles. Aparecieron nuevas familias de pteridospermas, y las coníferas y los cicadofitos se convirtieron en los mayores grupos florales, junto a los ginkgos y a otros géneros. Surgieron reptiles, como los dinosaurios y las tortugas, además de los mamíferos.

Periodo jurásico: (208 a 145,6 millones de años)

Al desplazarse Gondwana, el norte del océano Atlántico se ensanchaba y nacía el Atlántico sur. Los dinosaurios dominaban en tierra, mientras crecía el número de reptiles marinos, como los ictiosaurios y los plesiosaurios. Aparecieron los pájaros primitivos y los corales formadores de arrecifes crecían en las aguas poco profundas de las costas. Entre los artrópodos evolucionaron animales semejantes a los cangrejos y a las langostas.

Periodo cretácico: (145,6 a 65 millones de años)

Los dinosaurios prosperaron y evolucionaron hacia formas más especializadas, para desaparecer de forma brusca al final de este periodo, junto a muchas otras formas de vida. Las teorías para explicar esta extinción masiva tienen en la actualidad un gran interés científico. Los cambios florales de este periodo fueron los más notables de los ocurridos en la historia terrestre. Las gimnospermas estaban extendidas, pero al final del periodo aparecieron las angiospermas (plantas con flores).

Periodo terciario: (65 a 1,64 millones de años)

En el terciario se rompió el enlace de tierra entre América del Norte y Europa y, al final del periodo, se fraguó el que une América del Norte y América del Sur. Durante el cenozoico, las formas de vida de la tierra y del mar se hicieron más parecidas a las existentes en la actualidad. Se termina de formar la Patagonia y el levantamiento de la cordillera de los Andes. La hierba era más prominente, y esto provocó cambios en la dentición de los animales herbívoros. Al haber desaparecido la mayoría de los reptiles dominantes al final del cretácico, el cenozoico fue la edad de los mamíferos. De esta forma, en la época del eoceno se desarrollaron nuevos grupos de mamíferos, como ciertos animales pequeños parecidos a los caballos actuales, rinocerontes, tapires, rumiantes, ballenas y ancestros de los elefantes. En el oligoceno aparecieron miembros de las familias de los gatos y de los perros, así como algunas especies de monos. En el mioceno los marsupiales eran numerosos, y surgieron los antropoides (semejantes a los humanos). En el plioceno, los mamíferos con placenta alcanzaron su apogeo, en número y diversidad de especies, extendiéndose hasta el periodo cuaternario.

Periodo cuaternario (desde hace 1,64 millones de años hasta la actualidad)

Capas de hielo continentales intermitentes cubrieron gran parte del hemisferio norte. Los restos fósiles ponen de manifiesto que hubo muchos tipos de prehumanos primitivos en el centro y sur de África, en China y en Java, en el pleistoceno bajo y medio; pero los seres

humanos modernos (*Homo sapiens*) no surgieron hasta el final del pleistoceno. Más tarde, en este periodo, los humanos cruzaron al Nuevo Mundo a través del estrecho de Bering. Las capas de hielo retrocedieron al final y empezó la época reciente, el holoceno. Se inició el descenso y el retroceso continental desde el estrecho de Magallanes hasta las Antillas y se formaron ríos y lagunas.

Edad (Millones de Años)	Eón	Era	Período	Época
0.01-0	Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno
1.8-0.01				Pleistoceno
5.3-1.8			Terciario	Plioceno
23.7-5.3				Mioceno
36.6-23.7				Oligoceno
57.8-36.6				Eoceno
66.4-57.8				Paleoceno
144-66.4				Mesozoico
208-144		Jurásico		
245-208		Triásico		
286-245		Pérmico		
360-286		Paleozoico	Carbonífero (Mississípico y Pensilvánico)	
408-360			Devónico	
438-408			Silúrico	
505-438	Ordovícico			
570-505	Cámbrico			
2500-570	Proterozoico			
Más de 2500	Arqueozoico			

Ciclo Geológico

Aproximadamente 200 años atrás James Hutton propuso el ciclo geológico considerando las relaciones entre la superficie terrestre y el interior de la Tierra como un proceso cíclico. El esquema del ciclo geológico ilustra la interacción entre sedimentación, hundimiento, deformación, magmatismo, levantamiento y meteorización.

