



Amonite fosilizada. Montes.upm.es

# MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

## Cap 10

### TIEMPO GEOLÓGICO

GONZALO DUQUE ESCOBAR

La edad del Universo se estima en 15.000 millones de años (Ma) y la de la Tierra en sólo unos 4.470 Ma. Varios isótopos tienen períodos de desintegración comparables con la edad del Universo. Por la concentración relativa de los mismos, así como de los productos de su desintegración, al investigar las rocas terrestres y lunares y sustancias meteóricas del sistema solar, se ha concluido sobre la edad del planeta. La escala de tiempo geológico sirve para ordenar y mostrar los acontecimientos importantes, en la evolución del Planeta.

Los métodos de medida de tiempo pueden clasificarse en dos grandes categorías: la que estudia el movimiento continuo y conduce a la noción de escala de tiempo, en la cual asociamos el concepto de fecha para la graduación de la escala, y la que se basa en la noción intuitiva de los intervalos de tiempo, de donde surge la necesidad de buscar una unidad de tiempo adecuada para medir el intervalo, y por lo tanto el instrumento que lo mide. En nuestro caso el primero será el millón de años y los segundos los relojes atómicos naturales aportados por elementos radioactivos.

El tiempo geológico puede ser absoluto o relativo; el primero se define por la desintegración de elementos radiactivos, principalmente en rocas ígneas y a veces en sedimentarias o en fósiles, en tanto que el segundo se determina por la superposición relativa de las rocas sedimentarias o por razonamientos paleontológicos.

#### 10.1 TIEMPO ABSOLUTO

El número de protones del átomo, el número atómico, determina las propiedades químicas del elemento. Los átomos varían desde el más simple, el hidrógeno con un sólo protón, hasta el nobelio, que tiene 102. De los 102 elementos de la tabla periódica, algunos emiten espontáneamente rayos radiactivos, los cuales son principalmente de tres clases: alfa, beta y gamma. Los rayos alfa son partículas equivalentes a los núcleos de

helio, los rayos beta son haces de electrones disparados a gran velocidad y los rayos gamma son haces de ondas electromagnéticas con longitudes de onda del orden de  $10^{-8}$  a  $10^{-9}$  centímetros.

Los núcleos de los átomos de los elementos radiactivos son inestables y se descomponen espontáneamente emitiendo partículas alfa y beta y cambiando la estructura nuclear del elemento para transformarse en otro elemento diferente. Por ejemplo el  $^{238}\text{U}$  emite rayos alfa y se transforma en el elemento  $^{234}\text{Th}$ : el uranio es el elemento progenitor o parental y el que resulta es el descendiente.

Tabla 15. Serie del Uranio 238

Isótopo	Partícula emitida	Características del elemento
$^{238}\text{U}$ 92	$\alpha$	Parental
$^{234}\text{Th}$ 90	$\beta$	Descendiente
$^{234}\text{Pa}$ 91	$\beta$	Descendiente
$^{234}\text{U}$ 92	$\alpha$	Descendiente
$^{230}\text{Th}$ 90	$\alpha$	Descendiente
$^{226}\text{Ra}$ 88	$\alpha$	Descendiente
$^{222}\text{Rn}$ 86	$\alpha$	Descendiente
$^{219}\text{Po}$ 84	$\alpha$	Descendiente
$^{214}\text{Pb}$ 82	$\beta$	Descendiente
$^{214}\text{Bi}$ 83	$\alpha = 0,04\%$ ; $\beta = 94,96\%$	Descendiente
$^{214}\text{Po}$ 84	$\alpha$	Descendiente
$^{210}\text{Th}$ 81	$\beta$	Descendiente
$^{210}\text{Pb}$ 82	$\beta$	Descendiente
$^{210}\text{Bi}$ 83	$\beta$	Descendiente
$^{210}\text{Po}$ 84	$\alpha$	Descendiente
$^{206}\text{Pb}$ 82	estable	Descendiente

Wagoner & Goldsmith. Horizontes Cósmicos. Labor. 1985.

Pero el producto final de un elemento radiactivo ha de ser un descendiente estéril que no emita más rayos, y en el caso del  $^{238}\text{U}$ , el último descendiente es el  $^{206}\text{Pb}$ . La emisión radiactiva va siempre acompañada de un desprendimiento de calor: la cantidad de calor liberado en la desintegración del  $^{238}\text{U}$  en  $^{206}\text{Pb}$ , es de  $1,85 \times 10^{12}$  calorías por átomo. Si se espera para que se desintegre un gramo de uranio, en plomo el calor liberado equivale al que se obtiene de 800 kilogramos de carbón.

- **Vida media de un elemento.** La velocidad de desintegración espontánea varía enormemente de un elemento a otro y se expresa por la magnitud del **período de semidesintegración o vida media del elemento**, que es el tiempo necesario para que se desintegre la mitad de los átomos existentes al principio. Por ejemplo, si un elemento tiene  $t$  años de vida media, de 8 gramos iniciales, al cabo de  $t$  años se transformarán 4 gramos en el otro elemento y los 4 restantes tardarán  $t$  años para generar 2 gramos más del nuevo elemento. El radio, uno de los descendientes del  $^{238}\text{U}$ , tiene un período  $t$  de 1622 años. Si se parte de 8 gramos, en 1622 años habrán quedado 4 gramos; al cabo de otros 1622 años quedarán sólo 2 gramos, y así sucesivamente. Hasta donde los científicos han podido comprobar, la velocidad de desintegración no se altera por la temperatura, la presión o el

estado de combinación química en que se encuentre el elemento, y el período de un elemento radiactivo se considera como una constante y es una propiedad fundamental del elemento.

**10.1.1 Métodos de datación.** Algunos elementos radiactivos como el  $^{238}\text{U}$  tienen períodos de semidesintegración (vida media) de miles de millones de años, y, por contraste, otros elementos tienen períodos extraordinariamente cortos: el décimo descendiente del  $^{238}\text{U}$ , el  $^{214}\text{Po}$ , tiene un período de aproximadamente una millonésima de segundo. En consecuencia, los elementos radiactivos de vida larga son la base de los relojes geológicos.

Las dataciones radioactivas se aplican según los siguientes procesos, para los cuales se señala la vida media:

- |    |                |   |                         |
|----|----------------|---|-------------------------|
| 1) | 87 Rb, 87 Sr   | → | 47.000 millones de años |
| 2) | 232 Th, 208 Pb | → | 13.900 millones de años |
| 3) | 238 U, 206 Pb  | → | 4.560 millones de años  |
| 4) | 40 K, 40 Ar    | → | 1.300 millones de años  |
| 5) | 235 U, 207 Pb  | → | 713 millones de años    |
| 6) | 14 C, 14 N     | → | 5.570 años solamente    |

Los métodos de datación radiométrica más conocidos son el Uranio/Plomo y el Carbono 14. Pero los científicos han llegado a la conclusión que las principales fuentes radiactivas de calor de la tierra son el uranio, el torio y un isótopo radiactivo del potasio cuya masa atómica es 40, en vez de 39 que es la del elemento estable

**10.1.2 El calor radiactivo de la tierra.** Los elementos radiactivos son mucho más abundantes en las rocas graníticas, menos abundantes en las rocas basálticas y mucho menos en la peridotita. Esas tres rocas son los mejores candidatos para constituir las capas superior e inferior de la corteza y el manto respectivamente. Así se puede deducir que los elementos radiactivos que suministran calor están fuertemente concentrados cerca a la superficie, mientras la cantidad de elementos radiactivos en el núcleo (según modelos) se supone comparable a la cuantía medida en el hierro meteórico. Los valores son los siguientes.

En la tabla 16 la primera columna es para el tipo de roca; las tres siguientes dan la cantidad de gramos/tonelada en la roca; las tres siguientes dan la cantidad de calor en caloría/gramo x segundo x  $10^{-6}$ , y la última, da la cantidad total de calor en calorías/cm<sup>3</sup> x seg x 10<sup>5</sup>.

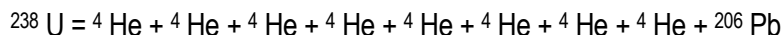
Tabla 16. Contenido radiactivo y calor liberado.

