

01060
1ej.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA



PRINCIPIOS
DE
GEOLOGIA

T E S I S
QUE PRESENTA
LUIS IGNACIO FUNES CARBALLO
PARA OBTENER LA MAESTRIA EN GEOGRAFIA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1980.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

C O N T E N I D O

CAPITULO	Página
1 Introducción	1
La Geología Actual	2
Divisiones de la Geología	3
Importancia de la Geología	5
Principios de la Geología	5
PARTE 1: GEOLOGIA FISICA.	
2 La Corteza Terrestre	7
Principales elementos que forman la corteza terrestre	8
Cómo se conoce a las rocas	10
Minerales comunes en las rocas	14
Identificación de los minerales por su aspecto físico	15
Clasificación de los minerales más comunes	19
Elementos o cuerpos simples	20
Sulfuros arsenicales y sulfosales	25
Oxidos	26
Cloruros y fluoruros	29
Nitratos y carbonatos	30
Sulfatos y cromatos	31
Aluminatos y ferratos	33
Fosfatos	34
Silicatos	34
Minerales de origen orgánico	39
3 LAS ROCAS	43
Batolitos	47
Diques	48
Lacolitos	49
Rocas ígneas intrusivas	49
Rocas ígneas extrusivas	52
Piedras sedimentarias	55
Piedras metamórficas	64

	Página
4. AGENTES EXTERNOS	69
Intemperismo	69
Tipos de intemperismo	70
Intemperismo térmico	70
Cristalización de sales	72
Efecto de plantas y animales	72
Intemperismo químico	72
Acción química de las bacterias y plantas	74
Acción del viento	74
Deflación	76
Corrosión	77
Transporte	78
Acumulación	78
Mecanismo de las dunas	79
Corrientes superficiales de agua	84
Ciclo hidrológico	85
Erosión pluvial	86
Acción de las corrientes Fluviales	89
Terrazas	95
Meandros	95
Cataratas y rápidos	96
Dolinas	97
Tipos de desembocadura	98
Sistema de drenaje	100
Aguas subterráneas	103
Permeabilidad	104
Afallamiento	105
Movimiento de las aguas	106
Distribución general de las aguas subterráneas	107
Aguas freáticas	109
Manantiales	110
Composición de las aguas subterráneas	111
Géiseres	111
Aguas artesianas	112
Pozos	114
Acción erosiva de las aguas subterráneas	114
Topografía kárstica	117

	Página
GLACIARES	119
Influencia geológica	119
Origen de los glaciares	120
Movimiento de los glaciares	122
Variaciones en el tamaño de un glaciar	123
Clasificación de los glaciares	124
Grietas o rimayas	126
Acción erosiva de los glaciares	127
Valles glaciares	131
Transporte y depositación	131
Erosión Marina	136
Acción hidráulica	136
Abrasión	138
Transporte y depositación	139
Formas costeras ocasionadas por la acción del mar	143
5 AGENTES INTERNOS	149
Movimientos epirogénicos	150
Isostasia	151
Teoría de los Geosinclinales	153
Teorías continentales	157
Teoría de la contracción	158
Teoría de las celdillas de convección	158
Teoría de Wegener	160
Placas tectónicas	162
Movimientos epirogénicos en México	165
6 GEOLOGIA ESTRUCTURAL	171
Capas de la Tierra	171
Características del interior de la Tierra	173
Método sísmico	174
Método fisiográfico	176
Método térmico	177
Movimientos orogénicos	179
Propiedades físicas de las rocas	181
Pliegamientos	182
Clases de pliegues	183
Fallas	187
Tipos de fallas	191

	Página
Volcanismo	194
Teorías de formación	194
Causa actual	196
Origen	197
Partes de un volcán	201
Estructuras volcánicas	201
Clasificación de los volcanes por su actividad	202
Productos volcánicos	203
Tipos de erupciones	206
Lagos cráteres	210
Calderas	210
Volcanes parásitos o adventicios	211
Aguas calientes	212
Fumarolas	212
Geiseres	212
Volcanes de lodo	213
Distribución de los volcanes	215
Volcanismo en México	218
Sismos	219
Origen de los sismos	221
Zona del foco	223
Ondas sísmicas	224
Velocidad de las ondas	224
Intensidad de los temblores	226
Zonas sísmicas del Mundo	229
Maremotos	230

PARTE II: GEOLOGIA HISTORICA

7	Paleografía	232
	Dónde se localizan la mayor parte de los fósiles	233
	Materiales que ayudan a la fosilización	233
	Métodos de fosilización	234
	Condiciones que favorecen a la fosilización	235
	Importancia de los fósiles	237
8	TIEMPO GEOLOGICO	239
	Estratigrafía	239
	Método petrográfico	241
	Método paleontológico	241
	Métodos radi-activos	243
	Carbono 14	245

	Página
9 ERAS Y PERIODOS	246
Era Arcaica	248
Arqueozoica	249
Proterozoico	252
Paleozoica	253
Cámbrico	253
Ordovícico	255
Silúrico	255
Devónico	256
Carbonífero	257
Pérmico	258
Era Mesozoica	260
Triásico	262
Jurásico	264
Cretácico	267
Cenozoico	271
Eoceno y Oligoceno	271
Mioceno y Plioceno	274
Pleistoceno	280
Holoceno	283

INTRODUCCION

I

Desde que el ser humano comenzó a pensar en todo lo que le rodeaba, sin duda una de las preguntas de gran interés fué la relacionada sobre el origen de su planeta; en nosotros, la idea sigue fija, y no solo en nosotros sino también en la mente de grandes científicos, sin encontrar la respuesta correcta. Muchas ideas y conjeturas se han creado, algunas de gran razonamiento científico, así recordamos a Pitágoras cuando pensaba que la Tierra se había convertido en mar al hundirse y que al elevarse se transformó en Tierra, que los valles habían sido escarbados por el agua y que las montañas se formaron por el alzamiento de las llanuras.

En la época del renacimiento el gran Leonardo da Vinci explicó, por la presencia de restos fósiles en las rocas, que gran parte del norte de Italia estuvo bajo las aguas del mar y ahora quedan sobre éste.

En realidad el estudio geológico moderno se inicia alrededor del siglo XVII, bajo los estudios de grandes observadores de la naturaleza, siendo primero Jean Etienne Guettard (1715-1797) que se ocupó del estudio de la erosión y no solo esto, sino que fue el creador del primer mapa de Francia. A él se le reconocen los primeros estudios sobre los volcanes.

Contemporáneo de Guettard, fué Abram Gottlieb Werner quien era profesor de mineralogía en la escuela de minas de Freiberg y quien explicaba con gran emotividad todo lo relacionado con el origen del basalto, de tal manera que se le consideraba "Neptunista" y a sus discípulos Wernerianos. La teoría que sustentaba, decía que en un tiempo muy antiguo, la Tierra tenía un núcleo muy irregular, cubierto de un océano de especie muy notable, puesto que las aguas contenían en solución o en suspensión todos los minerales necesarios para formar a la corteza de la Tierra, que la primera capa que se formó se depositó en el núcleo formando a la roca más conocida llamada "Granito" y después siguió una variedad de otras, constituidas por agregados de cristales, que son las rocas que ahora se denominan "Cristalinas" y Werner suponía que esos precipitados químicos cubrían todo el planeta y les llamaba rocas primitivas. Las rocas siguientes eran las de transición, constituidas por precipitados químicos, acompañadas por detritus de rocas más antiguas. En realidad la teoría Neptunista se sostenía en que todas las rocas por precipitación o depósito se formaron en el seno de un océano universal. En esa misma época Nicolás Desmarest, en Francia (1725-1815) y James Hutton (1726-1797) en

Escocia, se ocuparon del estudio del origen del basalto y del granito, llegando a la conclusión de que éstos eran de origen ígneo; consideraban que el calor subterráneo era la causa principal de los fenómenos geológicos y por este motivo se les llamó "Plutonistas".

A James Hutton se le considera el fundador de la Geología Moderna. La teoría de los "Plutonistas" decía que las rocas, granitos y basaltos tenían su origen en el núcleo incandescente de la Tierra y con ello se desarrolló la teoría del Uniformitarismo.

En 1800 aparece William Smith (1769-1839) quien fué el que creó la geología estratificada; fué uno de los más notables estudiosos de los estratos, quien se ocupó de recabar cuidadosamente fósiles de cada una de las capas, y explicaba que la existencia de fósiles animales y vegetales en cada uno de los estratos podían señalar las condiciones que habían tenido lugar en cada sedimentación, como mares, estuarios, lagos de agua dulce o salada; explicó que cada capa tenía sus fósiles característicos y que estos eran distintos de los que precedían de capas superiores o inferiores. Es a él a quien se le debe los principios de la estratigrafía.

En 1797-1875, Sir Charles Lyell publicó sus principios de geología en donde acumula todo lo que se había hecho en estudios de geología tanto por geólogos como por neófitos en la materia.

LA GEOLOGIA ACTUAL

Si bien en la Geología actual intervienen numerosísimas ciencias que tratan de explicar el origen del planeta y no sólo eso, sino también el del universo, consideramos que todos los cuerpos en el universo contienen los mismos elementos formadores, tan solo cambia la cantidad en composición o sea que existe un principio general de que todos los cuerpos están compuestos de igual manera en el Universo. Este principio lo podemos observar en los meteoritos que llegan hasta la superficie de la Tierra, pero no tan solo en estos, sino también que los viajes a la Luna han demostrado que los elementos generales constitutivos son comunes en todos los aspectos. Los datos de composición del espacio sin duda están dados de inmejorable manera por los meteoritos, esos cuerpos sólidos que año tras año caen en este planeta recibiendo la Tierra por este medio miles de toneladas. El análisis de composición de ellos nos ha permitido saber que la mayoría son pétreos y la minoría metálicos, estos últimos llegan a contener hasta un 90 % de hierro

nativo correspondiéndole el resto, un 7 %, al níquel y el 3 % al fósforo y cobalto. Así pues en los meteoritos prevalece el hierro 45 %, oxígeno 24.6 %, níquel 3.5 %, silicio 12.3 y magnesio 9.8 %. La realidad es que en los meteoritos existen los mismos elementos que en la Tierra sin que se haya encontrado algún otro metal que no exista aquí en la Tierra, por lo tanto existe una afinidad química con los materiales del espacio.

En esta ocasión nos vamos a referir a este planeta en donde vivimos, tratando de explicar todos los mecanismos que hacen, que transforman y dan una característica muy especial tanto a las formas superficiales, subterráneas y aquellas en donde podemos ir, a razón que sólo nos dedicaremos a una pequeñísima y delgada capa superficial, ya que nos es imposible ir más adentro salvo en los casos que podamos aprovechar las erupciones volcánicas o movimientos sísmicos y que por ello conozcamos las partes internas del planeta.

DIVISIONES DE LA GEOLOGIA

La ciencia que se ocupa del estudio propio del planeta desde el punto de vista de su origen, composición, mecanismo, estructura, historia, es la GEOLOGIA.

Con ella se trata de explicar aquellos fenómenos tanto internos como externos que van transformando la faz de la superficie, de tal forma que es dinámica, predispone un conocimiento del pasado, del presente y en todo lo posible, explica el futuro basándose en mecanismos generales en el comportamiento de las rocas o principios físicos propios de la Tierra.

Por medio de esta materia se estudian las rocas y minerales constitutivos de ellas; sin embargo, como el conocimiento geológico es muy vasto se le ha subdividido en varias ramas; la que se ocupa del estudio propio de las rocas se llama Petrografía y el de los minerales Mineralogía. La mineralogía es la ciencia que se ocupa del estudio de los minerales, a sabiendas que estos son compuestos químicos de la naturaleza que se rigen bajo propiedades físicas y que se han producido bajo elementos internos en la corteza o debajo de ella, es pues la mineralogía la que se ocupa de analizar la composición de rocas, la estructura de sus cristales y la manera como se encuentra en la naturaleza.

Conectada con estas dos ramas importantes de la Geología existe la Cristalografía que es el análisis y forma de los cristales.

les que caracterizan a las rocas debido a que todas las rocas y minerales son o están formadas por cristales, o sea que el orden de los cristales determina el mineral.

La Petrografía es la que trata de las rocas, de la composición mineralógica y química, el origen y cambios que éstas sufren a través del tiempo geológico, pero además, su clasificación en tres grandes grupos y sus subdivisiones.

En la corteza existen capas de arenas, arcillas, calizas; en estas capas o rocas ya consolidadas existen restos fósiles de animales o vegetales que se han depositado en ellas en diferentes épocas, constituyendo por lo tanto claras muestras del pasado viviente, en ellas se explica que los estratos más profundos generalmente contienen restos más antiguos y por medio de estos nos permiten conocer la historia antigua de nuestros antecesores; el análisis de esas capas está ligado a una parte de la geología que es la Estratigrafía o Geología estratigráfica.

Cuando se refiere al estudio exclusivo de plantas y animales existe la Paleontología.

Cuando se ocupa del estudio del comportamiento de las rocas y formaciones de ellas de manera arqueada, inclinada, rotas, trituradas, entonces se refiere a la geología estructural; y cuando trata de estudiar los movimientos internos formadores de los continentes, mesetas, sierras, cordilleras y movimientos sísmicos, volcanes, es entonces cuando la geología Tectónica toma su parte principal.

De una manera general, dividimos al estudio de la Geología en Geología Física y Geología Histórica.

La Geología Física se ocupa de estudiar todo lo referente a las formas estructurales, los elementos fisiográficos, a la acción indistinta formadora de rocas así como su transformación. Se ocupa del análisis, origen y transformación de los diferentes tipos de rocas, los movimientos propios (Tectónicos) de los continentes, del origen de todas las formas superficiales (Fisiografía), del volcanismo, de los agentes transformadores de la realidad superficial (Agentes de Erosión), de la existencia y origen de los minerales.

La Geología Histórica es la parte de la Geología que

trata del estudio del pasado físico y viviente de la Tierra, la que trata de explicar el mecanismo de los cambios climáticos, geomorfológicos, volcánicos, metamórficos, explica los cambios que han sufrido las rocas hasta nuestros días y en sí nos marca la historia u origen del planeta.

IMPORTANCIA DE LA GEOLOGIA

De manera particular diremos que las ciencias que participan en el estudio o que hacen a la Geología son: En la Geología Física: Mineralogía, Petrografía, Geoquímica, Estratigrafía, Geotectónica, Volcanismo, Sismología, Meteorización o intemperismo, Hidrología, Potamología, Oceanografía, Glaciología, Geofísica y Geología Cartográfica.

En la Geología Histórica, la Paleontología que se ocupa del estudio como lo vimos antes de los fósiles vegetales o animales y también la Paleogeografía pues estudia el medio geográfico en etapas pasadas.

La Geología Actual, está implicada en el conocimiento de todo el presente tanto dentro como sobre la corteza, con el pensamiento lógico en que el tiempo geológico es muy diferente al tiempo que manejamos hoy en día, ya que el tiempo geológico predispone el estudio de fenómenos acaecidos hace millones de años y no hace unos cuantos días.

PRINCIPIOS

Se considera que la persona que hace o estudia Geología debe plantarse bajo tres principios lógicos: a) Que pasa, que es un principio de (efecto), luego como Aconteció, que es el principio de (Causa) y finalmente cuando se Produjo, o sea que siempre deberemos estudiar a la Geología bajo los principios de CAUSA y EFECTO.

En el principio de Efecto, se trata de explicar el elemento de origen que está apoyado en fenómenos pasados pero que se complementan con elementos actuales como el volcanismo o movimientos sísmicos o la acción de la erosión. Una vez que se estudió lo que aconteció y cómo se produjo se debe pasar a preguntarse o explicar la causa y por último el tiempo en que se produjo.