Los magmas, de que se derivan las rocas magmáticas - como las rocas plutónicas, volcánicas y rocas subvolcánicas - se forman en el manto superior y en la corteza terrestre profunda. Emplazando en secuencias de rocas de la corteza terrestre el magma enfría paulatinamente dando lugar a las rocas plutónicas. Cuando el magma sube hacia la superficie terrestre se enfría repentinamente resultando en rocas volcánicas.

Por levantamiento las rocas plutónicas también pueden llegar a la superficie terrestre.

En la superficie terrestre todas las rocas están expuestas a los procesos de meteorización y erosión. En consecuencia las rocas están desarmadas es decir trituradas en fragmentos de rocas y minerales y/o están disueltas por reactivos químicos como por soluciones acuosas de cierto pH (= potencial de hidrógeno), de cierto potencial redox (Eh), de cierta temperatura y de cierta presión. Las componentes disueltas como iones, moléculas y complejos químicos son transportadas en solución y se depositan en un lugar de condiciones ambientales, que favorecen su precipitación y que por consiguiente difieren de las condiciones causantes de su solución.

Las componentes disueltas pueden precipitarse formando minerales distintos con respecto a aquellos, de que se derivan. Por ejemplo la componente 'calcio' de una labradorita, que es una plagioclasa básica con un alto contenido en calcio, se disuelve y precipita en otro lugar formando calcita. Las componentes detríticas como los fragmentos de rocas y minerales pueden ser transportadas por agua, viento y hielo y depositados en otro lugar. Cuando se depositan las componentes detríticas y químicas primeramente forman sedimentos blandos como la arena, un lodo de minerales arcillosos o un lodo de caliza.

Por hundimiento, compactación y cementación los sedimentos se convierten en rocas sedimentarias sólidas. Los procesos responsables para la transformación de una roca sedimentaria blanda a una roca sedimentaria compacta son los procesos diagenéticos. Por tales procesos o es decir por diagénesis una arena se convierte en una arenisca por ejemplo.

Cuando el hundimiento continúa, las rocas se calientan y su temperatura sobrepasa la temperatura $T = 200^{\circ}\text{C}$, que es el límite superior de temperatura para los procesos sedimentarios. A temperaturas más altas los procesos, que actúan en una roca (sedimentaria, magmática o ya metamórfica) y la transforman, pertenecen al metamorfismo.