Roca\elemento	U	Th	K	U	Th	K	Total
Roca granítica	4	13	4.1	940	820	300	1.74
Roca basáltica	0.6	2	1.5	140	130	110	0.35
Roca peridotita	0.02	0.06	0.02	4.7	3.7	1.5	0.01
Meteorito condrítico	0.011	?	0.093	3	?	7	0.0095
Meteorito ferrífero	$1 \times 10^{-4}$	?	?	$2 \times 10^{-2}$	?	?	$6 \times 10^{-5}$
	a			a			a
	$1 \times 10^{-6}$			$2 \times 10^{-4}$			$6 \times 10^{-7}$

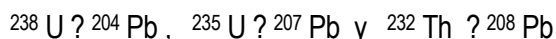
Takeuchi-Uyeda-Kanamori. ¿Qué es la Tierra?, Orbis, 1986.

**10.1.3 El uranio.** El  $^{238}\text{U}_{92}$ , se interpreta como el elemento 92 en el cual el número de protones y neutrones es 238.

Como el Uranio es inestable, generará 8 átomos de  $^4\text{He}_2$  y uno de  $^{206}\text{Pb}_{82}$ , así:



Utilizando como reloj la desintegración de elementos radiactivos de largo período se puede calcular la edad de la Tierra: se han encontrado rocas de hasta 3000 millones de años. Para la determinación de la edad exacta de la Tierra, se utiliza la composición isotópica del plomo y el método seguido es en líneas generales: los isótopos del uranio ( $^{238}\text{U}$  y  $^{235}\text{U}$ ) y el torio ( $^{232}\text{Th}$ ) se desintegran y generan diferentes isótopos estables de plomo, así:



Sin embargo, el plomo tiene otro isótopo,  $^{204}\text{Pb}$ , no radiogénico, que no es resultado de la radiactividad. Cuando la Tierra se originó, el plomo existente debió contener los cuatro isótopos de Pb (204, 206, 207 y 208) en una proporción que se fue modificando al pasar el tiempo, pues las cuantías de uno de los isótopos permanecían constantes mientras la de los otros tres crecía a causa de la desintegración del uranio y el torio.

**10.1.4 La edad de la tierra.** Para determinar la composición isotópica del plomo en determinado período de la historia de la Tierra, debe hallarse la composición isotópica del plomo en minerales como la galena, que se formaron en aquel período. El razonamiento es muy simple: cuando el plomo se combina para formar un mineral, es insignificante la probabilidad de que se añadan al mismo, torio y uranio. Por tanto se puede admitir que un

mineral de plomo que se formó, hace 500 millones de años, por ejemplo, conserva hoy el fósil de la composición isotópica del plomo que existía ya en aquel tiempo.

Comparando las composiciones isotópicas de minerales de plomo de distintas épocas, se observa que las cantidades de los isótopos de plomo 206, 207 y 208 son tanto mayores cuanto más recientes son esas épocas. Si se determina la rapidez de ese aumento, en principio, será posible calcular matemáticamente la edad de la Tierra. En la práctica el cálculo está sujeto a error puesto que en realidad se desconoce la proporción en que se encontraban estos isótopos en el momento del nacimiento de la Tierra. No obstante se ha adoptado la hipótesis de que la sustancia primitiva de nuestro globo es la misma de los actuales meteoritos, entre los cuales está la troilita que es un siderito con plomo y cantidades tan minúsculas de uranio y plomo, que el plomo, debido a su desintegración durante la historia del meteorito, es prácticamente despreciable. De enorme importancia es el hecho de que la edad de los litos o meteoritos pétreos, determinada independientemente, diera también un valor próximo a los 4500 millones de años, edad calculada de la Tierra.

**-Los Muiscas** explicaban el origen del mundo y del hombre valiéndose de tres mitos diferentes y complementarios, que corresponden a tres etapas culturales diferentes: El primero es el de Chiminigagua, por ser más antiguo y aludir a la creación del Universo; según Fray Pedro Simón, cuando todo era oscuro y nada existía, la luz estaba metida en una cosa grande, llamada Chiminigagua que explota, para que salga Chiminigagua mostrando la luz que tenía y de ella criando cosas; las primeras, unas aves negras grandes que con su aliento resplandeciente iluminan y aclaran todo lo demás ya creado ( este mito es un equivalente al Big-Bang). Los dos siguientes son el de Chibchacum y el de Bochica, que explican el origen lacustre de la sabana de Bogotá y el del salto del Tequendama, cuando dice que estando la Tierra sostenida por cuatro guayacanes, resulta inundada por voluntad de la primera divinidad, enojada con el pueblo. Pero el buen Bochica las dreña creando el salto del río Bogotá (la edad actual de estas, es unos 16.000 años).

**10.1.5 El carbono 14.** El carbono 14 con una vida media aproximada de 5600 años es útil para datar muestras, orgánicas con una antigüedad inferior a los 50 mil años. Los rayos cósmicos (neutrones acelerados) bombardean el nitrógeno normal de la atmósfera,  $^{14}\text{N}_7$ , desequilibrándolo por la vía de los protones, para obtener el  $^{14}\text{C}_6$ , isótopo del  $^{12}\text{C}_6$ , o carbono normal. Luego se forma el bióxido de carbono 14, especie cuyo nivel existente en la biosfera ha sido relativamente constante en los últimos milenios.

Los seres vivos, (plantas y animales) absorben ese bióxido, pero al morir, empieza a retrogradar el C 14 a N 14 con la vida media anunciada. En la muestra que se desea datar se compara el nivel que aún queda de C 14 con el que ha existido y existe en la atmósfera, esa diferencia da la edad de la muestra establecida en términos de vida media del carbono 14.

Para edades intermedias para las cuales los procedimientos anteriores no son suficientes se utilizan otros procesos como el K-Ar con una vida media de 1200 millones de años. Este método es útil para muestras con antigüedades entre 3400 y 30 mil años.

Para períodos recientes, como el cuaternario, se utilizan algunos métodos típicos de datación relativa como el estudio de sedimentos (varvas) en lagos glaciares o del polen de las flores, en materiales cuaternarios.

Cuadro 14. Edades radiométricas en el departamento de Caldas

ROCA	LOCALIDAD	METODO MATERIAL	UNIDAD LITOLÓGICA	EDAD (Ma.)
Andesita	Cerro el Morro, Samaná	K/Ar Anfíbol	Pórfido del Morro	3,5±0,2
Andesita	Puente Linda	K/Ar Anfíbol	Pórfido Puente Linda	3,6±0,2
Pórfido dacítico	Quebrada Chaburquí	K/Ar Anfíbol	Stock Marmato	6,3±0,7
Pórfido Andesítico	La Felisa	K/Ar Biotita	Stock La Felisa	6,9±0,2
Pórfido Andesítico	La Felisa	K/Ar Anfíbol	Stock La Felisa	7,1±0,2
Granodiorita	Carretera Manizales-Fresno	Huellas de fisión Apatito	Stock de Manizales	10,5±1,0
Tonalita	Florencia	K/Ar Biotita	Stock Florencia	54,9±1,9
Esquisto biotítico	Este del Dpto. de Caldas	K/Ar Biotita	Complejo Cajamarca	67,3±2,3
Cuarcita	Este del Dpto. de Caldas	K/Ar Biotita	Complejo Cajamarca	71,9±2,5
Diorita	Samaná	K/Ar Anfíbol	Stock Samaná	75,1±4,9
Cuarcita	Caldas	K/Ar Biotita	Complejo Cajamarca	76,0±2,6
Gneis	Este de Norcasia	K/Ar Biotita	Intrusivo gnésico de Norcasia	80,9±2,8
Diorita	La Pintada-Arma	K/Ar Anfíbol	Stock Cambumbia	112,0±5,0
Diorita	La Pintada-Arma	K/Ar Roca total	Stock Cambumbia	113,0±3,0
Gneis	Río Manso	K/Ar Biotita	Intrusivo gnésico de Norcasia	205,0±7,0

Tomado del Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Caldas. Ingeominas. Santafé de Bogotá, 1993.