En muchos casos cuando se conoce el tiempo en que se produjo un fenómeno se puede predecir algún acontecimiento como los

sísmos, volcanismo o elementos de erosión.

El geólogo deberá tener una gran capacidad de razonar y utilizar con certeza sus conocimientos de manera aguda y en otros casos el manejo de las hipótesis y teorías para llegar a la razón.

En la época actual, el conocimiento de la Geología tiene gran importancia, ya que es la base fundamental de la minería, de la explotación de yacimientos minerales, de carbón, de piedra, de la búsqueda constante de diversos minerales, en muchos casos es indispensable, para aquél que se dedica a la industria de la construcción, de túneles, edificios, presas, caminos, puentes, para el estudio de los suelos agrícolas, conservación de los mismos, para la protección de la erosión y ante todo los Geólogos deben tener un conocimiento vasto de la Geología porque por medio de ella encontraran una clara explicación de los muy diversos fenómenos que suceden en la Tierra.

LA CORTEZA TERRESTRE

2

Hace millones de años, que un día de manera lenta o posiblemente violenta, se inició la formación de éste y de muchos planetas que forman el Sistema Solar. En este planeta que seguramente antes que lo fuera haya sido una masa gaseosa, una gota en el espacio, se comenzó a condensar, a enfriarse, a solidificarse, millones de años pasaron para que se formara la corteza sólida de la que un día fue inmenso mar líquido incandescente.

Poco a poco se fué formando la corteza; con gases desprendidos de ella que se fueron concentrando para iniciar un gran diluvio, que enfrió más, originando las primeras rocas sedimentarias, los mares u océanos primitivos en aquellas hondonadas, la atmósfera y con todo esto, cambios en las formas más primitivas de los elementos o minerales para la aparición de otros; y no solo de minerales, sino también estructuras geológicas emanadas del enfriamiento y movimientos de las capas.

Los movimientos que un día dieron origen a la formación de la corteza, en la actualidad no cesan, continúan implacablemente, de tal manera que lo que vemos hoy dentro de miles o millones de años tendrán otras formas o composiciones; es posible que las rocas ígneas se transformen en sedimentarias y éstas nuevamente en ígneas o en metamórficas o éstas últimas en sedimentarias y así también en nuevos minerales.

Si tomamos el principio general de que la Tierra estuvo incandescente, debemos suponer, y los estudios científicos sobre el interior de la Tierra parecen comprobarlo, que los materiales más pesados se fueron hacia el centro Hierro (Fe) y Níquel (Ni) y los más ligeros fueron quedando gradualmente superpuestos y así en la corteza de la Tierra se localizan los elementos más ligeros como el Silicio (Si).

Si caminamos por el campo, por los cauces de los ríos, cañadas, si vamos a los fondos marinos, a las grandes hoquedades de las minas, encontraremos grandes yacimientos rocosos o enormes áreas de rocas deshechas o materiales sueltos (Regolita). Debemos hacer notar que a todos esos cuerpos existentes se les denomina con el nombre de ROCA, que no solo las constituyen los materiales sólidos y duros, sino que también se les considera como rocas a

las arenas, arcillas, yeso y humus.

QUE SON LAS ROCAS

Que son las rocas. El término ROCA tiene un sentido técnico especial que todos los geólogos y geógrafos deben utilizar y no usar el término vulgar de piedra, y así debemos de llamar como roca a todos los materiales procedentes de la corteza de la Tierra, sin importar consistencia o dureza.

Se dice que las rocas son agregados o mezclas de minerales, cuya composición puede variar, ya que existen rocas con un mineral como la caliza y otras como el granito que están compuestas de tres: feldespatos, mica y cuarzo.

PRINCIPALES ELEMENTOS QUE FORMAN A LA CORTEZA TERRESTRE.

Si nosotros observamos a la corteza de la Tierra, veremos que la mayor parte de las rocas son sedimentarias, pero si nosotros fuésemos penetrando hacia el interior, nos daríamos cuenta de que las rocas sedimentarias disminuyen, aumentando entonces las rocas ígneas y llegando a ser éstas predominantes. Como todas las rocas son arreglos minerales, se ha investigado la proporción de elementos predominantes en ellas y actualmente se considera la tabla de Clark y Washington como la ideal para este caso.

Elemento	%
Oxígeno	46.59
Silicio	27.72
Aluminio	3.13
Fierro	5.01
Calcio	3.63
Sodio	2.85
Potasio	2.60
Magnesio	2.09
Titanio	0.63
Fósforo	0.13
Hidrógeno	0.13
Manganeso	0.10
Azufre	0.052
Bario	0.050
Cloro	0.048
Cromo	0.037
Carbón	0.032

Flúor	0.030
Zirconio	0.026
Níquel	0.020
Estroncio	0.019
Vanadio	0.017
Cerio	0.015
Cobre	0.010
Uranio	0.008
Tungsteno	0.005
Litio	0.004
Zinc	0.004
Colombio	0.003
Hagnio	0.003
Torio	0.002
Plomo	0.002
Cobalto	0.001
Boro	0.001
Berilio	0.001
Total	<u>100.000</u>

Por el análisis del cuadro podremos observar, que sólo 10 elementos son los predominantes en la naturaleza y el resto que queda es un porcentaje insignificante; tiene gran importancia porque está representado por metales importantes como el cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn), magnesio (Mg) y uranio (U) y en los porcentajes de oro, plata y platino, la cantidad es muy reducida.

Otro aspecto importante es ver que el elemento más abundante es el Oxígeno que casi ocupa el 50 % y que no sólo lo encontramos en la atmósfera, sino como compuesto en forma de óxido, silicatos o como parte de otros elementos.

Después del oxígeno, el SILICIO, el más abundante de todo los óxidos, se localiza en casi todas las rocas, como consecuencia de que la mayoría de los minerales que constituyen a las rocas son SILICATOS. El sílice es muy conocido bajo la forma de cuarzo, mineral que se halla en los granitos, arenas y en vetas cuarzosas en forma de prismas transparentes e incoloras, y por último diremos que el elemento metálico más importante es el aluminio, aunque el óxido de hierro se encuentre de manera abundante y difundido.

Con respecto al Calcio (Ca) se encuentra representado por calizas y éstas por carbonatos en donde sobresale la CALCITA (CaCO_3) y la DOLOMITA ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) (Carbonato de calcio y magne-

sio).

Cómo se conoce a las rocas

La clave para poder conocer o reconocer a una roca, está íntimamente ligada al conocimiento de los minerales, ya que la mayoría de ellas están formadas en arreglo a su estructura MINERALÓGICA, además de que gran parte de las rocas están formadas por OXIGENO así que basta conocer cómo están dispuestos los átomos o iones o de otra manera cómo están encajados los otros átomos entre los átomos de oxígeno.

A la disposición de los átomos de los elementos en un mineral forma su (ESTRUCTURA CRISTALINA) o el arreglo ordenado de los átomos; esta característica, permite que a los minerales los podamos identificar porque cada mineral contiene una estructura cristalina ÚNICA que identifica uno de otro aunque algunos estén formados por los mismos elementos.

Actualmente se conocen aproximadamente unos 2 000 minerales, pero en la mayoría de las rocas, solamente existen unos 8 o 10 minerales comunes, por lo que si conocemos a éstos se nos facilitará el reconocimiento de las rocas, a estos minerales les podemos llamar MINERALES ESENCIALES y el conocimiento de ellos nos permitirá conocer a las rocas con facilidad.

MINERAL	BASALTO	GRANITO	ARENISCA	PIZARRA	CALIZA
CUARZO	-	31.3	69.8	31.9	3.7
FELDSPATO	46.2	52.3	8.4	17.6	2.2
MICAS	-	11.5	1.2	18.4	-
ARCILLAS	-	-	6.9	10.0	1.0
HORNBLENDA	-	2.4	-	-	-
AUGITA	36.9	-	-	-	-
OLIVINO	7.6	-	-	-	-
CALCITA Y DOLOMITA	-	-	10.6	7.9	92.8
HIERRO	6.5	2.0	1.7	5.4	0.1

Los minerales son elementos o compuestos químicos que existen dentro de la corteza de la Tierra, son inorgánicos con una composición química definida y que en forma general se encuentran en forma cristalina. La mayoría de los minerales se hayan en la naturaleza en forma sólida (calcita, cuarzo, mica, etc.) pero existen también en forma líquida, como el petróleo y el mercurio, y has-

ta gaseosa como el gas carbónico, el anhídrido sulfuroso y el sulfuro de hidrógeno.

A los minerales se les ha dividido en dos grupos: elementos nativos y minerales compuestos. Los nativos son aquellos minerales que están formados por un solo elemento como el oro, plata y cobre; los compuestos están formados por la combinación de dos o más elementos químicos unidos entre sí por su afinidad química.

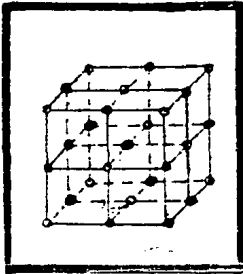


Fig. 1

En que se muestra la ordenación de los átomos de la sal común (NaCl)

De acuerdo con su composición química un mineral puede expresarse por medio de una fórmula, en la cual cada elemento está representado por un símbolo que a su vez se deriva de un nombre latín, o inglés; así a la plata se le representa con el símbolo Ag₂S para indicar la relación existente entre la plata con símbolo Ag y el azufre S. Otros elementos se representan con la primera letra de su nombre; así C para designar al carbono, H para el hidrógeno, O para oxígeno, o en otros casos se usan dos letras como Ca para el calcio, Al para el aluminio, Na para el sodio y Mg para el magnesio, Si para el sílice. Los números que se observan junto a las letras significan la proporción en la cual cada elemento está incluido en el compuesto.

Cada uno de los minerales tiene una forma cristalina propia que depende de la composición química y de la estructura de la materia de que se compone el mineral; es por eso que los minerales pueden presentarse en forma poliédrica, o sea formas angulares lisas que se conocen bajo el nombre de cristales. Los planos que limitan a los cristales se llaman caras o facetas y están relacionados con la estructura atómica interna del mineral, el tamaño de las caras depende de la frecuencia de los átomos en los planos. La línea de intersección de los planos se llama arista y los puntos de intersección de éstas se llaman vértices.

Para poder identificar a los minerales es necesario conocer su forma cristalina, conociéndose actualmente unas 32 clases agrupadas en seis sistemas compatibles con las leyes cristalográficas, en donde cada uno comprende a los cristales o formas por cuya cruz axial puede pasar igual número de planos de simetría. Plano de simetría es el plano que divide al cristal en dos partes iguales de situación opuesta, de modo que cada una es la imagen de la otra reflejada en el espejo.

Por el grado de simetría se distinguen seis sistemas cristalinos:

1. Sistema regular isométrico o cúbico
2. Sistema hexagonal
3. Sistema tetragonal
4. Sistema rómbico
5. Sistema monoclinico
6. Sistema triclinico

Las leyes cristalográficas se resumen en dos: 1) Una sustancia cristalina siempre cristaliza en formas peculiares a sí misma y 2) la ley de la constancia del ángulo según la cual las caras de los cristales de una sustancia determinada siempre forman intersecciones según ángulos peculiares a dicha constancia.

De la observación por su grado de simetría, el triclinico tiene el menor grado y el cúbico el mayor.

El origen de los minerales es diverso y complejo. Está íntimamente ligado a fenómenos magmáticos tales como el ascenso de masas de magma hacia la superficie o, en otros casos, a la presencia de gases o vapores producto del desprendimiento de los magmas fundidos que tienen disueltos a los minerales, y en un tercer caso a la presencia de agua caliente que por cristalización o precipitación acuosa al enfriarse en su camino hacia la superficie va rellenando a las grietas o cavidades de las rocas por donde pasa y así se forman las vetas, filones y otras clases de criaderos.

En el origen de los minerales intervienen tres elementos químicos importantes, como son: el azufre, el arsénico y el antimonio; por este motivo estos minerales son conocidos popularmente como mineralizadores y como ejemplo diremos que la combinación del azufre con otros elementos como el oro, plata, zinc, fierro, etc., dará formación a muchos de los sulfuros simples o compuestos.

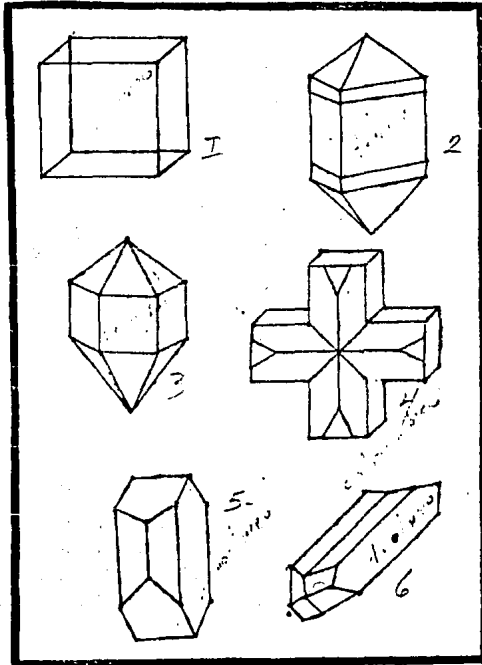


Fig. 2. Corresponde a las 6 formas o sistemas cristalinos:

1. Isométrico
2. Tetragonal
3. Hexagonal
4. Ortorómbico
5. Monoclínico
6. Triclínico

Como ejemplo del caso anterior, cuando se trata de las masas magmáticas que ascienden, éstas muchas veces quedan cerca de la superficie formando enormes masas o intrusiones que dan origen al granito o pegmatitas; en caso que salga el magma, éste va a formar el basalto principalmente, o andesitas.

Cuando los minerales son producidos por vapores originan, por gases volcánicos, azufre en las solfataras o turmalina, topacio u otros, y cuando interviene el agua caliente termal se

produce la galena, blenda, cinabrio o baritina.

A temperatura normal el agua puede formar, por evaporación, cloruro de sodio, calcita, dolomita, yeso y otros carbonatos.

Minerales comunes en las rocas

ANFIBOLES	Hornblenda	$\text{Ca}(\text{Mg Fe})_4 \text{Al}(\text{O.H})_2$
CARBONATOS	Calcita (Carbonato de Calcio)	CaCO_3
	Siderita (Carbonato de Hierro)	FeCO_3
	Dolomita (Carbonato de Magnesio)	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
FELDESPATOS	Ortoclasa	Or, $\text{Si}_3 \text{O}_8 \text{KAL}$
	Plagioclasa Albita	$\text{NaAl Si}_3\text{O}_8$
	Anortita	$\text{Ca Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$
HALUROS	Halita	NaCl
	Fluorita	CaF_2
MICAS	Moscovita (mica blanca)	$\text{KAL } 2(\text{OH})_2 \text{ ALSi}_3\text{O}_2$
	Biótita (mica negra)	$\text{K}(\text{Mg, Fe})_3 (\text{OH})_2 \text{ ALSi}_3$
	Clorita (mica verde)	
OXIDOS	Hematita (óxido de hierro)	Fe_2O_3
		$\text{Fe}(\text{FeO}_2)_2$
	Magnetita	éste generalmente va asociado a la ilmenita
		FeO Ti O_2 en los basaltos
	Limonita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
(óxido de sílice)	Cuarzo	SiO_2
PIROXENOS	Augita	$\text{Ca}(\text{Mg, Fe})(\text{Si}_2\text{O}_6)$
SULFUROS	Pirita	(Sulfuro de hierro) Fe S_2
	Galena	(Sulfuro de plomo) PbS
	Blenda	(Sulfuro de zinc) ZnS
SULFATOS	Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	Anhidrita	CaSO_4
	Barita (sulfato de bario)	Ba SO_4
	Gipsita (Sulfato de calcio)	
	Apatita (fosfato de calcio)	Ca_5

Identificación de los minerales por su aspecto físico.