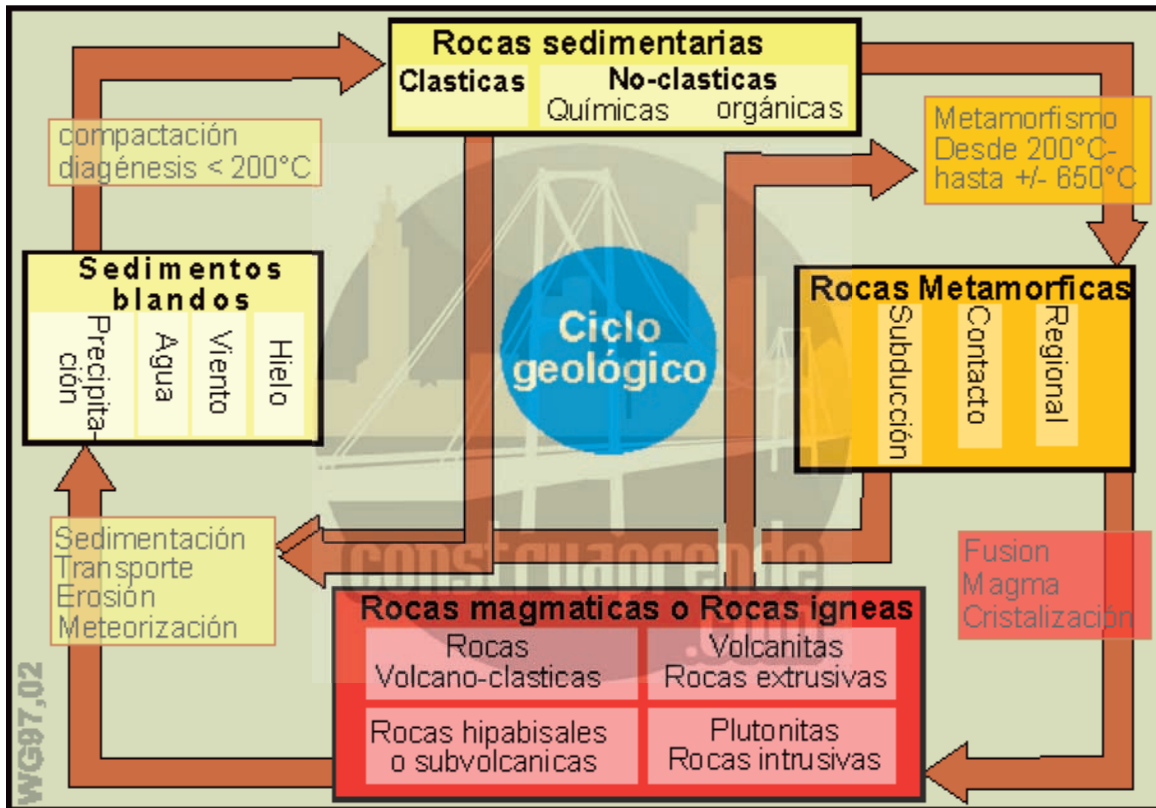
En el límite superior del metamorfismo las rocas metamórficas empiezan a fundirse. Este límite depende de las condiciones de temperatura y presión presentes y de la composición de la roca. Un granito se compone en parte de minerales con grupos de (OH-) como los anfíboles y las micas, que determinan una temperatura de fundición relativamente baja, a $T = 650^{\circ}\text{C}$ con $p = 4\text{kbar}$ las componentes empiezan a fundirse. Para un basalto compuesto de minerales como plagioclasa, olivino y piroxeno, que no llevan grupos de

(OH-) la temperatura de fundición inicial es mucho más alta ($T \geq 1000^{\circ}\text{C}$). La fundición de las rocas metamórficas las convierte en magma.

El ciclo geológico se refiere a la formación y al desplazamiento del material que constituye la superficie terrestre. El ciclo geológico comparado con cualquier otro ciclo tiene una enorme duración, el evento más sencillo se mide en millones de años.

Sobre el ciclo, lo que hay que recordar, se que es permanente, y por eso lleva el nombre de ciclo. Las rocas sedimentarias pueden volver a metamorfosearse o fundirse y volverse magma nuevamente, y de ahí formar rocas ígneas, y con los efectos de la meteorización e intemperismo, volver a sedimentarse y convertirse en rocas sedimentarias.

Algo como lo que ilustra el siguiente gráfico:



La importancia de conocer el ciclo geológico para nosotros los ingenieros civiles yace en que con este conocimiento, puede uno conocer las principales cualidades de los yacimientos que encontremos en la práctica. Conocer por qué se formaron, qué les hizo ser así. Además de saber qué esperar sobre un yacimiento en tal lugar, cuáles cualidades tienen tales rocas, y qué tipo de maquinaria se debe emplear para extraerlas. Del mismo modo, el ciclo geológico nos ayuda a entender el por qué de las rocas, y el futuro de las mismas.

Geosferas de la Tierra

El planeta está constituido por tres geosferas que poseen características particulares. Estas son la Litosfera, la Hidrosfera y la Atmósfera.

Litosfera

Se compone principalmente de rocas y es muy sólida. Posee varias capas:

Capa superficial: tiene un grosor que varía de 500 a 1000 metros. Formada fundamentalmente por rocas sedimentarias.

Capa intermedia: llamada también corteza continental, debido a que no existe debajo de los océanos sino debajo de los continentes. Tiene un espesor de 15 a 20 Km. En la profundidad se encuentran rocas magmáticas y en la parte más superficial las rocas metamórficas.

Capa basáltica inferior: es la corteza oceánica, y es la base de los océanos. Tiene un espesor de 10 a 20 Km.

La Litosfera es la capa más diversa y cambiante, ya que se influenciada de fuerzas exógenas como los movimientos orogénicos y epirogénicos; y endógenas como la meteorización y erosión.