## 10.2 TIEMPO RELATIVO

Se determina principalmente la posición relativa de las capas sedimentarias y los fósiles contenidos (paleontología).

La correlación es el método que liga la secuencia de un lugar con otro, así:

- **Estratigrafía.** Se establece en las rocas sedimentarias el orden de los estratos y la correspondencia y carácter litológico y posición litoestratigráfica.
- **Correlación bioestratigráfica o por fósiles.** Los fósiles resultan contemporáneos a los estratos que los contienen. Ello supone el estudio de la evolución de los seres vivos.
- **Por características físicas.** Las que se observan gracias a pozos exploratorios o a muestras de perforaciones, en los materiales rocosos.

Aparte de estos métodos existen otros que permiten correlacionar las rocas: tectónicos, paleomagnéticos, paleoclimáticos, volcánicos y arqueológicos.

Los **métodos tectónicos** suponen la utilización de eventos importantes tales como los períodos de elevación e una montaña; estos métodos están repletos de dificultades; no existe una evidencia consistente que demuestre que esos procesos estuvieran sincronizados en toda la superficie de la tierra.

Los **métodos paleomagnéticos**, basados en las inversiones periódicas del campo magnético de la Tierra, registradas en las rocas de los fondos oceánicos, han proporcionado una herramienta de gran utilidad para datar la última parte del registro estratigráfico y desenmarañar la historia de los movimientos relativos de los continentes.

Los **métodos paleoclimáticos** se soportan en los cambios marcados en el clima, que acompañados frecuentemente por variaciones de altitud y latitud, aportan recursos de correlación; estos métodos han sido muy utilizados en el cuaternario.

Los **métodos volcánicos** suponen acontecimientos por lo general repentinos de corta duración y amplios efectos: lavas y cenizas ocupan una sucesión regular de estratos en la superficie terrestre o en los fondos marinos, que pueden servir como horizonte guía.

**La Arqueología** puede reconocer pisos donde se han establecido culturas susceptibles de ser datadas; los depósitos que los cubren ponen en evidencia eventos posteriores y fechables. Este método resulta de particular interés para América, donde la historia se extiende a sólo 500 años, pero se tiene conocimiento del desarrollo de las culturas precolombinas a lo largo del tiempo, con lo cual las fechas pueden ser estimadas por las características de las cerámicas y demás utensilios.

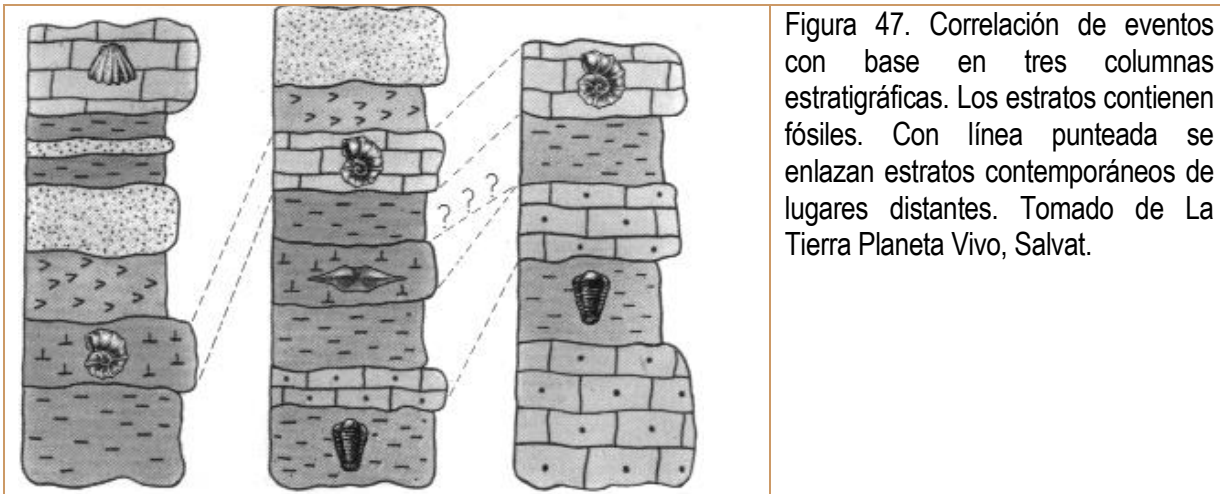


Figura 47. Correlación de eventos con base en tres columnas estratigráficas. Los estratos contienen fósiles. Con línea punteada se enlazan estratos contemporáneos de lugares distantes. Tomado de La Tierra Planeta Vivo, Salvat.

Los **métodos tectónicos** suponen la utilización de eventos importantes tales como los períodos de elevación e una montaña; estos métodos están repletos de dificultades; no existe una evidencia consistente que demuestre que esos procesos estuvieran sincronizados en toda la superficie de la tierra.

Para ilustrar la correlación, tan útil para establecer el tiempo relativo y la secuencia de los eventos entre zonas más o menos alejadas, se utilizan las columnas estratigráficas que contienen las litologías de sus zonas respectivas. Adicionalmente con los fósiles presentes en dichas capas, se puede hacer una correlación temporal entre litologías distintas. Ver figura 47.

**10.2.1 Principios de estratigrafía.** La estratigrafía es esencialmente el estudio de la historia de la Tierra tal y como ha quedado registrada hasta hoy en las rocas estratificadas. Incluye esta historia grandes episodios de construcción de montañas, procesos magmáticos y metamorfismo de rocas. En sus albores la estratigrafía fue un escenario de confrontaciones entre neptunistas y plutonistas, y también entre catastrofistas y uniformistas, en el cual irrumpe William Smith, el padre de la estratigrafía.



Los **neptunistas** sostenían que las rocas habían sido formadas como precipitaciones químicas en agua y los **plutonistas** discutían su origen a partir de un estado de fusión. De otro lado los **catastrofistas** propusieron como explicación de la mayoría de los fenómenos geológicos, especialmente el de los fósiles contenidos, la gran catástrofe del Diluvio Universal, y otras más, para explicar la larga sucesión de flora y fauna en las rocas estratificadas; mientras los **uniformistas**, con la premisa "el presente es la clave del pasado", sostenían que todo lo sucedido en el entorno geológico puede ser explicado por los mismos procesos de erosión, transporte y deposición, que se ven en marcha hoy en día; además la actividad volcánica para explicar las rocas ígneas.

A finales del siglo XVIII William Smith, observando las minas de carbón y rutas de los canales, descubre **dos principios simples de la estratigrafía**, los dos únicos que esta disciplina aún posee: la **ley de la superposición** y el **principio de correlación**.

**Ley de la superposición.** Según ella, en circunstancias normales, los depósitos más jóvenes descansarán sobre los más antiguos y que la sucesión seguirá lecho sobre lecho en orden cronológico. Esto puede ser tan obvio que no necesite aclaración; sin embargo, el principio reconocido en el siglo XVII por Steno había sido olvidado.

Desde luego no es siempre tan sencillo como parece, pues los movimientos laterales de la corteza inclinan y aún, dislocan los estratos, colocando los más antiguos sobre los más recientes.

**Principio de correlación.** El segundo gran principio sugiere qué rocas de diferentes lugares se han formado al mismo tiempo, si contienen los mismos tipos de fósiles: de esta forma pueden correlacionarse rocas sin frontera física común.

Por supuesto que al avanzar en la tarea de revelar la historia geológica de un territorio, los registros pueden estar lejos de ser completos, surgiendo lo que se denomina una "discordancia," como un lapsus en el registro de los hechos.

Dado que las rocas pueden aparecer en un lugar y estar ausentes en otro, también pueden cambiar de carácter con relación a su situación en uno u otro lugar. La suma total de las características de una roca, denominada facies, nos lleva incluso tan lejos como a la interpretación del ambiente real que la roca representa.

En una **primera aproximación** se dice que un conjunto de estratos tiene una facies arenosa, otro de aproximadamente la misma edad una facies calcárea, y con mayor detalle, se puede hablar de una facies marina somera o de una facies de dunas arenosas.