La mejor manera para distinguir a los minerales es utilizando el método químico; sin embargo existe una gran dificultad, ya que es necesario un laboratorio que contenga todos los instrumentos y medios para un buen análisis además de un gran conocimiento teórico y práctico de quien los analiza y no solo eso, sino que existan minerales con estructura compleja (Poliformos) que dificultan su análisis.

Muchas veces es más fácil identificar a los minerales atendiendo a sus propiedades físicas, y sólo se recurre al análisis químico como elemento de complementación.

Las propiedades físicas que más se utilizan para la identificación son:

- Dureza
- Color
- Raya
- Brillo
- Peso específico
- Forma cristalina
- Exfoliación
- Clivaje o fractura
- Tenacidad o elasticidad
- Sabor y solubilidad
- Radioactividad
- Magnetismo
- Fluorescencia

a) Dureza. Una forma de distinguir a un mineral es por su dureza, o sea su resistencia a ser rayado, aunque es un poco difícil de medir ya que influye la fuerza con que se raya y el objeto que se utiliza. Actualmente, para determinar la dureza de un mineral se utiliza el método o escala de MOHS, que analiza la dureza de unos y otros minerales.

Esta escala consta de 10 minerales comunes, en el cual el Talco es el más blando y el Diamante el más duro.

1. Talco
2. Yeso
3. Calcita
4. Fluorita

5. Apatita
6. Ortosa
7. Cuarzo
8. Topacio
9. Coridón
10. Diamante

En esta escala, el mineral que le sigue puede rayar al mineral que le antecede.

Un método sencillo es usar la UÑA que tiene una dureza de más o menos 2. Si ésta raya a todo objeto, la dureza estará entre 2 y 3. Una moneda de cobre tiene una dureza entre 4 y 5 por lo tanto sólo podrá rayar a ese grado, un cuchillo tiene una dureza entre 5 y 6 y una lima de 6, por lo tanto dentro de esos límites estrechos se podrá probar. Es importante hacer notar que dos sustancias de la misma dureza se pueden rayar mutuamente.

b) Color. Todos los minerales presentan un color determinado, sin embargo el color original cambia debido a sustancias ajenas a su composición por lo que no es muy recomendable el uso de color para distinguirlo, pero realmente es muy común usar el color para distinguirlos por la manera fácil de hacerlo; algunos minerales no siempre cambian de color, caracterizándose por su tonalidad, como ejemplo el oro siempre será amarillo, el blanco de la plata, el gris del plomo, el grafito de color gris, la calcopirita de amarillo brillante, la piritita de color latón pálido, la azurita es azul, la malaquita verde, el amarillo del azufre y el blanco de la sal.

Los colores en los minerales cambian debido a la presencia de óxidos de otros minerales, como sucede con la turmalina que puede ser azul, rosa, verde; la blenda puede ser amarilla o azulada según el contenido de sales de hierro; la fluorita siempre es incolora y puede ser morada o verde; en otros casos existen minerales transparentes o traslúcidos como el yeso, la silvina, la baltita, la calcita, la anhidrita, la dolomita, la fluorita, etc.

c) Raya o raspadura. Se ha observado que el color de un mineral es muy diferente cuando éste se raspa o se pulveriza. Este método consiste en frotar una muestra de mineral contra un pedazo de porcelana no vidriada o deslustrada (Placa para rayar o de raspadura) entonces puede dejar una raya parecida a la marca de un lápiz; esta marca está compuesta de metal pulverizado y el color de este mineral se conoce como la raya del mineral. Cuando es blanco

se dice que no tiene raya. Generalmente la raya es de color diferente al color del mineral sin rayar.

d) Brillo. Es la forma como un mineral refleja la luz. Hay dos tipos de brillos: metálicos y no metálicos. El metálico esta dado para el brillo fuerte (brillante) como el oro, la plata, plomo, mercurio, acero, etc. A los que no tienen brillo metálico se les subclasifica en:

VITREO	Vidrioso. Cristalino, cuarzo, topacio
ADAMANTINO	Adiamantino. Brillo brillante, lustroso como el diamante
RESINOSO	Brillo como la resina
CEREO	Grasoso como una superficie aceitosa. <u>nefelina</u>
PERLINO	Anacarado como la madre perla
MATE	Apagado o térreo
	Color opaco, sucio como la arcilla

e) Peso especifico. Es un método difícil de hacer. Consiste en pasar una sustancia X por el volumen igual de agua, o sea que se determina pesando la sustancia en el aire y el agua. Esto se debe a que el peso relativo de un mineral es igual a su peso específico.

Para determinar la gravedad específica de un mineral, primero se pesa al aire sobre una balanza, se le baja en un depósito de agua dulce y se pesa en el agua. Por lo tanto la gravedad específica es igual al peso del aire dividido por la pérdida de peso en el agua; luego se puede comparar con el peso de otros minerales para poder identificar el mineral.

Como ejemplo utilizaremos al oro, oro que, teniendo un peso específico de 19, o sea 19 veces más pesado que el agua o la plata en donde se dice que tiene un peso específico 8.5, o sea que pesa 8.5 veces más que el agua.

f) Forma cristalina. Por este medio, utilizando un microscopio o análisis con rayos X, se basa en que todas las sustancias que forman cristales, lo hacen en forma de los seis sistemas cristalinos.

O sea que los minerales aparecen ya sea cristalizados o amorfos; si están cristalizados presentan caras planas lisas dispuestas simétricamente unas con respecto a otras en sentido opuesto, y cuando no presentan cristalización se dice que son amorfas, siendo éstas pocas; se presentan también como agregados columnares, fibrosos, terrosos o arriñonados.

Cruero. Todos los minerales tienen límites elásticos y plásticos; si son forzados más allá de estos límites, se rompen presentándose una fractura, pero cuando se rompen en razón con la estructura se dice que muestran Clivaje. El rompimiento en clivaje es consecuencia del arreglo interno de los átomos y representan las direcciones en que las ligaduras atómicas son más débiles.

Los minerales pueden tener una o más direcciones de clivaje. En realidad, de manera simple, diremos que todos los minerales se fracturan de manera distinta y si conocemos cómo se rompen podremos identificar al mineral.

Existen muchos tipos de fractura; ejemplo:

- Concoidea Es típica del vidrio, cuarzo y obsidiana
- Astillada o fibrosa Son astillas que quedan en la zona de fractura.
- Medeada Por tener cortes ásperos como el cobre y la plata.
- Lisa De paredes iguales planas

Tenacidad o elasticidad. Es la capacidad que tiene un mineral para soportar o resistir un desgarramiento o rompimiento. Se clasifican en:

- Quebradizo Cuando puede ser fácilmente roto o pulverizado como la galena o el azufre.
- Elastico Es la capacidad de doblarse sin quebrarse, como la mica.
- Flexible Que el mineral se podrá doblar, sin embargo, no regresará a su forma, ejemplo el plomo.

Sectil Que el mineral puede cortarse fácilmente, como el yeso y el talco.

Maleable Se puede convertir en hojas de poco espesor, como el estaño y la plata.

Dúctil Que tenga la capacidad de estirarse hasta convertirse en alambre.

Sabor y solubilidad. Se puede determinar siempre y cuando se pruebe con la lengua. Cuando es soluble tendrá la impresión de un terrón de azúcar y será insoluble la de un pedazo de vidrio.

También se puede probar con el ácido clorhídrico diluido que hace que reaccione la calcita produciendo efervescencia, en la Dolomita es necesario que esté pulverizada.

Para el sistema radiactivo es necesario el aparato Geyger, para el magnético un imán o luz ultravioleta para la fosforescencia.

CLASIFICACION DE LOS MINERALES MAS COMUNES

La mayor parte de los geólogos y geógrafos del mundo utilizan la clasificación de P. Groth, caracterizándose porque agrupa a los minerales formando una sola clase con los metales y metaloides libres sin combinarlos con otros metaloides o ácidos.

Las diez clases son:

1. ELEMENTOS O CUERPOS SIMPLES: Bismuto, cobre, diamante, grafito, mercurio, oro, plata, platino.
2. SULFUROS ARSENICALES Y SULFOSALES. Blenda, cinabrio, galena, marcasita, oropimente y rejalgar.
3. MOLIBDENO U OXIDOS. Bauxita, casiterita, cuarzo, circón, corindon, limonita, oligisto, ópalo y pirotusita.
4. CLORUROS Y FLORUROS. Fluorita y sal gema.

5. NITRATOS Y CARBONATOS. Aragonita, calcita, cerusita, dolomita, malaquita, nitrato de sodio, siderita, smithsonita.
 6. SULFATOS Y CROMATOS. Alunita, anglesita, anhidrita, barita, celestina, scheelita, yeso y wulframita.
 7. ALUMINATOS Y FERRATOS. Cromita, espinela y magnetita
 8. FOSFATOS. Apatita, fosforita, guano y turquesa
 9. SILICATOS. Albita, anortita, biotita, caolinita, clorita, granate, labrador, mica, muscovita, oligoclasa, ortoclasa, plagioclasa, topacio y turmalina.
- SILICATOS MAGNESICOS. Anfiboles, augita, olivino piroxenos, sepiolita, serpentina y talco.
10. MINERALES DE ORIGEN ORGANICO. Ambar, antracita, asfalto, lignito, ozoquerita, petróleo y turba.

CLASE I. ELEMENTOS O CUERPOS SIMPLES.

BISMUTO.

(Bi). En la mayoría de las rocas se encuentra asociado a otros minerales, tiene un color blanco plata, se usa para fusibles, nitrato de bismuto y en sustitución del plomo.

COBRE.

Cu (Cuprum). Se localiza en forma de masas, placas, filamentos o cubitos. Es de color rojizo parecido al latón o al oro, tiene lustre metálico pero se altera fácilmente tomando una coloración parduzca. Es muy dúctil y maleable. Se funde a 1 100°C. Se encuentra ampliamente asociado con sulfuros y óxidos de cobre lo que forma un gran número de compuestos al unirse con otros, ejemplo: calcopirita, calcocita, azurita, bornita, tetraedrita, cuprita y malaquita.

Calcopirita. Se le conoce también como pirita de cobre aunque es más oscura y blanda que la pirita. Es un compuesto de

cobre, fierro y azufre. Pesa 4.2 veces más que el agua; su dureza es 3.5. Se encuentra en vetas junto con el oro y la plata, en forma de masas irregulares y compactas. El color es amarillo latón o amarillo verdoso, por lo que también se le conoce como bronce amarillo. Contiene un 35.5 % de cobre usándose principalmente para la obtención de caparros azul (sulfato de cobre).

Calcocita. (Cu₂S). Es una combinación de cobre y azufre con una densidad de 5.5 a 5.7; tiene una dureza de 3.5. Tiene un gran contenido de cobre, 79.8 %, por lo que se aprecia bastante para la obtención de cobre. Se encuentra en masas compactas de color gris oscuro.

Azurita. (2CuCO₃) Cu(OH)₂. Es un carbonato hidratado de cobre. De un color azul intenso transparente, quebradizo, lustre de vidrio. Se encuentra formando estalactitas o es compacto terroso. Pesa 3.7 veces más que el agua.

Se encuentra la mayor parte con la malaquita, conteniendo 46.0 % de cobre. Se utiliza para preparar sulfato de cobre.

Malaquita. (CuCO₃) Cu(OH)₂. Es un carbonato hidratado de cobre, tiene una densidad de 4.0 o sea cuatro veces más que el agua y una dureza de 3.5. Su color es verde. Se presenta en vetas minerales en forma de columnas, estalactitas, o en masas concrecionadas. Se usa como mineral de cobre por la facilidad con que se pule, se usa también en joyería como adorno y en la fabricación de pintura. Contiene 40.1 % de cobre.

Bornita. (5CuFeS₄). Es un sulfuro de cobre y fierro. Se le conoce también como "pecho de paloma". Pesa 5.4 y su dureza es 3. Se encuentra en forma de láminas o masas compactas. Es de color amarillo bronce u oro viejo. Contiene 62.0 de cobre.

Tetraedrita. (4Cu₂S.Sb₂S₃). Es una mezcla de cobre, antimonio y azufre. Se presenta en forma de masas compactas y granulares. Se le conoce como cobre gris por su color gris opaco. Tiene 52.1 % de cobre pero suele venir acompañado de plata, mercurio o zinc por lo que muchas veces se utiliza para extraer a estos minerales.

Cuprita (Cu₂O). Es un óxido de cobre, densidad 5.8 a 6. Dureza 3.5. Contiene bastante cobre, aproximadamente 88.7 %, se halla en forma de masas, agregados granulares o en forma terrosa. Su color

es adamantino rojizo, por el contenido de malaquita toma la tonalidad verdosa.

DIAMANTE

Es un carbono puro, transparente, de brillo diamantino, de forma esferoidal y cristales del sistema cúbico, tiene una dureza de 10 y un peso específico de 3.52. Por lo general es transparente y se caracteriza por su dispersión cromática que hace que brille.

Existe la variedad transparente que es la piedra preciosa; otra es el Bort que sirve para cortar vidrio o para pulir a los mismos diamantes, cuando se les talla se llaman brillantes. Existe una variedad más corriente de color negro, o sea los diamantes carbonados, son de gran dureza por lo que se usan para las puntas de los taladros en perforación de rocas. Se encuentran en la naturaleza en rocas ígneas, en rocas sedimentarias (gravas en depósitos aluviales de algunos ríos en Sur Africa) en brechas eruptivas llamadas Kimberlita, en chimeneas volcánicas diamantíferas.

En el mundo, las minas principales se localizan en tierras orientales, en Minas Gerais y Bahía en Brasil, Borneo y Sur Africa, de donde proviene el famoso diamante que forma parte de la corona de la reina de Inglaterra (Cullinan) de 3.024 kilates, también existen minas de diamantes en el Congo, Angola y Australia. En México no se han encontrado diamantes.

GRAFITO

Es un carbón que seguramente se produjo por un fenómeno de metamorfismo; se localiza en rocas metamórficas, sedimentarias en forma de vetas, masas compactas, masas terrosas, escamosas, laminares. Su color es gris acero o negro y lustre metálico, muy ligero, infusible y de poca dureza, graso al tacto, mancha al tocarlo. Tiene una densidad de 1.9 a 2.2. Sistema hexagonal. El grafito es mal conductor de la electricidad y por lo tanto no se usa en aparatos eléctricos; se usa para crisoles, lapices, lubricantes, pinturas, etc.

En México se explota en Sonora, Oaxaca, Hidalgo, Coahuila, México, Jalisco y Baja California.

MERCURIO

(Hg). Se encuentra de manera líquida y a una temperatura

de -39 se convierte en cristal o sea se solidifica. Su color es blanco estaño con brillo metálico, es líquido y es el más pesado y venenoso, pesa 13.6 con una escama de yodo da origen al yoduro de mercurio con un color amarillo rojizo.

Se usa en aparatos de medición, en espejos y tiene gran utilidad en el sistema de amalgamación ya que sirve para separar las partículas de oro y también se usa en la medicina.

La mena más importante de mercurio llamada (Azoque) es el Cinabrio o sulfuro de mercurio (HgS), se localiza en rocas volcánicas o sedimentarias cerca de zonas calientes.

Su densidad es 8.0 y su dureza 2.5. Su color es rojo oscuro parduzco. En las variedades compactas y terrosas es opaco y su lustre es semimetálico.