La atmósfera

Es una mezcla de gases que rodea un objeto celeste (como la Tierra) cuando éste cuenta con un campo gravitatorio suficiente para impedir que escapen. La atmósfera terrestre está constituida principalmente por nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). El 1% restante lo forman el argón (0,9%), el dióxido de carbono (0,03%), distintas proporciones de vapor de agua, y trazas de hidrógeno, ozono, metano, monóxido de carbono, helio, neón, kriptón y xenón.

La actual mezcla de gases se ha desarrollado a lo largo de 4.500 millones de años. La atmósfera primigenia debió estar compuesta únicamente de emanaciones volcánicas. Los gases que emiten los volcanes actuales están formados por una mezcla de vapor de agua, dióxido de carbono, dióxido de azufre y nitrógeno, sin rastro apenas de oxígeno. Si ésta era la mezcla presente en la atmósfera primitiva, han tenido que desarrollarse una serie de procesos para dar lugar a la mezcla actual. Uno de ellos fue la condensación. Al enfriarse, la mayor parte del vapor de agua de origen volcánico se condensó, dando lugar a los antiguos océanos. También se produjeron reacciones químicas. Parte del dióxido de carbono debió reaccionar con las rocas de la corteza terrestre para formar carbonatos, algunos de los cuales se disolverían en los nuevos océanos. Más tarde, cuando evolucionó en ellos la vida primitiva capaz de realizar la fotosíntesis, los organismos marinos recién aparecidos empezaron a producir oxígeno. Se cree que casi todo el oxígeno que en la actualidad se encuentra libre en el aire procede de la combinación fotosintética de dióxido de carbono y agua. Hace unos 570 millones de años, el contenido en oxígeno de la atmósfera y los océanos aumentó lo bastante como para permitir la existencia de la vida marina y la evolución de animales terrestres capaces de respirar aire.

El contenido en vapor de agua del aire varía considerablemente, de 190 partes por millón (ppm) a -40 °C hasta 42.000 ppm a 30 °C. Otros elementos que en ocasiones constituyen

parte de la atmósfera en cantidades minúsculas son el amoníaco, el sulfuro de hidrógeno y óxidos, como los de azufre y nitrógeno cerca de los volcanes, arrastrados por la lluvia o la nieve.

La atmósfera se divide en varios niveles. En la capa inferior, la troposfera, la temperatura suele bajar 5,5 °C por cada 1.000 metros. Es la capa en la que se forman la mayor parte de las nubes. La troposfera se extiende hasta unos 16 km en las regiones tropicales (con una temperatura de -79 °C) y hasta unos 9,7 km en latitudes templadas (con una temperatura de unos -51 °C). A continuación está la estratosfera. En su parte inferior la temperatura es prácticamente constante, o bien aumenta ligeramente con la altitud, especialmente en las regiones tropicales. Dentro de la capa de ozono, aumenta más rápidamente, con lo que, en los límites superiores de la estratosfera, casi a 50 km sobre el nivel del mar, es casi igual a la de la superficie terrestre. El estrato llamado mesosfera, que va desde los 50 a los 80 km, se caracteriza por un marcado descenso de la temperatura al ir aumentando la altura.

Gracias a las investigaciones sobre la propagación y la reflexión de las ondas de radio, sabemos que a partir de los 80 km, la radiación ultravioleta, los rayos X y la lluvia de electrones procedente del Sol ionizan varias capas de la atmósfera, con lo que se convierten en conductoras de electricidad. Estas capas reflejan de vuelta a la Tierra ciertas frecuencias de ondas de radio. Debido a la concentración relativamente elevada de iones en la atmósfera por encima de los 80 km, esta capa, que se extiende hasta los 640 km, recibe el nombre de ionosfera. También se la conoce como termosfera, a causa de las altas temperaturas (en torno a los 400 km se alcanzan unos 1.200 °C). La región que hay más allá de la ionosfera recibe el nombre de exosfera y se extiende hasta los 9.600 km, lo que constituye el límite exterior de la atmósfera.