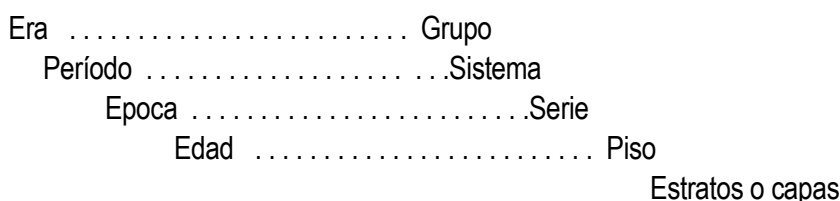
La **siguiente etapa** para resolver la estratigrafía de un área consiste en la interpretación de los sucesivos ambientes registrados en los sedimentos, con lo cual se pueden construir los mapas paleogeográficos de una región en particular y en un momento específico del pasado. La variación lateral de las facies en los estratos dificulta la correlación, pues no son sólo las rocas las que varían sino también los fósiles contenidos.

### 10.3 LA COLUMNA GEOLOGICA

En la cronología clásica, las eras, de la más antigua a la más reciente, se suceden así: a la era arcaica, la que se entendió como era azoica, le suceden las eras donde evoluciona la vida, y así viene la primaria; luego la secundaria, la terciaria y la cuaternaria, llegando esta última hasta el tiempo actual.

Esa cronología ha sido sustituida por la cronología moderna del cuadro 15, en el que se incluyen los eones, y terciario y cuaternario forman una sola era. A cada unidad de la escala de tiempo geológico corresponde otra en el haz de la serie de materiales de la corteza que la integran; esta correspondencia es la siguiente:

Eones



Cuadro 15. Escala de tiempo geológico

ERAS	PERIODOS	EPOCAS	LA VIDA	E
Cenozoica. Dura 70 millones de años (inicia hace 70 Ma.)	Cuaternario	Holoceno Pleistoceno	Hombre actual Hielo	1
	Terciario	Plioceno Mioceno Oligoceno Eoceno Paleoceno	Predomino flores Desarrollo mono Pastos y praderas Caballo primitivo Inician mamíferos	1
Mesozoica 150 Ma. (Hace 220 Ma.)	Cretácico Jurásico Triásico	Extinción dinosaurios Aparecen las aves Aparecen dinosaurios		1
Paleozoica dura 330 Ma.  Inicia hace 550 M a.	Pérmico Pennsylvánico Mississípico Devónico Silúrico Ordovícico	Reptiles Carbonífero superior Carbonífero inferior Desarrollo de fauna de peces Plantas y animales terrestres Primeros vertebrados (peces)		1
	Cámbrico	Abundancia de fósiles invertebrados		
Precámbrico <3.500 M a.	Algónquico	Plantas e invertebrados marinos		2
	Arcaico	Gran período azoico		3

EONES 1 = fanerozoico 2 = proterozoico 3 = criptozoico

Adaptado de Casquet et al. La Tierra, planeta vivo; Salvat, 1985.

**10.3.1 Precámbrico.** El **arcaico** o período inferior del Precámbrico es de amplia duración (2000 millones de años) desde que se originó la corteza hasta hace unos 2500 millones de años.

Los materiales del período afloran en Finlandia, Canadá y el Cañón del Colorado, donde las rocas del sistema son fundamentalmente gneis, esquistos, granitos y pórfidos. Formadas ya las primeras cuencas marinas, y constituidos los primeros núcleos emergidos con carácter de archipiélagos, se producen los primeros geosinclinales y numerosas orogenias y ciclos volcánicos, para que se formen las antiguas placas tectónicas. A finales del arcaico se difunden por los mares los primeros organismos unicelulares, vegetales y animales.

- El **algónquico** es el período superior del Precámbrico formado por el lapso comprendido desde hace 2500 hasta 570 millones de años. Los materiales del algónquico (esquistos, cuarcita, areniscas, tillitas, basaltos y pórfidos) aparecen discordantes sobre los del arcaico. Se inicia con la formación de territorios permanentemente libres de agua sobre los que circulan ríos y aparecen en el mar organismos pluricelulares (estromatolitos), cuando la temperatura media era aún bastante elevada, pues sólo a finales del período cae por debajo de 100°C para dar paso a una glaciación.

**10.3.2 Paleozoico.** Durante el **cámbrico**, período que representa la base del Paleozoico, y que dura unos 70 millones de años, permanecieron emergidas las tierras plegadas por la orogenia Herciana. Fueron importantes dos geosinclinales en Europa, mientras uno ya existía en América sobre la costa Pacífico y otro en lo que hoy ocupan los Apalaches. No hubo en el período orogénesis actividad magmática importante, pero sí una importante transgresión marina, la formación de los tres grandes océanos actuales y una fauna exclusivamente marina (algas, celentéreos, crustáceos, branquiópodos y esponjas).

- En el **ordovícico-silúrico** la orogenia caledoniana separa notables convulsiones marinas y los océanos invaden gran parte de las tierras emergidas. A la fauna marina invertebrada (graptolites, trilobites y cefalópodos) se suman los primeros peces acorazados (ostracodermos y placodermos), siendo la flora exclusivamente marina (algas). Si del ordovícico las rocas más abundantes son depósitos de cuarcitas, pizarras y calizas con fósiles, las del silúrico son las pizarras. El ordovícico transcurre desde hace 500 hasta 435 millones de años y el silúrico desde hace 435 hasta 395 millones de años.

- Durante el **devónico** hay gran extensión de los continentes y un clima seco y caluroso. En el período de 48 millones de años, desde 395 hasta 347 millones de años, se dan la formación de la atmósfera actual y las últimas fases de la orogenia caledoniana. En esta época persiste la existencia del continente Noratlántico separado del de Gondwana por el mar de Tetis. Aquí se da un hecho muy importante: la conquista del medio terrestre o aéreo por los seres vivos, pues además del gran desarrollo de los peces acorazados y la desaparición de los graptolites, aparecen los anfibios y los primeros insectos terrestres. La flora se instala en los bajos mares interiores, los cursos de agua y los pantanos; aparecen psilofitales y riniales y a continuación los primeros helechos arborescentes y las primeras criptógamas.

- Durante el **carbonífero** se dan intensos y repetidos movimientos verticales de las tierras emergidas; paroxismo de la orogénesis herciniana y formación de potentes series sedimentarias englobando restos vegetales. Prevalecen las tierras emergidas de carácter pantanoso ricas en bosques que fragmentan el océano Tetis y termina el período con una glaciación.

El clima era tropical en el hemisferio norte y frío en el sur. El carbonífero transcurre a lo largo de 67 millones de años, desde hace unos 347 hasta hace 280 millones de años. De este período de fauna marina rica, en el que aparecen los primeros peces ganoideos y difusión sobre tierra firme de artrópodos y batracios (anfibios), los fósiles animales más característicos son los goniatites.

- El **pérmico**, sistema superior del paleozoico, transcurre desde 280 millones de años hasta 230, antes del presente. Aparecen en él dos facies bien determinadas, la marina y la continental; la primera de tipo calcodolomítico mientras la segunda está caracterizada por areniscas rojas y evaporitas.

En él se verifica una progresiva retirada de los mares y una pequeña elevación de los Urales y a lo largo del Golfo de Méjico, y también el inicio de la separación de Madagascar.

En este período se difunden los primeros reptiles y se desarrollan los batracios gigantes, se desarrollan los peces ganoideos y desaparecen los trilobites y tetracoralarios. En flora se desarrollan las gimnospermas y hay predominio con formas gigantes de helechos, cordaites y equisetos.

**10.3.3 Mesozoico.** Se inicia la era **mesozoica** con el período **triásico**, que transcurre a lo largo de unos 35 millones de años. En el triásico se producen profundas fracturas, de las que sale lava como la enorme colada basáltica del Paraná que ocupa 1 millón de Km<sup>2</sup>.

Es el predominio de la regresión marina que favorece la formación de potentes sedimentos a causa de una intensa erosión en los continentes. Sobre la biosfera se observa cómo se afirman y difunden los reptiles diferenciados pero sin que existan todavía anfibios gigantes. En los mares se desarrollan peces ganoideos, seláceos y varias especies de invertebrados, además de algas características, mientras en los continentes hay una difusión de coníferas tipo araucaria y numerosas xerófilas.