ORO

Composición química Au. Dureza 2.5. El oro es uno de los metales más pesados, pues comparado con el agua, su peso es de 15 a 19.5 veces superior. Se presenta en forma de placas, pepitas, hilos delgados, láminas, escamas o granos gruesos. O sea que se presenta en forma de vetas o de placeres. Se encuentra en forma nativa, es decir sin formar compuestos; en vetas de cuarzo o en las minas. Se extrae de ciertos minerales con que se asocia pero sin combinarse con ellos, llamándose a estos minerales "auríferos" por contener este mineral.

Su color es amarillo brillante, siendo además dúctil y manejable de tal manera que puede cortarse con una navaja. Suele extraerse junto con la platá, cobre, pirita y calcopirita, hematita y otros.

Se emplea altamente en joyas, alhajas, respaldo de la moneda internacional y en la práctica de tapado de dientes.

PLATA

Se encuentra en forma nativa o pura, pero la mayor parte se halla combinada con otros elementos para formar un gran número de minerales. Se localiza en forma de placas o láminas. Su color es blanco metálico siendo ésta maleable por lo que se corta fácilmente. Su peso específico es 10.5.

La combinación de azufre, arsénico y antimonio originan varios tipos de plata, a saber: Argentita, proustita, ceragirita, pirigarita, yodirita y bromirita.

Argentita. Es una combinación de plata y azufre (Ag_2S). Es un sulfuro de plata. Se encuentra en masas o en hilos, es de color gris poco brillante, se deja cortar con la navaja como el plomo. De este mineral se obtiene la mayor parte de la plata pues contiene 87.1 de este mineral. Es el mineral más importante de donde se extrae la mayor parte de la plata, además por la distribución de los criaderos. En México la existencia de plata ha asombrado a propios y extraños desde los primeros días de la Colonia. Se encuentra en la mayoría de los Estados de la República y en épocas de la Colonia fue tal su producción que sólo bastaba ponerle la efigie de un rey español para que circulara como moneda. La mayoría de los yacimientos metalíferos parece ser que datan de fines del Mioceno o principios del Plioceno a lo largo de la Sierra Madre Occidental.

Proustita. Se le conoce como "rosicler claro" formado por la combinación de plata, arsénico y azufre, por lo tanto es un sulfuroarsénico de plata $3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$. Este mineral contiene un 65.4 % de plata por lo que también es altamente apreciado para la obtención de la plata, su peso específico es 5.5. En algunos casos se le llega a llamar plata roja por el color rojo que toman los fragmentos al rasparse o quebrarse.

Ceragirita. Es un cloruro de plata AgCl con alto contenido de plata de más del 75.3 %, por lo que es muy apreciada, es resinoso, su color es gris aperlado. Se corta fácilmente con cualquier navaja como si fuera cera.

Pirigarita. Se le conoce como "rosicler oscuro" formándose de plata, antimonio y azufre $3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$ por lo tanto es un sulfuroantimonio de plata. Contiene 60.0 % de plata, es opaca grisácea, pero su lustre es adamantino.

Yodirita. Es un compuesto de plata y de yodo, conociéndosele como plata amarilla AgI , contiene un 46.0 % de plata, se encuentra en forma de escamas. Se corta fácilmente como la ceragirita.

Bromirita. Es un bromuro de plata AgBr , debido al contenido de bromuro toma un ligero color verdoso amarillento. Se encuentra generalmente junto con la ceragirita y la yodirita.

Generalmente la plata se distribuye en la misma forma que el oro en yacimientos o filones. El color es blanco pero con el aire se vuelve blanco u opaco o toma cierta coloración amarilla o rojiza. Se funde a los 960°C, le atacan todos los ácidos anergéticos y se reconoce con ácido nítrico y echándole unas gotitas de ácido clorhídrico. Se usa para medicinas, joyería, aparatos científicos, fotografía y electricidad.

PLATINO

(Px). Se encuentra en forma de granos, láminas y líneas como hilos, con un color plata e intenso brillo metálico. Tiene la particularidad de que no es atacado por los ácidos. Es soluble en agua regia. Se localiza en placeres en rocas periódicas y en serpentinas debido a la alteración de las rocas.

CLASE 2. SULFUROS ARSENICALES Y SULFOSALES

A los sulfuros se les reconoce porque al calentarse desprenden gas sulfuroso. En las minas se presentan en filones y con otras rocas, ya sea en pequeñas cantidades o formando parte de rocas ígneas o metamórficas.

BLENDA

(ZnS). Es un sulfuro de zinc. Dureza 4.0 y densidad 5.5. Es un metal bastante común que se encuentra en forma parecida a la galena en masas compactas granudas o fibrosas, con otros sulfuros tales como la galena y pirita. El color es negro amarillento o pardo. Su lustre es adamantino y a veces resinoso. Se usa para preparar el latón y el bronce, pero es el mineral básico del zinc. También se le conoce como Esfalerita conteniendo un 67.1% de zinc. Se usa para monedas, pintura, imprenta y galvanización.

CINABRIO

(Sulfuro de mercurio) SHg. De este mineral se extrae el mercurio. Los yacimientos se encuentran en rocas sedimentarias; también existe en bolsones, en filones de fosforita, en nódulos fosfatados. La mayoría de los yacimientos se encuentran en rocas detríticas.

GALENA

(Sulfuro de plomo) SPb. Densidad 7.6 y dureza 2.5. Se

maño de canicas. Está formada por granos con capas concéntricas. Se emplea para obtener aluminio y alambre.

CASITERITA

(SnO₂). Es un bióxido de estaño. El estaño se ha venido utilizando de manera abundante ya que sirve para ligarlo con otros metales como el cobre y el fierro. Su uso es muy variado desde la construcción de maquinaria hasta láminas para botes de conservas alimenticias o juguetes. El mineral más importante en la obtención del estaño es la casiterita. Su densidad es 7 y su dureza 7, siendo por lo tanto bastante duro. Tiene un color pardo rojizo oscuro pero puede ser gris o amarillento. Se localiza en masas compactas, vetas, placeres de terrenos graníticos como el oro y el platino, en muchas ocasiones se extrae de los lechos de los ríos en forma de riñones o racimos de uvas en forma esférica. Contiene hasta 78.0 % de estaño, por lo que es muy apreciado.

CUARZO

(Anhídrido silicio) SiO₂. Se presenta en masas cristalinas de grano fino y grueso. Tiene un valor variable desde el incoloro (cristal de roca), violáceo (amatista), amarillo (topacio), rojo (jacinto), negro (cuarzo ahumado), blanco (cuarzo lechoso). No le atacan los ácidos. Este mineral es el más abundante, localizándose de manera extensa sobre la corteza de la Tierra, forma parte de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas y, además, puede venir en combinación con otros minerales o ser único como sucede en las arenas, en la cuarcita, en filones, nódulos o geodas. En ciertos tipos de cuarzo existen impurezas de hierro o de manganeso, dándole a éste un color variado. Se usa para la fabricación de lentes, piedras preciosas y vidrio. Los ojos de gato se utilizan para la joyería.

Otras formas compactas son: Calcedonia, dividiéndose ésta en ágata, jaspe y silex; la ágata es una calcedonia con capas de diversos colores. El jaspe es de color verde veteado, amarillo, rojo o de otros colores, por lo que se usa en mosaicos u objetos de adorno; se parece al mármol con la única diferencia que no se raya ni efervesce con el ácido clorhídrico.

Silex, SiO₂. Dureza 7, peso 2.6. Se le conoce como peder-
nal o piedra de chispa. Es traslúcida, menos cristalina, amarillenta o gris clara o negra. Si se le golpea produce chispa y un olor a ajo.

CIRCON

Dureza 7.5, densidad 4.7. $Zr(SiO_4)$. Es un bióxido de circonio y de silicio. Se encuentra en muchas rocas ígneas: granitos, sienitas, pegmatitas y en forma de inclusión en las biotitas; este mineral contiene torio radioactivo y es componente de pizarras cristalinas. Tiene una coloración amarillenta, gris o verde, brillo diamantino.

CORIDON

(Al_2O_3). Es un sesquióxido de aluminio. Peso 4, dureza 9, es uno de los minerales más duros de la naturaleza pero menos que el diamante, pues éste tiene dureza de 10. Se distingue porque se presenta en forma de cristales de brillo variable vítreo en las pegmatitas, gneis, esquistos, mármoles y dolomitas. El coridón tiene su color normal azul pardo. Cuando se encuentra en forma pura tiene muy bonitos colores y si los cristales son claros se originan hermosas piedras preciosas. El coridón de color transparente rojo recibe el nombre de rubí, de color azul da origen al zafiro, pero puede existir zafiro blanco, zafiro azul y zafiro asteria con radiaciones de rayos como si fuera una estrella, amarillo al topacio oriental, verde a la esmeralda en varios tonos y la violeta a la amatista. Se utiliza para joyería en donde sobresale el rubí, que puede ser más caro que el diamante. Cuando el coridón es de estructura laminar, opaco de color gris, se llama esmeril que se usa para pulir y desgastar a las piedras preciosas.

LIMONITA

($Fe_2O_3 \cdot H_2O$). Es un óxido de hierro hidratado conocido con el nombre de óxido amarillo. Su densidad es 5.0 y su dureza 5.5. Se presenta en forma de masas compactas, estalactitas, concreciones, riñones o masas terrosas. Su color es amarillento o ligeramente café. Contiene 85.7 % de metal y es por lo tanto uno de los minerales en donde se extrae abundante hierro.

OLIGISTO

(Fe_2O_3). Peso específico 5.3, dureza 5.5. Es un sesquióxido de hierro. Tiene un brillo metálico, su color es pardo rojizo o pardo oscuro casi negro. Se encuentra en masas compactas, terrosas, en rocas metamórficas y en material volcánico. Se usa para extraer hierro. Se le suele llamar hematita roja.

OPALO

Sílice hidratada. (SiO₂). Dureza 5.5, peso 2.3. Tiene una superficie redondeada, transparente u opaca de aspecto gelatinoso endurecida. Tiene varios colores. Si es incolora se llama Hialita, rojo amarillenta, ópalo de fuego, blanco grisáceo, ópalo noble. Cuando se encuentra dentro de zonas calientes como geysers da origen a la geyserrita. Se usa en joyería.

PIROTUSITA

(MnO₂). Bióxido de manganeso. Peso 4.7, dureza 2.5. Es uno de los minerales de donde se extrae el manganeso ya que contiene hasta 64.0 % de manganeso. Tiene un color gris acero o negro azulado o negro pardo; mancha las manos de negros y se presenta en costras, masas compactas, concrecionadas, columnares o fibrosas. Es el mineral donde existe más manganeso.

CLASE 4. CLORUROS Y FLUORUROS

Son combinaciones de cloro y flúor con los metales. Los cloruros son solubles en el agua, los fluoruros son insolubles en el agua.

FLUORITA

(Fluoruro cálcico) F12Ca. Dureza 4, peso de 3 a 3.2. Se presenta en filones formando Ganga en las rocas ígneas. Se usa para lentes o piedras preciosas falsas, es de color violeta, amarillo, verde o blanco. El mineral es fluorescente.

SAL GEMA

(Halita). ClNa. Dureza 2.5, peso de 2.1 a 2.2. Sal de piedra, sal común, cloruro de sodio. Es incolora o con ligeras tonalidades azuladas o amarillentas. Se le reconoce por el sabor salado. Se encuentra dentro de rocas sedimentarias como el yeso o arcillas o disuelta en el agua de los mares; en algunas regiones se extrae por evaporación en las salinas. Se usa en la industria alimenticia y para la obtención del cloro, sosa y ácido clorhídrico.

Junto con la sal gema suelen venir la Silvina, dureza 2, peso 2. Es un cloruro de potasio, y la cornalita, que es un

cloruro doble de potasio y de magnesio que se usan para abonos y en la industria química.

CLASE 5. NITRATOS Y CARBONATOS

Son combinaciones de ácido nítrico con los metales. Se producen en zonas secas desérticas debido a la intensa evaporación.

ARAGONITA

Carbonato cálcico (CaCO_3). Dureza de 3.5 a 4, peso 2.9. Es un carbonato cálcico que se encuentra muy poco, aparece en algunas grietas, rocas volcánicas, fuentes termales o yacimientos metalúrgicos, se usa para los mismos fines que la calcita.

CALCITA

(CaCO_3). Es un carbonato de calcio. Peso específico 2.7, dureza de 1 a 3. Es uno de los minerales más abundantes en el Mundo en rocas sedimentarias o metamórficas, es el constituyente principal de las calizas. Tiene un color en general blanco, pero debido a algunas impurezas llega a ser gris, amarillo o violeta y hasta verde. Se encuentra ampliamente extendido formando filones, estalactitas y estalagmitas, masas compactas, fibrosa o cristalizada, cuando llega a estar de esta última manera, contiene hasta 57 % de cal y 43 % de dióxido de carbono, pero en general la mayoría de las calizas se presentan con gran cantidad de impurezas como arenas, arcillas, óxidos, hierro y sílice.

Es altamente efervescente si se le agrega una gota de ácido clorhídrico.

Las calizas se utilizan como material en la construcción, como fundente y para la elaboración de cal, cementos y fertilizantes.

CERUSITA

Carbonato de plomo (CO_3Pb). Se encuentra en masas compactas o terrosas. Es de color blanco o gris. Se explota para la obtención de plomo.

DOLOMITA

Carbonato cálcico magnésico (Mg,CaCO_3). Peso de 2.8 a 3,

dureza 4. Se encuentra en la misma forma y estructura que la caliza o junto con ésta y con otros minerales. Se distingue de la calcita porque es más dura y no produce efervescencia con el ácido clorhídrico.

Se usa en la construcción ya que muchos mármoles están formados por la dolomita y en la obtención de sales magnésicas o materiales resistentes al fuego.

MALAQUITA Y AZURITA

Carbonatos de cobre hidratados ($\text{CO}_3\text{Cu}\cdot\text{H}_2\text{O}$). Son cristales que aparecen en masas concrecionadas, la malaquita es de color verde y la azurita azul intenso. Se usa para objetos de adorno.

NITRATO DE SODIO

(NaNO_3). Es un nitrato de sodio. Peso 2.2, dureza de 1.5 a 2. Se encuentra en forma de capas, masas o incrustaciones. Es de color blanco o ligeramente amarillento o gris.

El uso de los nitratos hoy en día es de gran importancia principalmente para los fertilizantes, para la fabricación de explosivos, colorantes y ácido nítrico. Se le conoce también como caliche pero es un nitrato de sodio natural formando muchas veces capas de más de 3 m como sucede en el desierto de Atacama de Chile.

SIDERITA

Carbonato de Zinc. (CO_3Zn). Se encuentra en masas compactas en filones de blenda. Se usa para obtención de zinc.

SMITHSONITA

(ZnCO_3). Es un carbonato de zinc. Peso específico 4.3, dureza 5. De este metal se extrae la mayor parte del zinc. Se encuentra en forma de masas arriñonadas o como racimos de uvas. El color es incoloro o ligeramente amarillento con algunas tonalidades azules o verdes. Se encuentra con frecuencia asociado con otros metales como el cobre y manganeso. Se encuentra al norte de México.

CLASE 6. SULFATOS Y CROMATOS

Se les denomina así a aquellos minerales que contienen

azufre y oxígeno y algún otro elemento.

ALUNITA

Sulfato aluminico potásico $(SO_4)^4 (Al_2 HO)^6 K_2$. Se le conoce como piedra Alumbre.

Se encuentra en masas compactas en zonas volcánicas ya que es resultado de ácido sulfúrico sobre los feldespatos.