La densidad del aire seco al nivel del mar representa aproximadamente un 1/800 de la densidad del agua. A mayor altitud desciende con rapidez, siendo proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura. La presión se mide mediante un barómetro y su valor, expresado en torrs, está relacionado con la altura a la que la presión atmosférica mantiene una columna de mercurio; 1 torr equivale a 1 mm de mercurio. La presión atmosférica normal a nivel del mar es de 760 torrs, o sea, 760 mm de mercurio. En torno a los 5,6 km es de 380 torrs; la mitad de todo el aire presente en la atmósfera se encuentra por debajo de este nivel. La presión disminuye más o menos a la mitad por cada 5,6 km de ascensión. A una altitud de 80 km la presión es de 0,007 torr.

La troposfera y la mayor parte de la estratosfera pueden explorarse mediante globos sonda preparados para medir la presión y la temperatura del aire y equipados con radiotransmisores que envían la información a estaciones terrestres. Se ha explorado la atmósfera más allá de los 400 km de altitud con ayuda de satélites que transmiten a tierra las lecturas realizadas por los instrumentos meteorológicos. El estudio de la forma y el espectro de la aurora ofrece información hasta altitudes de 800 kilómetros.

La troposfera es la capa inferior de la atmósfera terrestre y escenario de todo los procesos meteorológicos. La troposfera se extiende hasta una altitud de unos 11 km sobre las zonas polares y hasta unos 16 km sobre las regiones ecuatoriales. La tropopausa es la frontera entre la troposfera y la estratosfera.

La troposfera contiene el 80% de toda la masa de gases de la atmósfera y el 99% de todo el vapor de agua. En general, la temperatura de la troposfera decrece con la altitud a razón de 5 y 6 °C/km. En la troposfera, los intercambios de calor se producen por turbulencia y por el viento, y los intercambios de agua por evaporación y precipitación. La intensidad de los vientos crece con la altura, y las nubes más altas alcanzan una altitud de 10 km.

La estratosfera es la capa superior de la atmósfera que empieza a una altitud entre los 12,9 y 19,3 km y que se extiende 50 km hacia arriba. En su parte inferior, la temperatura permanece casi invariable con la altitud, pero a medida que se asciende aumenta muy deprisa porque el ozono absorbe la luz solar. La estratosfera carece casi por completo de nubes u otras formaciones meteorológicas.

La mesosfera es la capa de la atmósfera terrestre situada entre 50 y 80 km por encima de la superficie. Está por encima de la estratosfera y por debajo de la ionosfera (esta capa también se conoce como termosfera). La estratosfera y la mesosfera reciben a veces el nombre de atmósfera media. La interfase entre estratosfera y mesosfera se llama estratopausa, y mesopausa la que separa la mesosfera de la termosfera.

Pese a que la mesosfera contiene sólo cerca del 0,1% de la masa total de la atmósfera por debajo de 80 km, es importante por la ionización y las reacciones químicas que ocurren en ella. La atmósfera media está formada por los mismos componentes que la troposfera (sobre todo nitrógeno y oxígeno), pero también contiene algunos gases menores muy importantes, en especial ozono, que, pese a que alcanza su máxima concentración en la estratosfera, a una altitud inferior, provoca el máximo calentamiento solar cerca de la estratopausa. La mesosfera es distinta de la estratosfera, sobre todo porque el calentamiento del ozono disminuye con la altura desde su valor máximo cerca de la estratopausa y, por tanto, también disminuye la temperatura mesosférica. Esta reducción rápida de la temperatura con la altitud es la principal característica diferencial de la mesosfera.

La disminución de la temperatura combinada con la baja densidad del aire en la mesosfera (aproximadamente de 1 gm⁻³ en la estratopausa, mil veces menos que a nivel del mar y 100 veces menos que en la mesopausa) determinan la formación de turbulencias y ondas atmosféricas que actúan a escalas espaciales y temporales muy grandes. Estos movimientos son importantes, no sólo por la mezcla de compuestos químicos que causan, sino también porque la mesosfera es la región de la atmósfera donde las naves espaciales que vuelven a la Tierra empiezan a notar la estructura de los vientos de fondo, y no sólo el freno aerodinámico. Algunos de los vientos a pequeña escala inducen un flujo estacional medio que va hacia arriba desde la parte inferior de la mesosfera en el verano polar a través del ecuador y desciende hacia la estratosfera en el invierno polar.