- El **jurásico**, es un período con regresiones y transgresiones marinas, con predominio de tierras emergidas y grandes pantanos en Europa, representado especialmente por calizas y margas.

El sistema que transcurre desde hace 195 hasta 141 millones de años, bajo un clima tipo tropical, es propicio para que los reptiles (voladores, nadadores y terrestres) alcancen su máximo desarrollo.

En los mares se encuentran reptiles gigantes (ictiosaurios) y gigantescos ammonites, mientras en los continentes predominan las coníferas y cicadáceas, aparecen las primeras angiospermas monocotiledóneas, las primeras aves, los mamíferos marsupiales y los grandes reptiles (dinosaurios, pterosaurios, etc.).

- El **cretácico** es un período caracterizado por oscilaciones verticales de tierras emergidas. En el cretácico inferior el geosinclinal de Tetis continúa recibiendo sedimentos y su océano alcanza su máxima extensión separando tierras meridionales y septentrionales, mientras a finales del período se da una intensa actividad volcánica que origina extensas llanuras de lava; se verifican también el primer paroxismo de la orogenia alpino- himalayana y movimientos orogénicos en América (Andes y Montañas Rocosas).

En estos 76 millones de años (desde hace 141 hasta hace 65 millones de años) aparecen los antepasados directos de las aves, se desarrollan los marsupiales, hay todavía dominio de reptiles hasta el final de la era y se desarrollan las dicotiledóneas, las monocotiledóneas y las coníferas de géneros actuales.

**10.3.4 Cenozoico.** El **paleógeno** o **terciario temprano**, que comprende el ciclo paleo-eo-oligoceno, es el inicio de la era **cenozoica** que dura 42 millones de años. Se inicia con la transgresión de Tetis que separa Australia del Asia Insular y las dos Américas, continúa con extensas convulsiones que afectan las cálidas aguas de Tetis cuando las dos Américas están separadas. Termina el paleógeno con un segundo paroxismo de la orogenia alpino-himalaya, con la formación de las cadenas costeras de las Rocosas, el Caribe y algunas zonas de América Central. Se desarrollan los mamíferos y las aves y aparecen en los mares nuevas especies de foraminíferos y los característicos nummulites.

A las especies de tipo tropical se unen las de tipo subtropical y a mediados del paleógeno aparecen nuevas especies de mamíferos. En el **oligoceno** aparecen los hipopótamos, los lemúridos, los libérridos y los insectívoros, y sobre el medio subtropical, en zonas de montañas, se desarrollan bosques de caducifolios.

- El **neógeno** o **terciario tardío** (mio-plioceno) transcurre desde 23 millones de años hasta hace 1.8 millones de años. En él se produce el más importante paroxismo de la orogénesis himalayana y a final del período se restablece la unión entre las dos Américas, desapareciendo definitivamente Tetis del Asia centro-oriental.

Se abre el mar Rojo y el clima empieza a diferenciarse según las regiones, en templado y lluvioso para el norte y en cálido y húmedo para el sur. Durante el **mioceno** aparecen los simios antropomorfos y algunas especies terrícolas que preludian la forma humana, en fauna se difunden los proboscíferos y desaparecen los nummulites; la flora, de tipo cálido templado, muestra extensos bosques de planifolios, palmeras y plantas tropicales.

- Durante el **plioceno**, Insulindia y las Antillas toman el aspecto actual, se forma la península italiana y el mar Rojo y además aparecen los antepasados directos del hombre; en fauna se desarrollan los simios antropomorfos y aparecen los antepasados de las actuales especies animales (caballos, felinos, aves, etc.); en flora la característica son bosques de planifolias y numerosas especies subtropicales.

- El **cuaternario** (neozoico), que se inicia hace 1.8 millones de años, con el **pleistoceno**, empieza con el asentamiento de la orografía actual y las glaciaciones. Durante los avances del hielo se establecen puentes de tierra que unen al Asia con América y el Asia Meridional (Insulindia). En este período aparece el hombre actual.

Durante las glaciaciones los bosques de coníferas llegan al Mediterráneo y en los períodos interglaciares las especies de clima cálido suben a Europa. En el **holoceno** se forma el estrecho de Gibraltar y de Mesina y se hunden los puentes intercontinentales. Además se constituyen las actuales razas humanas, se descubre la agricultura, el pastoreo y la metalurgia, y se da paso a la civilización actual.

#### 10.4 TÉRMINOS

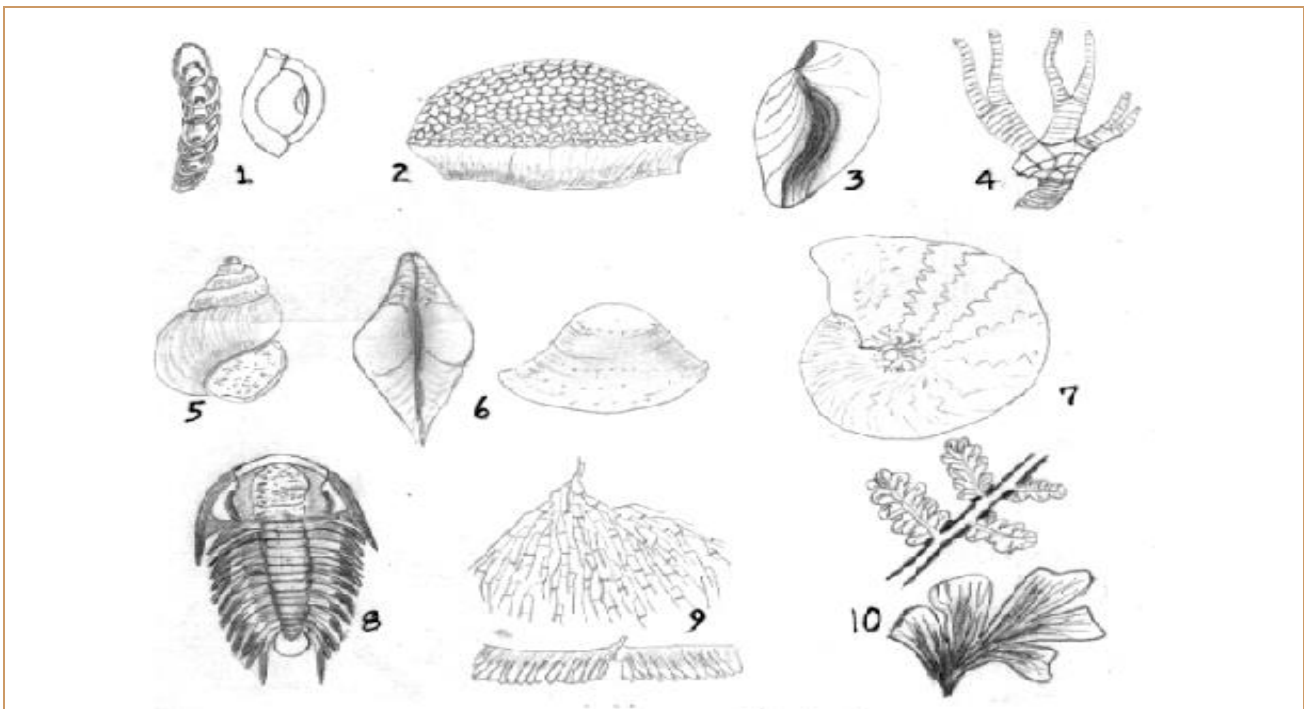


Figura 48. Registros fósiles. 1. Foraminífera (nodosaria y miliolita), 2. Coral (porífera), 3. Braquiópodo, 4. Crinoidea, 5. Gasterópodo, 6. Lamelibranquia (dos vistas), 7. Ammonita (cefalópodo), 8. Trilobites (polímero), 9. Graptolito, 10. Plantas fósiles. (Mariopteris y ginkgo). Adaptado de Enciclopedia de las Ciencias Naturales, Ed. Nauta.

- **Diastrofismo.** Término que se opone simultáneamente al fijismo y catastrofismo, y que alude a un conjunto de movimientos orogénicos y epirogénicos.

- **Movimiento tectónico.** Movimiento de la corteza con fractura y perturbación de estratos.