ANGLESITA

Sulfato de plomo (SO_4Pb) . Se encuentra en masas compactas, es transparente o ligeramente amarillento. Se produce por alteración de la galena.

ANHIDRITA

Sulfato cálcico anhidro (SO_4C) . Dureza de 3.5 a 4, peso 2.8. Se encuentra en masas fibrosas o compactas. Su composición química es similar al yeso, pero éste no contiene agua y es más duro. Se halla asociado con la sal en los domos salinos y al absorber agua se convierte en yeso. Se usa para la elaboración de cementos, fertilizantes o en la construcción.

BARITA

Sulfato bórico (SO_4Ba) . Dureza 2.5 a 3.5, peso 4.3 a 4.7. Se presenta en masas espáticas, laminares y compactas. Se suele encontrar cristalizada como ganga en filones de sulfuros metálicos. Se obtiene de él sales bóricas y se usa en pinturas.

CELESTINA

Sulfato de estroncio. (SO_4Sr) . Se usa para preparar las sales de estroncio.

SCHEELITA

Es un tungstato de calcio. Dureza 4.5 a 5, densidad de 6. Se encuentra en forma de hojas, láminas o masas granulares, tiene un color blanco amarillento o café verdoso. Contiene un 80.3 % de tungsteno por lo que es altamente apreciado.

El uso cada vez más variado del tungsteno ha hecho a este mineral muy importante, se usa como aleación con otros metales especialmente con el hierro, herramientas, focos, sales, armas, etc.

YESO

Sulfato cálcico hidratado ($\text{SO}_4\text{Ca}\cdot\text{H}_2\text{O}$). Dureza 1.5 a 2, peso 2.3. Se presenta en masas laminares u hojosas, espejuelos o compactas. El yeso es incoloro, salvo que tenga impurezas, por lo que puede tener algunas variedades amarillentas, tiene un perfecto clivaje de mica. Cuando se calienta a más de 120°C , pierde agua y toma un color blanco, llamado yeso cocido que con agua se hidrata y al secarse queda muy duro por lo que se emplea en la construcción. Una variedad de yeso es la Selenita, el Espato Lustroso y el Alabastro (yeso de roca).

La selenita es un yeso cristalizado que se encuentra en forma de láminas u hojas, es completamente transparente. El Espato lustroso tiene un lustre aperlado y la tercera variedad, el Alabastro es un yeso compacto de grano fino y de color blanco, también se le conoce como yeso de roca.

WOLFRAMITA

(Wo Fe, Mn). Es un Wolframato de hierro y manganeso. Dureza de 5 a 5.5, densidad 7.5. El tungsteno se extrae principalmente de dos minerales de la wolframita y de la Scheelita, la wolframita se encuentra cristalizada u hojosa o en forma de láminas. Es de color gris oscuro opaco con un contenido de 76.3 %.

CLASE 7. ALUMINATOS Y FERRATOS

CROMITA

Oxido ferroso crómico ($\text{FeO Cr}_2\text{O}_3$). Se encuentra en masas compactas y granudas de color negro, en rocas serpentinas, usándose para la elaboración de sales de cromo o en aceros cromados.

ESPINELA (Rubí)

Aluminato magnésico ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{Mg}$). Se presenta en forma de cristales (octaedros), si es de color rojo y transparente se llama Rubí, si es rosado (rubidalaje). Los rubíes se usan en joyería como piedras preciosas.

MAGNETITA

Es un óxido ferroso férrico o un ferrato ferroso. ($\text{FeO Fe}_2\text{O}_3$). Se presenta en masas compactas de un color negro metálico. Se conoce porque se comporta como un imán cuando queda expuesto al aire. Se encuentra en rocas ígneas y metamórficas. De éste se extrae el mejor hierro.

CLASE 5. FOSFATOS

APATITA

$\text{Ca}_5(\text{Cl}, \text{F})(\text{PO}_4)_3$. Dureza 5, peso específico 3.2. Es un fosfato cálcico. Tiene un color que puede ser amarillo, verde, blanco, violáceo, azul verdoso, rojo carne o transparente. Se encuentra en forma de cristales de gran tamaño, en masas granulares, compacta o en forma globular. Se utiliza para abono.

FOSFORITA

$(\text{Ca}_3 \text{P}_2\text{O}_8\text{Ca}) (\text{ClF})_2$. Es un Fluofosfato cálcico. Dureza 5, peso 3.2. Se encuentra en forma de filones y forma parte de algunas rocas sedimentarias e ígneas. El color puede ser verde, azulado, amarillo o gris. Se halla muy disperso en la corteza en variedades compactas o terrosas en forma de nódulos y concreciones esféricas. Se usa como mineral de fósforo y como abono.

GUANO

Es un producto de los desechos orgánicos de animales que se usa como fertilizante, encontrándose principalmente en las costas, islas o regiones costeras.

TURQUESA

Es un ortofosfato alúmico hidratado. Dureza 6, peso específico 2.5. Se encuentra en forma de masas, incrustaciones o formando estalactitas. Tiene varios colores que van desde el verde o azulado o azul celeste, se usa como piedra preciosa de gran valor.

CLASE 9 . SILICATOS

Los miembros pertenecientes a este grupos son los más numerosos e importantes de todos, se producen por sales resultantes de la combinación de los ácidos ortos con otros metales. Ge-

neralmente se les divide en dos grandes grupos: aluminicos y magnésicos.

Silicatos aluminicos. Grupo feldespatos. Los minerales que pertenecen a este grupo son de los más numerosos y por lo tanto de gran importancia en la formación de las rocas. Se estima que el 65 % de la corteza de la Tierra está compuesta de estos elementos. Se encuentran en todas las rocas ígneas, en muchas rocas sedimentarias y metamórficas. Su color puede ser blanco, rosa, rojo, gris o verde. Son silicatos aluminicos con otros minerales como potasio, sodio y calcio, de tal manera que se les suele dividir en dos grupos principales: Grupo potásico (Ortoclasa) y grupo sódico (Plagioclasa). Se les llama ortoclasas porque el ángulo de exfoliación es de 90° y plagioclasa porque es menor de 85° . Cuando los feldespatos se alteran por la acción del agua y del aire dan origen a un silicato aluminico hidratado producen al (Caolín).

ORTOCLASA

Feldespato potásico ($KAlSi_3$). Peso 2.6. Es de color transparente o ligeramente blanco o gris. Su dureza es 6. Es el tipo más complicado de los feldespatos. Se localiza en rocas graníticas, sienitas, pórfidos, pegmatitas y gneis. Variedades de feldespatos que cristalizan a temperaturas más elevadas están: El sanadino, adularia y microlina.

PLAGIOCLASA

Feldespatos de cal sódico o sea feldespatos cálcicos ($CaAl_2Si_2O_8$) (Anortita) y a temperatura baja están los feldespatos sódicos ($NaAlSi_3$) (Albita). Se localiza en rocas ígneas y metamórficas. El color es de blanco hasta el amarillo. Las plagioclasas están formadas por seis especies que son mezclas isomorfas, albita, oligoclasa, labrador, bytownita y anortita.

Albita. Dureza 6 a 6.5, peso 2.6 $Na(AlSi_3O_8)$. Es un feldespato sódico que pertenece a las plagioclasas, de color blanco o incoloro. Aparece en Pegmatitas, granitos, etc.

Anortita. $Ca.(Al_2Si_2O_8)$. Peso 2.7, dureza 6.5. Es un feldespato cálcico. Tiene brillo vítreo, color gris o blanco amarillento. Se encuentra en forma de cristales o láminas. Es componente de rocas ultrabásicas profundas. Generalmente éstas se encuentran en rocas, granitos, gneis, pizarras, gabros, basalto y andesitas.

En algunas rocas, los feldespatos se entrelazan y forman la Pertita que es un feldespato sódico con gneis. Se emplea en joyería.

Biotita. Mica negra. Silicato aluminico. $K(MgFe)(AlSi_2O_{10})(OH)_2$, Dureza 2.5 a 3, peso 2.8 a 3.1. Magnésico férrico potásico. Se encuentra en rocas ígneas y metamórficas. Es más dura que la mica blanca, se presenta igual y se encuentra en rocas ígneas. Además de las formas más comunes, existe la Clorita o mica verde, la flogopita y la lepidolita. Actualmente la mica tiene gran uso industrial, ya que de ella se hacen aislantes en la electricidad y electrónica, vidrio, linternas, relojes, estufas, anteojos y material de ornato. Algunas micas no se queman por lo que se usan como resistencia en plantas o contra aparatos inflamables, empaques, tuberías de calor, trajes, guantes y hornos.

Caolinita. $A_4Al_2Si_2O_9$. Es un silicato aluminico hidratado. Dureza 1 a 2.5, peso específico 2.6. Su color es blanco cuando se encuentra puro, pero puede tener otros colores como amarillo, gris o rojizo. Se encuentra en forma de masas terrosas, porosas, harinosas o arcillas, o sea que es la forma más pura de las arcillas. Es producto de la disgregación de los feldespatos y de las micas. Se usa en cerámica, construcción y otros.

Clorita. Dureza de 2 a 2.5, peso de 2 a 2.8. Son minerales silicatos complejos de aluminio y magnesio y hierro. Se parecen a la mica por lo que son hojosas, flexibles y de color verde. Son más blandas que la mica y se rayan con la uña. Este mineral procede de la transformación de la biotita, anfíboles y piroxenos. Se localiza en granitos, sienitas, dioritas y en pórfidos.

Granate. Aluminicos férricos. $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$. Dureza 7.5, peso 4.3. Forma parte de rocas metamórficas, gneis, micacitas y pizarras cristalinas. Existen varios tipos de granates atendiendo a su composición. Se usa como piedra preciosa y como abrasivo. Tiene color carmesí.

Labrador. Se le conoce también como labradorita. Dureza 6, peso específico 2.7. Tiene un color gris o azul. Se localiza en rocas ígneas extrusivas. Se utiliza para la construcción.

Mica. Silicato aluminico con magnesio, fluor y hierro. Se encuentra en forma de láminas escamosas, flexibles y hojosas. Se separan fácilmente en láminas delgadas por lo que son transparentes. El color puede ir desde un blanco cristalino hasta las negras. Los dos tipos más importantes son la muscovita y la biotita.

Muscovita. Mica blanca. Silicato aluminico potásico. (KAL2) (ALSi3O10) (OH). Dureza 2 a 2.5, peso 2.8. Es incolora blanquesina o transparente, se encuentra en forma de escamas en granitos y pegmatitas en placas superpuestas muy delgadas. Se usa en materiales eléctricos, lámparas, pinturas, telas. Es transparente o verdosa.

Oligoclasa. Es un feldespato sódico calizo, se encuentra en composición en rocas ígneas extrusivas.

Topacio. Fluosilicato aluminico. Es de color amarillento, se encuentra en rocas graníticas y en pegmatita o gneis. Se emplea en joyería.

Turmalina. Borosilicato aluminico. Tiene coloración variable según su composición. En realidad actúa como un mineral neumatólitico (o sea la transformación de los minerales sobre rocas encajantes o sobre partes ya solidificadas).

SILICATOS MAGNESICOS

Anfiboles. Son muy difíciles de observar a simple vista, de tal manera que sólo se distinguen al microscopio, la variedad más conocida es la Hornblenda de color oscuro e importante constituyente de las rocas. Entre los anfiboles que sobresalen están la Uralita, actinotita y la tremolita.

Augita. Es un mineral que se encuentra frecuentemente en rocas ígneas extrusivas. Dureza 6.5, peso específico de 3.3 a 3.6. El color es negro o negro verdoso. Aparece formando pequeños cristales en las rocas ígneas y metamórficas.

Olivino. Silicato magnésico. $(MgFe)_2 SiO_4$. Dureza de 6.5 a 7, peso de 3.3 a 3.4. Es un mineral ferromagnésico por ser una mezcla de silicato magnésico y silicato férrico. Se presenta en granos cristalinos irregulares y en masas granudas, es de color verde. Cuando se hidrata da origen a la Serpentina. Se usa en joyería, se encuentra en rocas ígneas principalmente basalto y ga-

bros. Por erosión eolítica se transforma en serpentina.

Piroxenos. Son silicatos magnésicos cálcicos con mayor o menor cantidad de hierro o de aluminio. Son de color negro. Muy parecidos al olivino y a los anfíboles de tal manera que sólo se distinguen con el microscopio. La variedad más conocida es la Augita que es de color negro y se observa en forma de láminas delgadas.

GRUPO DE TALCO Y SERPENTINA

Son silicatos magnésicos hidratados. Las especies más importantes son el talco y la serpentina.

Sepiolita. Es otro talco que se llama espuma de mar. Se usa para hornos o productos refractarios. Se caracteriza porque es más untuosa que el simple talco.

Serpentina. Es igual que el talco pero con contenido de hierro ($H_4Mg_3Si_2O_9$). Dureza de 3 a 4, peso de 2.5 a 2.7. Aparece en masas compactas suaves y grasosas o en filones. Es de color oscuro con manchas verdes amarillentas. Tiene la particularidad que es muy blando, de tal forma que se puede pulir o dar forma como si se cortara una madera. Se debe a la descomposición de piroxenos rómbicos.

Se usa para objetos de cerámica o de adorno. Es producto de la alteración de la peridotita y dunitas. La serpentina fibrosa se llama amianto.

Talco. Silicato magnésico hidratado. ($3MgO$), dureza 1, peso 2.7. Se presenta en forma de masas compactas, hojosas y escamosas. Es sectil, de tacto untuoso, de color plateado o verde claro, o en otros casos café. La variedad blanca se llama Esteatita o jabón de sastre porque la usan los sastres para marcar las telas. Existen algunas variedades de talco, como el Ollar, agamatolita y la pagodita.

La primera se usa para objetos refractarios, la segunda para artesanías y la tercera es una mezcla de talco y arcilla.

Generalmente se usa para disminuir el rozamiento como desodorante y para resecar las manos en el entrenamiento, fabricación de papel, lubricante, objetos de arte y talco para tocador.

CLASE 10. MINERALES DE ORIGEN ORGANICO

Son compuestos orgánicos naturales que se producen por la mezcla de hidrocarburos y sales orgánicas; ejemplo, las resinas y ceras minerales, hidrocarburos y carbonos.

AMBAR

Es una resina mineral (C₁₀H₁₆). Dureza 2.5, peso específico 1.1. Es una resina fósil de color amarillo oro. Es transparente y se puede trabajar con las manos. Se descompone a los 150°C y arde a los 300°C. Se usa para adornos, perfumes y para barniz de ámbar.

TURBA

Es una masa formada por la acumulación de material vegetal en un depósito o estanque en donde el agua no puede escurrir. el material vegetal que cubre el estanque forma una gruesa capa de plantas que al morir se van depositando en el fondo, sobre éstas crecen otras plantas así que año tras año se van acumulando grandes capas de material vegetal hasta formar una masa esponjosa saturada de materia vegetal (turba y agua).

Dentro de la turbera se producen las condiciones de transformación de éste, encontrándose muchas veces dentro árboles, animales y hasta restos humanos casi completos o con alto grado de conservación.

En algunos pantanos (turberas) existen gases con un olor desagradable, pestilente, llamados gases de pantano, que no son más que gases de metano y amoniaco producto de la destrucción del material vegetal.

Parece ser que para que se forme una turba es necesario que exista una temperatura entre 6 a 12 grados centígrados, por lo que éstas se forman más en aguas tropicales que en templadas o frías, además es necesario que en la turbera no caigan rocas, arenas o lodos, porque echan a perder la turba.