En verano, la rapidez con que desciende la temperatura a medida que el calentamiento del ozono se reduce con la altitud se combina con el mayor enfriamiento debido al movimiento de elevación medio de fondo. Esto hace que en el verano local la mesopausa polar sea el lugar más frío de la Tierra; la temperatura normal es de sólo -110 °C, y se han registrado valores inferiores a -140 °C. A veces estas bajas temperaturas parecen asociarse con la formación de delgados estratos nubosos, que se ven mejor durante el

crepúsculo (cuando la mesosfera está aún iluminada por el Sol, mientras que la superficie está ya en la oscuridad). Estas nubes se llaman noctilúcidas.

La mesosfera contiene la parte de la ionosfera llamada región D, donde la ionización de oxígeno molecular (O₂) y atómico (O) libera electrones. La ionización es sobre todo una respuesta a la radiación solar, y desaparece durante la noche; esto explica por qué la recepción de radio mejora cuando se pone el Sol.

Los componentes menores de la atmósfera media, incluidos los compuestos químicos naturales y antropogénicos (es decir, debidos a la actividad humana) se transportan desde las regiones de penetración en esta región atmosférica (por lo general, la estratosfera ecuatorial inferior) hasta la mesosfera, desde donde pueden desplazarse rápidamente (en menos de seis meses) hasta cualquier latitud. Debido a los rápidos movimientos y a las bajas densidades naturales de la mesosfera, éste es el primer lugar en que se dejan sentir los efectos de cantidades pequeñas de algunos compuestos antropogénicos.

Ionosfera

Nombres dados a una o varias capas de aire ionizado en la atmósfera que se extienden desde una altura de casi 80 km sobre la superficie terrestre hasta 640 km o más. A estas distancias, el aire está enrarecido en extremo, presenta una densidad cercana a la del gas de un tubo de vacío. Cuando las partículas de la atmósfera experimentan una ionización por radiación ultravioleta, tienden a permanecer ionizadas debido a las mínimas colisiones que se producen entre los iones.

La ionosfera ejerce una gran influencia sobre la propagación de las señales de radio. Una parte de la energía radiada por un transmisor hacia la ionosfera es absorbida por el aire ionizado y otra es refractada, o desviada, de nuevo hacia la superficie de la Tierra. Este último efecto permite la recepción de señales de radio a distancias mucho mayores de lo que sería posible con ondas que viajan por la superficie terrestre.

Sin embargo, estas ondas refractadas alcanzan el suelo sólo a determinadas distancias definidas del transmisor; la distancia depende del ángulo de refracción y de la altura. Así, una señal de radio puede no ser detectable a 100 km de la fuente, pero sí a 500 km. Este fenómeno se conoce como skip. En otras zonas, las señales terrestres y las refractadas por la ionosfera pueden alcanzar el receptor e interferir una con otra produciendo el fenómeno llamado fading.

La importancia de la refracción en la ionosfera decrece con el incremento de la frecuencia de las ondas; para frecuencias muy altas es casi inexistente. Por lo tanto, la transmisión a larga distancia de ondas de radio de alta frecuencia se limita a la línea del horizonte. Este es el caso de la televisión y de la radio de frecuencia modulada (FM), donde las transmisiones de larga distancia sólo pueden producirse en línea recta, como entre la tierra y un satélite de telecomunicaciones; la señal se puede enviar entonces desde el satélite hasta algún punto lejano en tierra.

La ionosfera suele dividirse en dos capas principales: la inferior, designada como capa E (a veces llamada capa de Heaviside o de Kennelly-Heaviside) que se sitúa entre 80 y 112 km sobre la superficie terrestre y que refleja las ondas de radio de baja frecuencia; y la superior, F o de Appleton, que refleja ondas de radio con frecuencias mayores. Esta última se divide además en una capa F1, que empieza a unos 180 km sobre la tierra; y la

capa F2, que surge a unos 300 km de la superficie. La capa F se eleva durante la noche, por tanto cambian sus características de reflexión.