- **Movimiento epirogénico.** Movimiento lento de ascenso y descenso de la corteza sin fracturamiento pero con plegamiento de estratos.

- **Ofolitas.** Materiales asociados al fondo oceánico. Grupo de rocas básicas y ultrabásicas en zonas geosinclinales, e incluso sedimentos formados un conjunto de fragmentos de la corteza oceánica.

- **Batial.** Ambiente marino de luz escasa, entre 200 y 800 metros de profundidad.
- **Abisal.** Zona marina de mayor profundidad, abismos marinos.
- **Geosinclinal.** Espacio de sedimentación. El prefijo Geo alude a una gran depresión.
- **Geoanticlinal.** Gran umbral o espacio de erosión.
- **Eugeosinclinal.** Ortoclinal, es decir, depresión lábil que contiene sedimentos sobre todo, de origen marino.
- **Miogeosinclinal.** Geosinclinal al margen de un Eugeosinclinal ubicado entre éste y el continente, por lo que contiene masa de origen continental (Eu: lábil, Geo: grande, Sinclinal: depresión).
- **Foraminíferos.** Animales unicelulares generalmente provistos de concha y pseudópodos.
- **Graptolites.** Organismos coloniales marinos que vivieron desde del cámbrico hasta el carbonífero.
- **Celentéreos.** Metazoos con una organización extremadamente simple pero son las células diferenciadas en tejidos.
- **Cefalópodos.** Moluscos de organización más compleja, de cabeza diferenciada con tentáculos entorno a la boca, seno hiponómico, respiración branquial, simetría bilateral, concha de una sola pieza formada por el fragmocono y la cámara de habitación, externa o interna o incluso ausente.
- **Trilobites.** Fósil característico de la era paleozoica y que aparece ya a principios del cámbrico diversificándose en todos los ambientes marinos hasta alcanzar 1500 géneros que sin embargo desaparecieron todos, el cuerpo está dividido en tres lóbulos y los apéndices eran todos del mismo
- **Vertebrados.** Miembros tipo salvo las antenas del tipo cordados, como lo son los urocordados y los cefalocordados. Los cordados tienen un rígido soporte interno, aberturas branquifaríngeas y sistema nervioso tubular dorsal. En los vertebrados hay presencia de columna vertebral situada en posición dorsal que envuelve al cordón nervioso
- **Angiospermas.** Las angiospermas son plantas con flor y están caracterizadas por la producción de semillas completamente encerradas dentro de la parte femenina de la planta.
- **Ostrácodos.** Minúsculos crustáceos de caparazón calcáreo, formada de dos valvas articuladas.
- **Pterofitas.** Las Pterofitas son los verdaderos helechos y las cicadofitas, las gimnospermas más antiguas.
- **Algas.** Grupo de plantas extraordinariamente diversas con una gama de tamaños que va desde células simples de pocas milésimas de milímetros hasta algas marinas gigantes. Su estructura es simple, bastante uniforme y generalmente formada sólo por tejido blando. Las clases de algas son: las cianofíceas (azules), las Flagelofíceas (con flagelos), las diatomeas (silíceas), crisofitas (amarilla), clorofíceas (verdes), feofíceas (pardas) y rodofíceas (rojas).



10.5 FORMACION DEL SECTOR NORTE DE LOS ANDES (COLOMBIA)

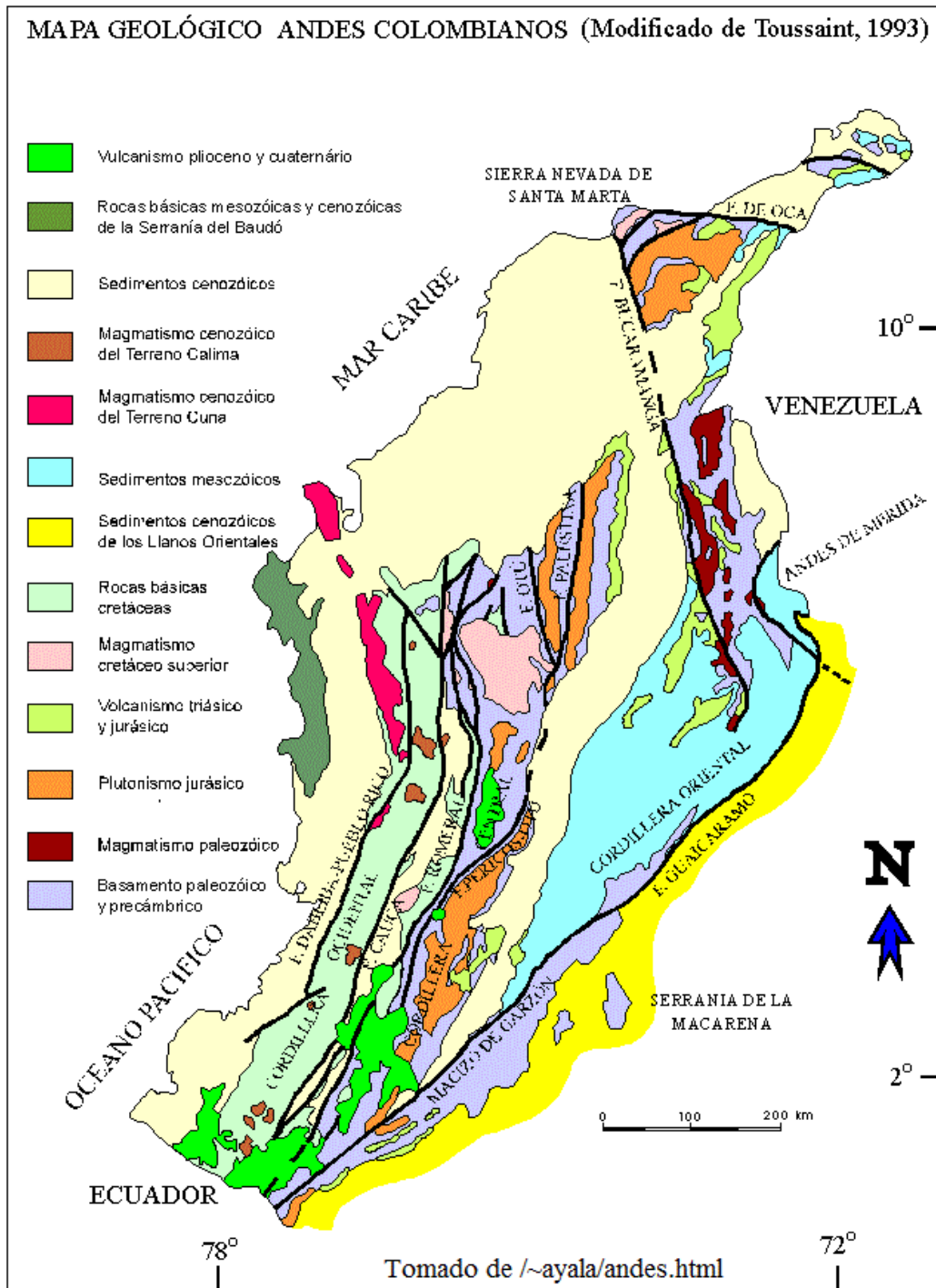


Imagen 25: Geología de los Andes de Colombia, modificado de TOUSSAINT, J. F. – 1993 en ayala@mat.unb.br.

- **Precámbrico.** Se da la formación del escudo Guyanés. (Este cratón, tras haber sido plegado al principio, ha pasado por un largo período de estabilidad)



- **Paleozoico.** Se da la formación del cinturón ancestral de la cordillera Central (formación Cajamarca) a partir de un primer eugeosinclinal al occidente del escudo, y del sector SE de la Sierra Nevada de Santa Marta a partir de una intrusión granítica (batolito de Santa Marta) en la orogenia del ordovícico.

- **Mesozoico.** A partir de un segundo eugeosinclinal en el exterior del cinturón Paleozoico, se forma, por el costado occidental, la Cordillera Occidental, además el sector NW de la Sierra Nevada, en la orogenia del Jurásico.