En una turba existe 60 a 90 % de agua que se va perdiendo con el tiempo por evaporación. Existen varios tipos de turba: turba césped, formada de musgos y otras plantas, turba fibrosa formada de zacate, hojas o madera, turba breosa, es densa y dura, ca-

si en forma de roca.

La turba se usa como combustible.

En México existe en muchos lugares y especialmente en Xochimilco y Chalco.

LIGNITO

Es un carbón que sigue a la formación de la turba, generalmente de color oscuro castaño casi negro, tiene en algunos casos una estructura terrosa, conociéndose como carbón terroso o carbón pardo. En gran parte de éste todavía se observa su origen debido a las huellas de tejido leñoso y de las plantas que le formaron. Se encuentra en mantos compactos y terrosos con alto contenido de humedad y a gran profundidad. Cuando se expone al aire y al sol, se lamina rompiéndose rápidamente y se llega a encender, por lo que no se almacena por mucho tiempo. El lignito no prende con facilidad, desmoronándose. Una variedad de éste es el Azabache que se usa para la joyería.

ANTRACITA

Es el penúltimo tipo de carbón después del lignito, suele llamársele con el nombre de Carbón Mineral. Es de suponerse que éste se forma bajo las capas de lignito por lo que tiene mayor periodo de formación, a estos carbones se les llama bituminosos, siendo la carbonización más completa en la antracita.

Por su mayor grado de compactación en ésta no se encuentra ningún resto orgánico, por lo tanto la antracita es la más antigua de los combustibles. Arde a una alta temperatura con flama corta de color azul, no produce humo ni desprende gran cantidad de material volátil. Se encuentra en forma de mantos de gran espesor. La antracita es de color negro de lustre vítreo. Es sólida y dura.

Es de indicar que algunos geólogos dividen a este tipo de carbón en: Subbituminosos, Bituminosos, Semibituminosos, Semiantracita y Antracita. En realidad van correspondiendo a carbones que van alcanzando cierto grado de dureza hasta llegar a la antracita. Por ejemplo, el Subbituminoso es más duro que el lignito, es más carbón, o sea que su estructura no es leñosa, el Semibituminoso se caracteriza porque se extrae abundante gas, o sea que es rico en materias volátiles. El Bituminoso es rico en combustible, o sea

que están afectados por el intemperismo.

Los dos últimos, Semibituminosos y Semiantracita, son ya carbones duros aunque no tan duros como la antracita.

PETROLEO

Es producto de la descomposición de material orgánico tanto vegetal como animal, pero más de carácter animal, ya que en la era Mesozoica la existencia de enormes animales, al quedar éstos sepultados en los fondos de los lagos o mares, dieron origen a esos depósitos aceitosos producto de la descomposición de sus cuerpos. Actualmente el petróleo está formado por una mezcla de diversos hidrocarburos líquidos en donde están disueltos hidrocarburos gaseosos y sólidos. Generalmente se observa como un líquido aceitoso de color negro o negro verdoso. Es viscoso y su peso es de 0.6 a 0.9. Se localiza a diferentes profundidades, generalmente arriba de los 1 000 metros, pero se ha llegado a encontrar a más de 3 000 metros. Se halla en trampas petrolíferas en anticlinales, domos salinos, fallas, etc.

Generalmente se extrae por la misma presión natural del gas que existe sobre él o por el disuelto dentro del petróleo o por medio de bombas hasta vaciar el depósito. En casos muy especiales llega a la superficie brotando bajo la forma de manantial, produciendo con esto las chapopoterías.

El uso del petróleo es muy extenso, yendo desde el combustible hasta la extracción de él de materiales químicos: gasolina, aceites, parafina, nafta, bencina, azufre, etc.

En México los principales yacimientos se localizan a lo largo de las costas del Golfo de México, desde el Río Bravo hasta Campeche.

ASFALTO

Es un hidrocarburo oxidado del petróleo, de color negro o negro marrón, tiene brillo resinoso y olor bituminoso. Se presenta en estado pastoso o sólido en masas estratiformes. Es blando, ligero y se funde a temperatura baja, arde desprendiendo mucho humo.

Se usa en la pavimentación de las calles, caminos o ca-

reteras, en permeabilizantes, barnices, etc.

OZOQUERITA U OZOCERITA

(C_nH_{2n}). Es un hidrocarburo sólido no saturado. Peso específico 0.97. Es un producto sólido parecido a la cera, es de origen petrolífero. Tiene un color claro pero puede ser negro. Se funde fácilmente y es untuosa al tacto, se usa para obtener cera.

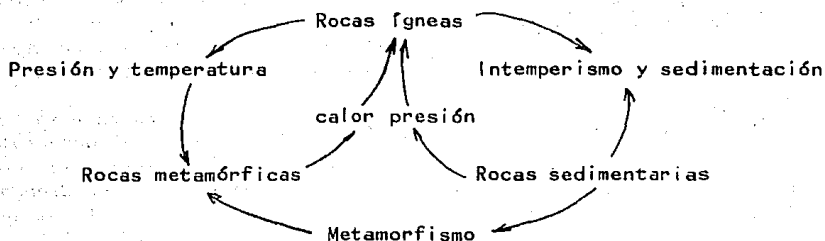
LAS ROCAS

3

Las rocas de la corteza de la Tierra, se clasifican por su origen en tres grandes grupos: Igneas, Sedimentarias y Metamórficas.

Las primeras y las terceras, se originan por fenómenos internos de la corteza de la Tierra y el segundo grupo es resultado de la desintegración y recomposición de las mismas, actuando para ello los agentes de Agradación y Degradación.

En realidad todas las rocas sufren un ciclo normal llamado ciclo de las rocas.



Si bien las rocas ígneas se formaron cuando la Tierra estaba incandescente, en la era Azoica, actualmente no nos vamos a referir a ese tipo de rocas, sino a aquellas que se han formado posteriormente, ya que junto con las más antiguas pueblan y constituyen el grupo más numeroso de todas las rocas.

El principio general, parte de la existencia de un depósito de rocas fundidas a gran temperatura (bolsa magmática) dentro de la corteza a una profundidad variable, pero que no vá (según criterio general) más allá de los 60 kilómetros de profundidad, límite interior de la corteza para algunos o hasta los 33 kilómetros por término medio, límite para otros.

En este caso no nos vamos a referir a la existencia de esas masas magmáticas, como dijimos anteriormente, ya que este punto lo veremos en volcanismo, aquí sólo trataremos lo que es pro-

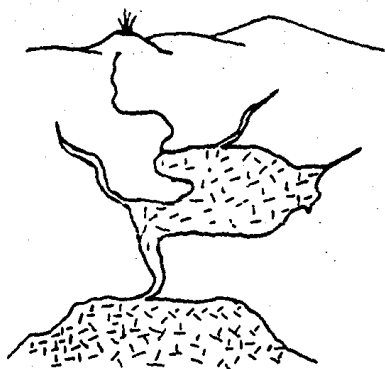


Fig. 3. Esquema de una intrusión.

tales que le forman aumentan paulatinamente de tamaño dependiendo esto del grado de enfriamientos, ya que en la superficie la existencia de un rápido enfriamiento causa la ruptura de los cristales y por lo tanto la sintetización de ellos. Conforme sucede el enfriamiento la masa se va consolidando hasta que ésta se convierte por fin en roca.

Para una mejor explicación de la manera de consolidación así como la diferenciación entre los diversos tipos de lavas, usaremos la explicación reactiva de Bowen.

Esta serie de reacciones de Bowen trata de explicar el por qué de la composición diferente de las rocas ígneas.

Es decir, que la serie de Bowen no es aplicable a todos los basaltos, pero sí a la mayoría de ellos.

Como podemos observar en el cuadro siguiente, el lado derecho es una serie continua en donde se producen todas las plagioclasas cálcicas, potásicas y sódicas.

pio de las rocas desde el punto de vista de su clasificación, composición y mecanismo.

Partiremos de la existencia de una masa magmática dentro de la corteza que obligada por los gases generados se abre camino hacia la superficie, quedando una parte a manera de intrusión y otra llega al exterior por grietas, cráteres o fisuras para transformarse en rocas bajo un lento o rápido enfriamiento, o sea por la cristalización del magma, de tal manera que las rocas ígneas quedan formadas por cristales entrelazados, sustancias vítreas o cristales empotrados en las mismas.

Conforme va disminuyendo la temperatura en el magma, el material comienza a solidificarse y los cris-

Primeros en
cristalizar

	Olivino	(anortita)Plagio- clasa Ca
Pesados	Piroxeno (Augita)	Ligeros
	Anfibol (Hornblenda)	
	Biotita	(albita)Plagio- clasa Na
	Feldespato potásico	ortoclasa
	Moscovita	
	Cuarzo	

Del lado izquierdo se encuentra la serie discontinua en donde los minerales se forman lentamente, de tal manera que un mineral pasa a ser otro, y éste otro, de tal forma que el olivino es el primero en formarse, simultáneamente se comienza a cristalizar la plagioclasa cálcica, al ir bajando la temperatura, el olivino reacciona y origina el piroxeno que comienza a cristalizar, a su vez la plagioclasa continua cristalizando pero va aumentando el contenido de sodio en ella y cuando todo el calcio ha sido remplazado por sodio, se origina la albita, de tal manera que Bowen consideró la formación de los feldespatos plagioclasa como una serie de reacciones contínuas.

Si el enfriamiento es normalmente lento, continúan las reacciones para formar el siguiente mineral y llegará a su fin cuando se hayan formado todos los minerales ferromagnesianos y todas las plagioclasas y entonces se inicia la serie potásico-moscovita-cuarzo.

De continuarse de manera normal la serie de Bowen todos los minerales llegarían a la formación de cuarzo, sin embargo, existen factores que hacen que los minerales queden y no lleguen a tal y a su vez originen que existan rocas ígneas con diferente

composición mineralógica.

Se podrá explicar que la lava ferromagnesiana tenga una temperatura de 1100°C, las ricas en silicio y aluminio 900° y las otras sólo 800°C.

Siguiendo con la composición mineralógica, a las rocas ígneas se les clasifica en:

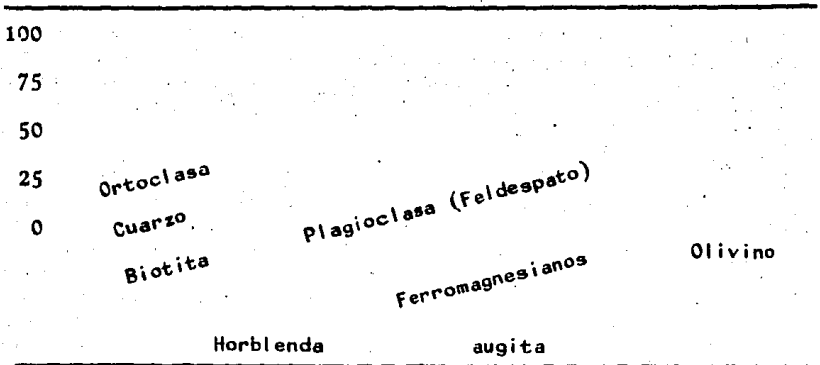
	<u>Acidas</u>	<u>Subácidas</u>	<u>Subasicas</u>	<u>Basicas</u>	<u>Ultrabasicas</u>
		<u>Intermedias</u>			
Sflice	80-65 %	65-60 %	60-52 %	52-45 %	45-30 %
Granito		Sienita	Diorita	Gabro	Peridotita
Cuarzo		Traquita	Andesita	Basalto	
Obsidiana					

Como podemos observar, las rocas ácidas son las que contienen abundante sflice, alúmina y álcali, son las más claras, ligeras y como vemos, tienen más cuarzo.

Las rocas básicas se caracterizan por ser ricas en hierro, magnesio y calcio, y por lo tanto no tienen cuarzo.

Las ultrabásicas se caracterizan por no contar con minerales félsicos, quedando por lo tanto las rocas que tienen una composición entre ácidas y las básicas, a éstas se les llama Intermedias. Contienen bastante olivino.

<u>Acidas</u>	<u>Intermedias</u>	<u>Básicas</u>	<u>Ultrabasicas</u>
Granito	Granodiorita	Gabro	
	Diorita		Peridotita
Riolita		Basalto	
	Andesitas		

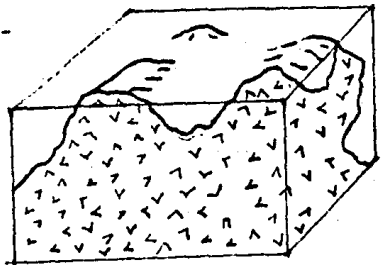


De manera general a las rocas ígneas las dividimos en dos grandes grupos, INTRUSIVAS, enfriadas bajo la superficie terrestre y EXTRUSIVAS que se enfriaron sobre la superficie.

Las rocas ígneas intrusivas, supuestamente se formaron por masas magmáticas que no llegaron al exterior y que se enfriaron lentamente dentro de la corteza, a estas rocas también se les llama Plutónicas en honor de Plutón, dios del Averno. Estas masas formaron gigantescas intrusiones algunas veces concordantes cuando el cuerpo intrusivo se encontraba paralelo al resto de los estratos de las rocas existentes o discontinuas cuando éste atravesaba a las rocas existentes más antiguas. Como ejemplo de estos cuerpos tenemos a los Batolitos, diques, placolitos y lacolitos.

Batolitos. Es el cuerpo intrusivo de mayor tamaño, tiene la forma general circular elíptico o irregular de más de 60 kilómetros de longitud y de anchura. Se ha observado que éstos aumentan de tamaño con la profundidad, cuando tienen un batolito menor se presenta un "Stock" o chimenea, que es menor que el batolito. La existencia propia del Batolito es difícil de explicar, la mayor parte de los geólogos, se encaminan a aceptar que conforme se iba formando un Batolito, las rocas invadidas por el magma se iban Granitizando por medio de los

Fig. 4 Esquema de un batolito.



fluidos calientes y ricos en gases, éstos llenaron a las rocas cambiando su composición hasta alcanzar un ultrametamorfismo y la transformación de magma granítica in situ de modo que se convirtieron en ígneas.

Diques

Son cuerpos intrusivos discordantes en forma de paredes o murallas, cuyo espesor puede ir desde unos cuantos centímetros hasta varios miles de metros. En general son más largos que anchos.

Fig. 5. Esquema de un dique



Se supone que se formaron cuando el magma ascendió por alguna fisura o grieta vertical abriendo y ensanchando dicha grieta y al enfriarse se consolidó formando una capa vertical que cortó a los planos de estratificación. Cuando esto sucede se dice que son transgresivas o discordantes.

En algunos casos el magma se puede abrir paso a lo largo de planos estratificados en donde queda, el resultado es un manto interestratificado, cuando las intrusiones

quedan paralelas al plano de la estratificación se les llama concordantes. En realidad se llaman diques a todas las fisuras rellenas de magma consolidada. Existen muchos tipos de diques pero los más típicos son los Diques de Crucero que son diques verticales limitados por planos paralelos. Atraviesan a las rocas circundantes en las que se encajan por varios kilómetros. La anchura de ellos puede ir desde unos cuantos centímetros hasta varios kilómetros.

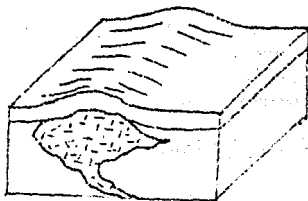
Los diques en general son de composición basáltica pero existen otros ricos en cuarzo, ortoclasa y moscovita. Son pues doleritas de grano fino. Es frecuente observar que los diques sobresalen y forman murallas debido a que son más resistentes a la erosión que las rocas (encajantes) y se presentan como una alineación prominente.