La Biosfera es la parte de la corteza terrestre en la cual se desarrolla o es posible la vida, es decir, desde determinada altura de la atmósfera hasta el fondo de los océanos, por tanto su importancia es fundamental, porque es en ella donde todos los seres vivos tienen la capacidad de sobrevivir.

La biosfera comprende (aproximadamente) la hidrosfera, la zona más superficial de la litosfera y la parte inferior de la troposfera, es decir, abarca desde unos 50 km. de altitud en la atmósfera, hasta los fondos de los océanos más profundos. En la biosfera la vida depende de la circulación de nutrientes esenciales, calor y energía solar.

Hidrosfera

Está formada por todas las masas de agua que existen en el planeta, tanto océanos, mares, lagos, ríos, glaciares, aguas subterráneas, aguas marinas y aguas continentales.

Las aguas marinas: cubre el 70% de la superficie terrestre y el 97% de agua total del planeta.

La salinidad del mar promedio es de 35 a 37 por mil dependiendo de la latitud. La temperatura del mar depende de la latitud y la profundidad, ya que los rayos solares sólo calientan los primeros 100 metros.

El relieve está formado por la plataforma continental que bordea los continentes y llega a los 200 metros. Luego está el talud continental que tiene 2000 metros de profundidad y después las depresiones submarinas con 2000 a 4000 metros. Dentro del mar también existen cadenas montañosas que se llaman dorsales. Algunos picos de relieve forman islas.

Aguas continentales: tiene su origen en la evaporación de los océanos. Esta evaporación va acompañada de aire caliente y llega a condensarse formando las nubes. Al aumentar el tamaño de las gotas llueve y nieva. Esta lluvia y nieve cae sobre el continente y se dispersa por varios caminos como la absorción de las plantas, llega al mar, se queda en las rocas o se evapora.

Agua atmosférica: el agua se dispersa en forma desequilibrada, donde la latitud es un factor importante, por ejemplo en las regiones tropicales abundan las precipitaciones y en el desierto prácticamente no hay precipitaciones.

Las geosferas son las capas con particularidades distintas que componen nuestro globo terráqueo. Nos sirven como guía para la hora en que sea nuestro turno para hacer proyectos en alguna de éstas. Conocerlas, es conocer qué las conforman y cuáles comportamientos esperar de ellas.

Conclusión

La conclusión de este trabajo es algo confusa cuando la pienso por primera vez. La verdad es que en las páginas anteriores he resumido una cantidad de información bastante importante para mi desarrollo como profesional en el futuro. Me he dado cuenta de que la geología es una rama importantísima, y que tiene un eje transversal que atraviesa todas las demás ramas del conocimiento.

¿Qué es la Tierra? ¿Por qué vivimos en ella y la seguimos dando por sentada? ¿Qué nos hace pensar que no cambia, evoluciona, y reacciona? He formado una nueva idea sobre lo que representa vivir en éste planeta. Ahora cada vez que estoy en presencia de una formación rocosa, pienso en sus características, y en los millones de años que han pasado para que esté allí. Antes pensaba que era algo seguro y que esa roca permanecería en su lugar indefinidamente. Error que ahora comprendo, al asimilar el constante cambio en el que nos encontramos todos.

La Tierra, vuelvo a afirmar, es más bien un ser vivo, y merece que creemos conciencia de esto. Merece que la estudiemos, y aprendamos sobre sus procesos para así, convivir con ella, tal y como se convive con cualquier otro ser.

De aquí en adelante, todo lo que respecta al tema me parecerá distinto, en particular, los procesos que he aprendido, me seguirán sorprendiendo siempre.



Bibliografía

1. “Survey 1”
http://selfrans.narod.ru/v3_1/survey1/survey25/survey25.html
2. “La Composición y Edad de la Tierra”
http://lectura.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/066/htm/sec_7.htm
3. “La Tierra”
<http://www.bibliotecavirtual.com.do/Geografia/LaTierra.htm>
4. “Origen”
<http://centros1.pntic.mec.es/cp.toros.de.guisando/paraoficial/medio/tierra/origen.htm>
5. “Introducción:”
<http://www.lafacu.com/apuntes/geologia/intro/default.htm>
6. “Geología” Microsoft Encarta 2000.
- 7.