- **Cenozoico.** Por depósitos del escudo y de la cordillera Central, se forma la cordillera Oriental por flexiones marginales fuertes, fallas inversas locales y fallas de rumbo en sus bordes, sobre un miogeosinclinal en la orogenia del Mioceno, o del Terciario tardío.

- **Terciarios tardío y Cuaternario actual.** Originadas las tres cordilleras (la Central en el Paleozoico temprano, la Occidental a mediados del Mesozoico y la Oriental en el Terciario tardío) se experimentan varios movimientos epirogénicos en el Terciario tardío (Plioceno) y en el Cuaternario actual (Holoceno), e intrusiones magmáticas, dando como resultado su actual relieve.

- **Ciclos ígneos.** Se distinguen varios ciclos ígneos:

Los plutónicos o intrusivos: en el Precámbrico tardío, Ordovícico tardío, Paleozoico tardío, del Triásico al Jurásico, también en el Cretácico y otro continuo durante el Mio-Oligo-Eoceno.

Los ígneos volcánicos: de lavas máficas submarinas en las dos series eugeosinclinales del Paleo y del Mesozoico y las silíceas diferenciadas del Triásico al reciente.

- **Dos ambientes.** Dividida la Cordillera Central por una línea, y mejor aún, tomando como referencia la Falla Romeral, al este los Andes colombianos resultan supersiálicos y al oeste parecen formados sobre la corteza oceánica, por lo que probablemente son supersimáticos (basaltos y ofiolitas, en general).

- **Basamento de Panamá.** El basamento del Istmo de Panamá se originó probablemente por un levantamiento de la corteza en el Triásico en asociación con la Orogenia Andina (faunas marinas abisales y batiales homólogas y faunas de norte y sur América en sedimentos del Terciario superior idénticas).

- **Contraste costero.** La zona costera del Caribe muestra evidencias de erosión y desgaste, el resto del continente está poco desgastado. Estos hechos confirman el crecimiento del continente entre el Paleo y Mesozoico extendiéndose y desplazándose hacia el Pacífico.

- **Depósitos Terciarios.** El espesor de los estratos terciarios, en los llanos, llega a 4 Km. sobre la zona occidental o piedemonte de la cordillera Oriental y el cretácico aflora 100 Km. al este de dicho margen. En Honda ese espesor llega a los 7 Km. y en Montería hasta los 9 Km., mientras la profundidad de las cuencas sedimentarias del Atrato - San Juan, y del río Cauca, se aproximan a los 4 Km.

- **Cinturón cristalino de la cordillera Central.** El basamento de la cordillera Central es el Grupo Cajamarca, en donde las rocas sedimentarias han sufrido metamorfismo al final del Paleozoico.

## 10.6 CERRO BRAVO, TRAS TRESCIENTOS AÑOS DE CALMA VOLCÁNICA

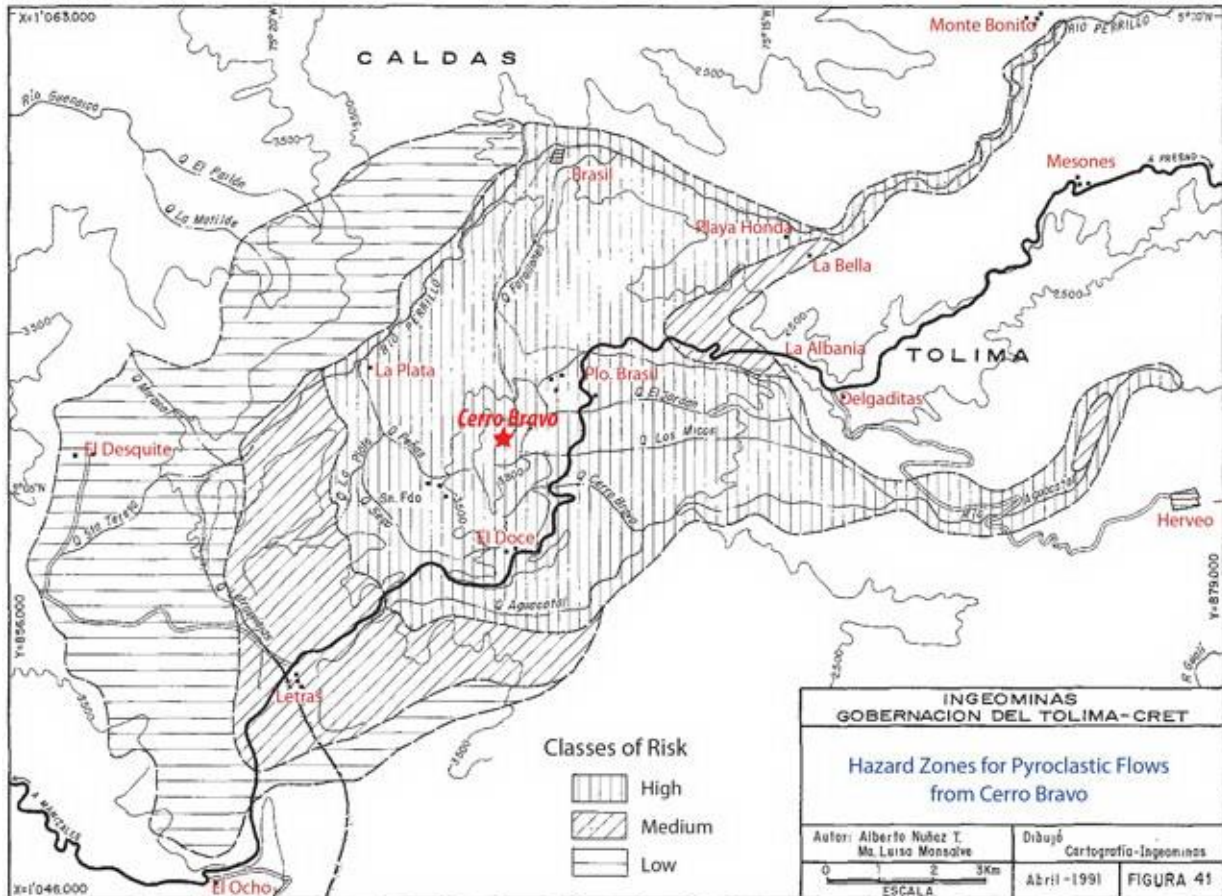


Imagen 26: Amenazas por Flujos Piroclásticos de Cerro Bravo. CRET del Tolima. Alberto Núñez T. Fuente, Mapa de Amenazas de Cerro Bravo, Ingeominas (1999).

Sobre el eje cordillerano al norte de Tolima, en jurisdicción de Herveo aparece Cerro Bravo, una reciente estructura del segmento volcánico más septentrional de los Andes sudamericanos, con 4000 metros de altitud y cuya edad se remonta a tan solo unos cincuenta mil años, según Ingeominas, lo que también se infiere, entre otros elementos que lo diferencian del edificio volcánico del Ruiz, por la presencia de lavas más recientes a juzgar por la morfología fresca de las estructuras petrificadas, anunciando que no fueron afectadas por los procesos erosivos del modelado de los hielos en la última glaciación, cuando estos cubrieron cerca de 800 kilómetros del Complejo Volcánico Ruiz-Tolima.

Aunque no existen registros históricos (anotaciones), los investigadores le han asignado a este estrato-volcán erupciones explosivas de características similares a las del Vesubio ocurrida en el año 79 de nuestra era y narrada por Plinio el joven- en la que se destruyen Pompeya y Herculano- cuyas fechas estimadas por radiocarbono con errores de entre 150 y 75 años, son de los años 1720, 1330, 1050 y 750. Las evidencias de estas erupciones violentas, que parecen sucederse cada cuatro siglos y de los cuales Cerro Bravo lleva unos tres en reposo, son varios de los estratos que conforman las capas de nuestros suelos sobre la geografía circundante de Cerro Bravo, dispersos sobre un radio que supera ampliamente las decenas de kilómetros medidos a partir del Cráter.