Lacolitos

Es un plutón macizo concordante. Se forma cuando el magma al tratar de salir empuja los estratos superficiales plegándose los en forma de domo, pero cuando el magma queda entre dos niveles de rocas preexistentes sin levantar, se forma un manto o placolito (sill). Tienen la forma de hongo o lenteja. Generalmente los lacolitos forman varios niveles de inyección, producto del magma que proviene de los batolitos. Teniendo varias formas como los lopolitos y facolitos. Los lopolitos tienen la forma general de lenteja cóncava.

Los facolitos son cuerpos intrusivos que quedan en forma de plegamiento, debido a que el magma se establece en zonas de baja presión o sea que se encuentran en las inflexiones de los pliegues.

Fig. 6 Esquema de un lacolito



Rocas ígneas intrusivas

Como lo vimos anteriormente las rocas de este tipo son resultado de un enfriamiento lento dentro de la corteza de la Tierra. Se presentan como constituyentes de las masas plutónicas, o sea en los batolitos, diques, mantos y lacolitos. Las rocas más comunes de estos son: Granito, Diorita, Gabro, Peridotita y Sienita.

Granito. Sin duda el tipo de roca más común de las intrusivas es el granito, es una roca de grano grueso, sin embargo, en algunos casos (granitos) aparecen cristales más grandes que la masa fundamental granuda, a esta textura se le llama (PORFÍDICA) y a los cristales más grandes que sobresalen de una masa común fina se les llama FENOCRISTALES. Parece ser que la existencia de cristales grandes dentro del granito se debe a que estos habrían crecido hasta tener un tamaño grande pero un enfriamiento rápido de magma dió origen a cristales más pequeños sobresaliendo por lo tanto los fenocristales. Al granito por estar formado por granos gruesos se le llama también de textura Holocristalina (holo-comple

tamente). Está formado de cuarzo, feldespatos, mica y otros minerales accesorios. El feldespato predominante es la ortoclasa (feldespato potásico), la mica es biotita o mica negra, o moscovita mica blanca.

Pórfidos graníticos. Son granitos que se originaron cerca de la superficie en donde se destacan los granos de feldespato sobre los de cuarzo.

Sienita.

Pertenece a los grupos de los subácidos, caracterizándose porque el cuarzo disminuye o desaparece, pero entonces la ortoclasa se convierte en el mineral esencial, le acompañan la hornblenda, augita o la biotita.

Diorita.

Se parece al granito y a la sienita por lo que a algunas variedades se les suele llamar Granodiorita, no tiene ortosa, por lo que están formadas de plagioclasas, biotita, hornblenda o augita con o sin cuarzo. Es una roca Subácida.

Gabros:

Pertenecen al grupo básico estando formados por plagioclasa básica (labradorita) y minerales como la hornblenda, piroxenos y olivino. El grupo ultrabásico (peridotita) se caracteriza por no tener feldespatos y abundantes ferromagnesianos, se divide en peridotita con olivino, piroxenita con piroxenos y hornblendita con anfíbol.

Cuando los cristales de gran tamaño (fenocristales) son abundantes en una roca constituyendo más del 25 %, a la roca se le llama (PORFIDO), así se habla de pórfido granítico y pórfido andesítico.

Peridotita . Es una roca ultrabásica de color negro o verdosa compuesta de peridoto y augita, si predomina el peridoto se llama dunita y si está formada de augita es piroxenita.

PEGMATITA

Es una roca de grano grueso cuya composición mineralógica es semejante a las anteriores o sea de feldespato potásico

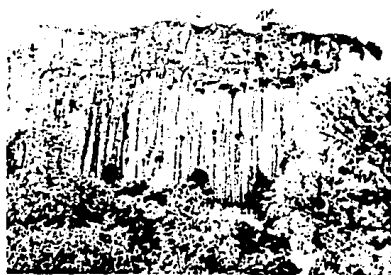
El basalto es un tipo de roca de gran difusión, que data desde las primeras edades de la Tierra hasta nuestros días; yace en mantos o grandes coladas de extensión considerable o en diques. Cuando la lava escurre sobre la superficie se va enfriando, creándose superficies porosas e irregulares (lava escoriaécea) y la lava que se va compactando en la parte más baja da origen a un basalto compacto.

La superficie porosa tiene forma irregular de espacios abiertos o porosos debido a que se formó de las burbujas gaseosas, así que aquellos basaltos que tienen esta estructura se dice que son basaltos vesiculares. Con el tiempo estas vesículas se rellenan con minerales de cuarzo o calcita y entonces se forman las amígdalas; a las rocas basálticas que se encuentren rellenas se les llama basalto amigdaloides. Un mineral frecuente en las amígdalas de los basaltos es la ágata que es una variedad de sílice con cristales de cuarzo o de amatista, formando un (Geoda) en el espacio vacío del centro de la amígdala.

Fig. 8. Los basaltos columnares son hermosos ejemplares en San Miguel Regla en donde se extienden de manera vertical y en muchos casos inclinados.



Algunos tipos de basalto tienen la particularidad que al enfriarse se contraen de tal forma, que la roca se rompe en largas columnas prismáticas, formando el basalto columnar.



Riolita.

(Liparita). Son rocas amarillas o ligeramente rojizas, es la roca más ácida de las extrusivas y por lo tanto está formada de cuarzo, biotita, hornblenda o augita. En general es de grano fino en la que cristales de biotita forman fenocristales.

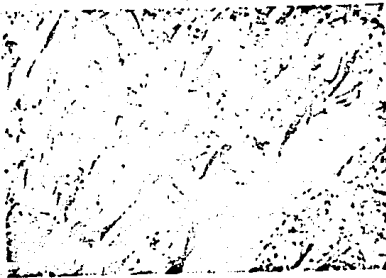
Traquita

Es de un color gris claro o gris oscuro, tiene una apariencia áspera porosa, está formada de ortoclasa, piroxeno, anfibol o biotita. Tiene poco cuarzo o carece de él. Se encuentra en cúpulas, diques, mantos o corrientes de poca extensión.

Andesitas

Pertenecen a la familia de las porfiritas, de color claro, áspera y porosa. Está formada de fenocristales de plagioclasa, augita, anfibol y mica, contiene también pasta microlítica de los mismos elementos, sin vidrio.

Fig. 9. Este tipo de roca predomina en las montañas del cenozoico en el país.



Las que contienen abundante cuarzo se llaman (Dacitas) y las que tienen poco se llaman (Andesitas)

Las dacitas son de color gris, se presentan en coladas, diques o cúpulas.

Las andesitas se produjeron por lavas poco fusibles y viscosas, de tal manera que éstas rocas se encuentran en forma de agujas, cúpulas, tapones y diques.

Obsidiana

Es un vidrio negro pardo oscuro o gris brillante, de fractura concoidea y bordes cortantes. Se le llama vidrio de roca o natural, se origina al enfriarse con rapidez las corrientes de lava volcánica, al calentarse se convierte por desgasifica-

ducirán las Lutitas. Es de notar que no siempre los estratos están horizontales, sino que algunos están inclinados.

Son de especial mención las grietas de desecación que se producen cuando las arcillas o limos pierden la humedad por evaporación (Desecación), en este caso las arcillas se encogen apareciendo las grietas que limitan las formas poligonales, en algunos casos otros materiales tapan a ésta conservándose por muchos años y al quedar descubiertas con el tiempo, nos permiten saber las condiciones existentes en etapas antiguas.

En algunos sedimentos se forman estructuras caprichosas como los Nódulos, Concreciones y Geodas.

NODULOS

Son cuerpos formados por Calcedonia o pedernal, encontrándose dentro de Calizas o Dolomitas y se cree se forman cuando el sílice sustituye los materiales originales, generalmente son cuerpos irregulares abultados y yacen paralelos a los planos de estratificación.

Algunos nódulos se producen porque al llenarse una oquedad con sílice, queda ese centro duro en forma de roca, otras se originan porque se va depositando alrededor de un cuerpo de material calizo. Cuando queda una oquedad hueca cubierta de cristales se llama geoda y cuando éste está relleno totalmente, se forma el nódulo.

CONCRECIONES

En algunas calizas, pizarras o areniscas, se llegan a encontrar cuerpos esféricos o planos de rocas más duras que en las que se encuentra, están formados por materiales cementantes, que por lo común son Calcita, Dolomita, Sílice u Oxido de Hierro. Por lo general se encuentran rodeando algún cuerpo fósil o algún núcleo. El tamaño de estas pueden ir desde unos cuantos centímetros hasta varios metros.

GEODAS

Son rocas redondeadas, concrecionadas y huecas. El tamaño de éstas pueden ir desde unos cuantos centímetros hasta más de 25, aparecen en rocas calizas pero también en algunas pizarras y lutitas.

Parece ser que dentro de las rocas sedimentarias se presenta agua, producto de la descomposición de algún animal o planta, entonces queda una pequeña oquedad cuyas paredes comienzan a revestirse de sílice en estado gelatinoso, con el tiempo puede entrar agua por osmosis y cuando cesa ésto, el sílice cristaliza dentro para formar calcedonia.

Quando los materiales se transforman en roca, se produce el proceso de (LITIFICACION), interviniendo algunos elementos como son: cementación, compactación, desecación y cristalización.

a) Cementación. Cuando los espacios existentes entre las partículas de rocas sin consolidar son ocupados por un agente que las une, este agente las convierte en rocas compactas y duras. El material cementante que muchas veces está formado de calcio (calcita) u óxido de hierro (limonita), dolomita y cuarzo es llevado en solución por el agua y se filtra (percola) a través de los espacios abiertos, al consolidarse se constituye en un material de ligazón, generalmente esto sucede en materiales en donde las partículas son relativamente grandes.

b) Compactación. Se produce en rocas de grano fino como las pizarras y limonitas, produciéndose por el peso de la sobrecarga. En estos materiales de arcilla y limos, los poros están muy cerrados y por lo tanto el agua no puede penetrar libremente, el peso de los materiales superyacentes al ir aumentando van ejerciendo mayor presión y por tanto, más compactación. Al ser presionado el material, desaloja el agua de tal forma que a mayor compactación menor será la cantidad de agua que se tenga produciéndose la desecación; este factor también puede producirse si el material queda expuesto al exterior en zonas secas.

c) Cristalización. Aunque no existe plena comprobación, se cree que cuando un material sedimentario llega a cristalizar, éste se endurece y por lo tanto se compacta.

d) Clasificación de las rocas sedimentarias. De manera general las rocas sedimentarias se clasifican en dos grandes grupos: sedimentarias clásticas y sedimentarias no clásticas, químicas y orgánicas.

a) Rocas sedimentarias clásticas.

La palabra Clástica significa (roto o fragmentado) provenientes de otras rocas. Por lo tanto este tipo de rocas sedimentarias, se forman por la acumulación de diversos fragmentos o sea de la destrucción de cualquier tipo de roca preexistente, los ejemplos más comunes son: conglomerado, arenisca, limos, arcillas y otros.

CONGLOMERADOS

Es una roca que está formada por fragmentos más o menos redondeados, cantos rodados, guijarros y chinias. Se encuentran cementadas por caliza, sílice o arcillas. Si en vez de estar formada por rocas redondeadas lo está por rocas angulosas forma una BRECHA y si se observan rocas trituradas entre sus paredes se le denomina BRECHA DE FALLA.

Las brechas son rocas formadas por la acumulación de fragmentos angulosos de diversos tamaños y unidos entre sí por materiales cementantes; cuando están unidas con material calcáreo se les llama brecha calcárea. Conchifera cementada con conchas, Osífera si tiene restos de huesos de animales, Erup-tiva si es de materiales de origen volcánico, Poligénica si está cementada con elementos silocalizos, Filoniana si está formada con fragmentos angulosos que proceden de las paredes de la grieta filoniana y cementada con material mineral y brecha tectónica la formada por fricción en la zona de movimiento (cataclasis) también se le llama milonita.

Quando la roca se ha formado de rocas redondeadas (cantos rodados) en las márgenes de los ríos, entonces se produce la PUDINGA.

En las zonas frías, los materiales arrastrados por las nieves se van acumulando para formar las rocas sedimentarias llamadas tilitas.

ARENISCA

Es una roca formada por la consolidación de partículas pe-

Figura 11. Conglomerado



Fig. 12 Pudinga



queñas (granos) que se le da el nombre de arena. Su existencia data desde los inicios de la formación de las primeras rocas sedimentarias y podemos decir que es la segunda roca en importancia de este tipo. El tamaño de las partículas puede ser diferente y por lo tanto se puede clasificarlas en arenas: finas, medianas y gruesas. El mineral principal constituyente es el CUARZO cementado con caliza, sin embargo existen varios tipos de areniscas: arenisca cuarzosa que consta de granos de cuarzo unidos con cemento de sílice, arenisca caliza que es arena de cuarzo cementada con caliza, arenisca arcillosa cementada con arcillas, arenisca margosa cementada con marga, arenisca férrica cementada con óxido de fierro, arenisca glauconítica cementada con glauconita, arenisca magnésica cementada con manganeso, arenisca arcosa que contiene feldespato y grauwaca, ésta es de color oscuro de gran dureza con granos de cuarzo, feldespato y fragmentos de rocas y arcillas.

LIMOS

Es un material muy fino con pequeñas cantidades de cuarzo en grano o en polvo, con algunas impurezas como el carbono, mica y limonita que le da una ligera tonalidad amarillenta. Se suele encontrar en los lechos fluviales y en los fondos de lagos y mares. También se les llama barro, cieno o fango, y limonitas.

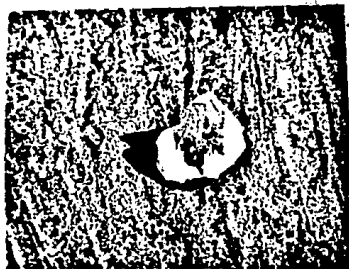
LOES

Son rocas que se han formado por la acumulación de polvo fino amarillento de los desiertos, y no sólo están formadas por polvo muy fino, sino que llegan a tener material calcáreo. La roca es muy porosa y el loes se desmenuza fácilmente entre los dedos.

LUTITAS (Arcillas)

Es una roca formada por arcillas y limos de material muy fino. Se produce por la descomposición de los silicatos aluminicos de las rocas ígneas. Parecen rocas homogéneas con tacto suave y grasoso, suelen tener pequeñas cantidades de arena. Se caracterizan porque se parten en capas delgadas o en láminas. De este tipo son también las lodolitas que se distinguen por ser capas gruesas a manera de bloque.

Fig. 13 Caolín



La arcilla más pura se llama CAOLIN producto de la descomposición de los feldespatos.

La arcilla común tiene un color variable según el contenido de minerales que contenga, se adhiere a los labios cuando se seca, enturbia el agua y se forma barro con ella. Se usa para ladrillos y cerámica.

PIZARRAS (Arcillosas)

Son rocas arcillosas endurecidas. Están formadas por capas delgadas de estructura y composición variada. Se componen de arcillas, mica, cuarzo, calcita y feldespatos. El esquisto se caracteriza por lo fino de sus granos y el poco espesor de las capas. Es de color gris oscuro pero puede tener una gran variedad de colores. Cuando la pizarra se convierte en esquistos se originan las filitas.

b) Rocas sedimentarias no clásticas. Se producen por la acumulación de materiales previamente disueltos por el agua ya sea por precipitación química, biológica, o por la acumulación de material orgánico. Este tipo de rocas rara vez alcanzan a traer una pureza, por lo que contienen arenas, arcillas y hierro. Las rocas más comunes de este tipo son: calizas, dolomita, sal gema, yeso y diatomita.

CALIZA

Es una roca sedimentaria generalmente de origen marino o por granos eólicas, pero particularmente está compuesta de calcita (CaCO_3) depositada por procesos orgánicos o inorgánicos.