Aunque las erupciones del Ruiz y del Cerro Bravo tienen en común un carácter explosivo, mientras las del Ruiz han sido de nivel moderado bajo con presencia de columna eruptiva preferiblemente vertical sostenida (salvo la de 1845), las de Cerro Bravo ya mencionadas han mostrado un nivel moderado alto y con un mayor nivel de dispersión, lo que se explica por lavas más viscosas propiciando columnas eruptivas de colapso. En ambos casos, las manifestaciones violentas se acompañan de grandes volúmenes de gas volcánico y ceniza, con fragmentos de pómez cuya expulsión a gran velocidad y temperatura forma las citadas columnas eruptivas, de las cuales pueden surgir riadas gaso-piroclásticas a alta temperatura, acompañadas de tormentas eléctricas y de lluvias torrenciales generadoras de flujos de lodo, así Cerro Bravo no tenga glaciares.

La imagen que ilustra esta nota es el mapa con una de las amenazas potenciales de Cerro Bravo, el de las nubes ardientes, juiciosamente elaborado por los científicos del Observatorio Vulcanológico de Manizales adscrito al Ingeominas, entidad que también ha establecido centros similares para la vigilancia de los segmentos volcánicos vecinos al Huila y al Galeras, donde igualmente existen varios sistemas activos y comunidades vulnerables habitando sus territorios, que por estar en riesgo deben aplicar la información de dichos mapas en el ordenamiento territorial, y la del monitoreo volcánico en la administración de las eventuales crisis eruptivas, dado que ambas actividades las viene abordando esta prestigiosa Institución, así la mayoría de los volcanes estén en reposo temporal, como ocurre con Cerro Bravo. Solo que dado el período típico y la incertidumbre en su estimación, habrá que tomar en serio esta amenaza.

De conformidad con el mapa y la información suministrada para el mismo, entre las amenazas volcánicas de Cerro Bravo, habrá que contemplar, además de caída de ceniza volcánica, flujos de lodo por los ríos Aguacatal afluente del Gualí y por el río Perrillo afluente del Guarinó, llegando con pocos metros de espesor hasta el Magdalena; además de los flujos piroclásticos que podrían superar los 10 kilómetros de extensión avanzando por dichos drenajes e incluso por las cabeceras del Río Blanco y del Guacaica, vecinos a Manizales de conformidad con el mapa anexo, consecuencia ello de una erupción importante en volumen dado que la columna eruptiva de dicho volcán, por su mayor coeficiente explosivo en comparación con el Ruiz y el Tolima, tiende al colapso como también lo haría una erupción del Cerro Machín vecino a Cajamarca. Para información del lector, mientras Herveo está localizado a 14,2 km, el centro de Manizales se encuentra ubicado a 25 km y la Enea a 20 km, de Cerro Bravo.

[Revista Eje 21. Manizales, 215-05-24]

## Lecturas complementarias

### Isaac Newton:

Notas sobre la obra e historia de Isaac Newton, resumen del libro de William Rankin, "Newton para Principiantes", con algunos complementos, sobre este notable físico, inventor y matemático inglés, autor de los Principia, obra que describe la ley de la gravitación universal y establece las bases de la mecánica clásica mediante las leyes que llevan su nombre. Entre sus otros descubrimientos suyos, se destacan los trabajos sobre la naturaleza de la luz y la óptica y el desarrollo del cálculo diferencial. Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1668/1/gonzaloduqueescobar.20098.pdf>

### Albert Einstein

En 2015/16 se conmemoran cien años de la Teoría de la Relatividad General de Albert Einstein, el científico más conocido y popular del siglo XX. Diez años antes, había introducido la Teoría de la Relatividad Especial, en un estudio sobre el movimiento de cuerpos en ausencia de un campo gravitatorio y electromagnetismo, y en noviembre de 1915 presentaba en la Academia Prusiana de las Ciencias su Teoría de la Relatividad General, en la que Einstein revoluciona la física de Newton y proporciona las bases para una nueva cosmología que explique el Universo –  
Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/50753/1/alberteinstein.pdf>

### Stephen Hawking.

Obra y vida de este connotado físico, cosmólogo y científico nacido en Oxford y sucesor de la Cátedra Lucasiana en Cambridge, reconocido como el más famoso de los físicos teóricos vivos hoy por su "Breve historia del tiempo", y como una figura legendaria por sus aportes logrados al integrar en una teoría la Relatividad General y la Mecánica Cuántica. Este documento se basa en un resumen del libro "Stephen Hawking para principiantes", de Mc Evoy y Zárte, con algunos complementos de la bibliografía anexa.  
Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1686/1/gonzaloduqueescobar.20093.pdf>

### El camino a las estrellas.

Cómo evolucionamos por la cultura. Cómo aparecen las civilizaciones. De la astronomía aristotélica a Galileo. Gravitación y Relatividad. Del Homo Hábilis al Homo Sapiens. De los griegos al Renacimiento. América precolombina. De Newton a Hawking. Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1591/1/elcaminoalasesestrellas.pdf>

### Honda - La Dorada: potencial nodo intermodal.

Esta ponencia, que aborda el tema del plan maestro de transporte intermodal de carga, subraya la importancia del Ferrocarril Cafetero y la extensión del corredor férreo del río Cauca hasta Urabá para articular la Región Andina mediante el sistema ferroviario a la hidrovía del Magdalena, y para la salida el Altiplano a los mares de Colombia, sin poner a competir ferrocarril, carretera a hidrovía a lo largo del Magdalena. Además de proponer una plataforma logística conurbando Honda - La Dorada y alimentando la hidrovía con trenes, propone apalancar el desarrollo ferroviario en la locomotora del carbón andino si se quiere establecer un sistema intermodal de carga estratégico para la competitividad del país. Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/53172/1/hondaladoradapotencialnodointermodal.pdf>

## ENLACES TEMÁTICOS U.N.

### GEOMECÁNICA

<http://www.bdigital.unal.edu.co/53252/>

### TÚNELES: VIDEOS Y DOCUMENTOS

<https://godues.wordpress.com/2014/01/04/tuneles-videos-y-documentos/>

### FISIOGRAFÍA Y GEODINÁMICA DE LOS ANDES DE COLOMBIA

<http://www.bdigital.unal.edu.co/52776/1/fisiografiaygeodinamicadelosandesdecolombia.pdf>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
(1867-2017)



## MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2016

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

### Presentación

### Contenido

[Cap01](#) Ciclo geológico  
[Cap02](#) Materia y Energía  
[Cap03](#) El sistema Solar  
[Cap04](#) La Tierra sólida y fluida  
[Cap05](#) Los minerales  
[Cap06](#) Vulcanismo  
[Cap07](#) Rocas ígneas  
[Cap08](#) Intemperismo ó meteorización  
[Cap09](#) Rocas sedimentarias  
[Cap10](#) Tiempo geológico

[Cap11](#) Geología estructural  
[Cap12](#) Macizo rocoso  
[Cap13](#) Rocas Metamórficas  
[Cap14](#) Montañas y teorías orogénicas  
[Cap15](#) Sismos  
[Cap16](#) Movimientos masales  
[Cap17](#) Aguas superficiales  
[Cap18](#) Aguas subterráneas  
[Cap19](#) Glaciares y desiertos  
[Cap20](#) Geomorfología  
[Lecturas complementarias](#)  
[Bibliografía](#)

### Anexo 1: Agua y Clima

<http://www.bdigital.unal.edu.co/54046/>

### Anexo 2: Calentamiento global en Colombia

<http://www.bdigital.unal.edu.co/3673/>

### Anexo 3: Desafíos del Complejo Volcánico Ruiz – Tolima

<http://www.bdigital.unal.edu.co/9484/>

### Anexo 4: Economía para el constructor

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1698/>

### Anexo 5: Gestión del riesgo

<http://www.bdigital.unal.edu.co/47341/>

### Anexo 6: Geotecnia para el trópico andino

<http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/>

### Anexo 7: La Luna

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1663/>

### Anexo 8: ¿Para dónde va el Magdalena?

<http://www.bdigital.unal.edu.co/51046/>

### Anexo 9: Túnel Manizales

<http://www.bdigital.unal.edu.co/2046/>

### Anexo 10: UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga

<http://www.bdigital.unal.edu.co/50853/>

### Anexo 11: Mecánica de los suelos

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/>

El Autor: Gonzalo Duque-Escobar

**HOME:**

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>