La caliza orgánica se forma por la acumulación de plantas y animales dentro de las aguas de los mares, siendo los arrecifes coralinos o madreporicos los principales formadores. La roca en sí tiene muy variada estructura, las hay en donde aparecen organismos enteros o desmenuzados y en otros están tan compactas que difícilmente se llega a observar algún vestigio de origen orgánico.

Existen muchos tipos de ro-

Fig. 14. Caliza, roca que se localiza extensamente en el país



cas calizas, que se han formado de diferentes materiales, ejemplo:

Limaqueñas. Son rocas calizas que se han formado de la acumulación de conchas fósiles cementadas por calizas.

Calizas coralíneas. Se han formado por la acumulación de coral o tallos de crinoídes cementadas por calcita.

CRETA

Se formó de material orgánico, finísimos bastoncillos o restos de equinodermos, nódulos, caparazones de foraminíferos. Cuando los restos orgánicos son muy gruesos se produce la (coquina) que es una acumulación de conchas.

TOBA CALIZA

Son concreciones calizas depositadas por corrientes de ríos.

TRAVERTINO

Es una toba caliza cuyos poros están rellenos de caliza.

CALIZA OOLITICA

Son esferitas calizas semejantes a los huevecillos de insectos, están formados de capas concéntricas de carbonato de calcio cerca de bancos de coral.

CALIZA CRISTALINA (mármol), se forma por metamorfismo de calizas compactas.

CALIZAS INORGANICAS

Se producen por calcita precipitada o sea que la calcita que viene en las aguas de los ríos y manantiales se infiltra a través de las capas y en algunos casos el agua misma disuelve a las rocas calizas orgánicas y las va a depositar en los techos de las grutas o en el suelo mismo para producir las estalagmitas o estalactitas.

DOLOMITA. Es un carbonato doble de calcio y magnesio (CaMg) (CO₃)₂. El origen es desconocido, se cree que se produce

por precipitación ya sea directamente o por la acción del mar coliente sobre calizas que estaban en periodo de acumulación en el fondo del océano. Sin embargo, la teoría más moderna, es que se formaron por reemplazamiento del calcio por magnesio.

SAL GEMA o sal de Roca (Ver cloruros y sulfatos)

TURBA Y CARBON

Son rocas formadas por la acumulación de materiales orgánicos tanto de la descomposición de plantas como de animales, pero principalmente de material vegetal. Esta roca se inicia por la acumulación de enormes cantidades de vegetales en los pantanos por lo tanto es una sustancia vegetal reciente y poco carbonizada. Tiene una apariencia terrosa o negra. Con frecuencia se observa (en la turba) material vegetal aún carbonizado, el contenido de carbono es inferior al 50 %.

LIGNITO

Conforme aumenta el contenido de carbón, se va produciendo el carbón de piedra y así el siguiente paso después de la turba, es el lignito. Tiene una estructura leñosa de color negro mate con un contenido de 50 a 70 % de carbón. Se localiza en capas alternadas de arcillas y arenas en terrenos secundarios y terciarios. Una variedad fina de éste es el azabache que se usa en la joyería.

GRAFITO

Se le llama también con el nombre de (hulla) o carbón de piedra. Se caracteriza porque el contenido de carbono es de 70 a 90 %, ardiendo difícilmente, sólo en hornos prende de manera duradera. Tiene un color negro brillante con una estructura hojoza, pizarrosa o terrosa. Es de indicar que la carbonización consiste en la transformación de las células de los vegetales en una sustancia mucho más rica en carbono, producida por fermentación anaerobia, otra parte se forma con el carbono metano y anhídrido carbónico, es decir, cuatro moléculas de celulosa producen una de hulla. Este tipo de carbón es de gran utilidad porque de él se obtienen: gases, hidrocarburos, coque y grasa. Se localiza en estratos del carbonífero.

ANTRASITA

Es el carbón más duro y rico en carbono, tiene un color

negro y se caracteriza porque arde fácilmente.

ASFALTO

Es un sólido negro viscoso o plástico que se impregna a las calizas, arenas calcáreas o en filones. También se le llama betún o pez mineral. Se usa para la obtención de aceite y para el asfalto para las calles.

PETROLEO

Es un líquido espeso de color oscuro, con una densidad de 0.8 a 0.9. Está compuesto de hidrocarburos, oxígeno, nitrógeno y azufre. (C_nH_{2+2}). Se localiza dentro de arenas o grietas en forma de depósitos o bolsones subterráneos. Para obtener los subproductos es necesario destilarlo. De él se obtiene: aceite, gasolina, bencina, parafina y se usa altamente en la industria química. Se localiza en arenas de diferentes periodos, se ha encontrado en yacimientos sedimentarios del Jurásico, Cretácico y en el Terciario.

Dentro de las rocas sedimentarias químicas, algunos autores incluyen a las tobas silíceas que son depósitos de material de sílice en zonas termales, a las hematitas, a la sal gema, a la silvina, carnalita, anhidrita y yeso.

Rocas metamórficas

Son rocas que se han formado por la acción directa de agentes de: calor, presión, tensión o solución química activa, debidas a fuerzas que pliegan, que fallan, que deslizan las capas terrestres, que elevan el magma interior y que no solo indican las condiciones minerales de las rocas, sino también las estructurales.

Metamorfismo quiere decir cambios de forma. Se produce en el interior de la corteza de la Tierra o en el interior de los grandes bloques o elevaciones terrestres.

Tipos de metamorfismo

a) Metamorfismo de contacto. Se considera que el agente más importante transformador de las rocas es el calor, cuando una masa magmática asciende hacia la superficie, el calor tan intenso que llega a ser de más de 1000°C, va materialmente cociendo a las rocas por donde pasa; algunas rocas se transforman en magma y las que no,

cambian por contacto y al enfriarse son ya metamórficas, además, debemos agregar que no siempre es el magma el que asciende, sino corrientes de gases a elevadísimas temperaturas se introducen en las grietas u oquedades y van ahí a modificar por calor la existencia propia de la roca, a este tipo de metamorfismo local se le llama (metamorfismo térmico). Se puede encontrar alrededor de intrusiones ígneas a gran profundidad (metamorfismo plutónico).

En este caso el metamorfismo estará dado según la masa de magma que ascienda, ya que es de suponerse que si la masa es considerable, el calor irá a mayor profundidad y el metamorfismo no sólo se da en la zona de contacto sino más adentro, abarcando un gran espesor dentro de la roca por donde pasa. Este tipo de metamorfismo origina la producción enorme de yacimientos metálicos de hierro, cobre y plomo, pero en realidad el mineral que más se forma por este sistema es la magnetita.

Se ha observado también que en regiones en donde existen corrientes o fuentes termales, las aguas a gran temperatura llevan partículas de minerales que junto con el calor, al llegar a una determinada roca van a cambiar la composición, debido a que agregan unas sustancias y provocan la transformación de otras. A este tipo de metamorfismo se le llama termal.

b) Metamorfismo regional. Se produce en grandes áreas montañosas a muchos miles de kilómetros de profundidad, constituyendo las raíces de las montañas. No existe plena comprobación de esta forma de metamorfismo. Algunos investigadores consideran a este metamorfismo térmico dinámico.

c) Metamorfismo dinámico. Se usa para señalar a todas las rocas metamórficas que se han producido por la influencia de presión terrestre que puede ser uniforme y que se ejerce en todas las direcciones provocando cambios de volúmenes, y la presión no uniforme o presión desigual en diferentes direcciones que provoca distorsiones.

Se considera que a gran profundidad debido a las presiones, la mayor parte de las rocas fluyen en forma plástica y las presiones de las capas suprayacentes comprimen a éstas formándose los geosinclinales, estas presiones son las que producen el metamorfismo. Es de notar que la presión uniforme puede aplicarse a cuerpos líquidos o sólidos pero la dirigida sólo a sólidos.

Cuando la tensión se ejerce sobre rocas a escasa profundidad, se produce un metamorfismo cataclástico en donde las rocas están en libertad de moverse unas sobre otras, ocasionando con esto que los minerales se triturén, pulvericen, rompan o estiren para formar una roca listada sin minerales nuevos. Esta estructura de partículas pequeñas o grandes, recibe el nombre de estructura de mortero y cuando la roca está triturada se produce la (milonita).

a) Metamorfismo por solución química. Los fluidos químicamente activos, provocan reacciones de metamorfismo que hacen que los minerales cambien. Se producen cuando existe material líquido o gaseoso a gran temperatura, que va a ocupar los poros o grietas de las rocas. Muchas veces influye propiamente el agua caliente ya que contiene abundante anhídrido carbónico.

Como consecuencia del metamorfismo, se producen muchos minerales nuevos como la silmanita, kianita, andalucita, almadita, estauroilita, granates, epidotita y clorita.

Se ha observado que las rocas que quedan sujetas a metamorfismo por el calor, y a presión, originan que los minerales se encuentren en las rocas ordenadas en forma de franjas paralelas, este arreglo de la roca se llama (foliada) o sea formada en hojas o láminas delgadas.

La clasificación más simple utilizada para poder identificar a las rocas metamórficas es en rocas foliadas y las no foliadas.

a) Rocas foliadas. Se caracterizan por la presencia de capas o aspecto laminado. Este tipo se forma generalmente por metamorfismo de contacto o térmico. Estas rocas muestran clivaje (facilidad con que se rompe un mineral a lo largo de planos paralelos). Se encuentra generalmente alrededor de cuerpos intrusivos, conociéndose como roca cocida. Son de grano fino, duras y difícil de indentificarse.

En estas rocas se distinguen tres grados de clivaje:

Apizarrado: en donde el clivaje se presenta a lo largo de planos separados de difícil percepción, ejemplo las lutitas.

Filítico: en que el clivaje se observa en forma de láminas y es difícil de observar.

Esquistoso: en donde las láminas son visibles a simple vista con una apariencia rugosa.

b) Rocas no foliadas. Las no foliadas no tienen esa estructura hojosa más bien son compactas.

ROCAS METAMORFICAS COMUNES

Entre las rocas metamórficas más comunes se encuentra el gneis, mármol, anfibolita, cuarcita, pizarra cristalina, filita y otras.

GNEIS

Es una roca de grano grueso más o menos apizarrada, cuya composición mineralógica es igual que el granito. Los minerales que le componen están dispuestos en capas paralelas, sobresaliendo el cuarzo, feldespatos y ferromagnesianos. Generalmente el gneis se encuentra asociado con esquistos y granitos en donde afloran rocas muy antiguas. Algunos consideran que los gneis son rocas de transición entre los esquistos y el granito. Cuando se observan estas estructuras, se ve que en algunas partes los esquistos más antiguos han sido impregnados de granito formando la (migmatita). Es de particular importancia señalar que los gneis, contienen una gran riqueza de feldespatos. El ortogneis se produce a partir del granito o paragneis de rocas sedimentarias.

MARMOL

Es una de las rocas más conocidas, siendo de grano grueso, cuyo valor varía según la composición e impurezas. Consiste en granos entretejidos de calcita o dolomita. El mármol más común es el blanco. Se produce por un metamorfismo de contacto o regional de la caliza o de la dolomita. No tiene clivaje ni foliación debido a que los granos tienen el mismo color.

Los mármoles negros se deben a materiales bituminosos, los verdes a hornblenda o serpentina y los rojos al óxido de hierro.

En algunas ocasiones dentro de los mármoles se encuentran granates y rubíes.

ANFIBOLITA

Está formada de hornblenda y plagioclasas, pertenece a las

rocas foliadas de grano grueso, el color puede ser gris, negro o verde; se produce por el metamorfismo regional de grado medio del basalto o rocas sedimentarias.

CUARCITA

Se produce por metamorfismo en arenas ricas en cuarzo, en donde los cristales de cuarzo crecen y forman la cuarcita. Es una roca muy dura. El metamorfismo es de tipo regional de grado medio; sin embargo, se puede producir a cualquier grado. Se distingue de la arenisca porque no tiene foliación ni granos porosos.

PIZARRA CRISTALINA

Cuando una pizarra se convierte en esquisto por metamorfismo de bajo grado, se produce la filita. En realidad, las pizarras se componen de arcillas cuando sobre ellas se produce un metamorfismo de grado bajo, la arcilla se transforma en mica (pizarra micácea). Si el metamorfismo es de grado medio, entonces se forma el esquisto, de tal manera que si en este predomina la mica, será un micaesquisto o micacita. Otro tipo es la anfíbolita que es un esquisto hornbléndico. En todos los esquistos existe la presencia de hojuelos de algún mineral laminado, mica, talco, hematita o clorita. Suele romperse apareciendo el clivaje esquistoso.

Dentro de las pizarras cristalinas sobresalen también las filitas, caracterizándose porque los minerales son de gran tamaño y porque en su formación hubo un metamorfismo de alto grado. Está compuesta de clorita y moscovita dándole esto una apariencia hojosa de gran tamaño.

FILITAS

Son rocas metamórficas laminares con brillo sedoso, de color verde, pero pueden tener otros colores según el contenido de mineral que contengan. En realidad las filitas son pizarras cristalinas microgranudas compuestas por cuarzo y micas, pero pueden contener otros minerales como clorita, albíta o turmalina. Se origina por metamorfismo regional a partir de pizarras arcillosas que al aumentar de grano se convierten en pizarras micáceas.

AGENTES

EX TERNOS

4

Cuando vamos al campo o realizamos un largo viaje, vemos en nuestro caminar un sinnúmero de valles, llanuras, montañas, algunas verdaderamente majestuosas y otras simples cerros, cursos de ríos tempestuosos o pequeños arroyos, grandes lagos que parecen mares e insignificantes charcas en donde el agua de la lluvia se ha estancado, esperando regresar de donde vino y así observando aquí y allá nos viene a la mente que lo que ahora vemos no es más que el resultado de innumerables cambios, algunos de origen tectónico, pero los más, producto de ese constante ir y venir que es la erosión, que no suele tener reposo y que continuamente, cada segundo, cada instante, se deja sentir sobre la superficie de la Tierra en forma de Intemperismo, acción del viento, de las lluvias, ríos, nieve, agua de los mares, animales y hasta el hombre interviene drásticamente cambiando la faz de la corteza. Así que lo que ahora se ve, mañana no será igual, la superficie de la Tierra se está modificando constantemente.

Intemperismo. El intemperismo es la acción ejercida sobre la superficie de la Tierra por el vapor de agua, el oxígeno, el anhídrido carbónico del aire, humedad y materia orgánica, por lo tanto se dice que consiste en la acción de los elementos atmosféricos.

Los minerales de las rocas que parecen resistir al tiempo, en verdad sufren una descomposición y desintegración lenta, química y mecánicamente, de tal forma que muchas rocas se convierten en otras; así podemos observar como los feldespatos se convierten en arcilla, las que contienen hierro se alteran formándose en herrumbre, las fachadas de los edificios constantemente tienen que ser renovadas porque lentamente son borradas por la corrosión de los ácidos atmosféricos que se presentan en las ciudades o centros industriales.

En realidad el intemperismo es un elemento vital en la vida de las rocas ya que por medio de él al alterar a las rocas consolidadas, las va desmenuzando para que el material resultante sirva para la formación de nuevas rocas, el material previamente destrozado por el intemperismo, es transportado por el viento, agua y nieves, si observamos detenidamente sobre la corriente de un río,

vemos que éste lleva enormes cantidades de materiales en suspensión que algún día fueron roca consolidada pero que sin duda el intemperismo ha convertido en simple polvo en suspensión.

Tipos de intemperismo. Existen dos tipos generales de intemperismo: mecánico y químico.

El intemperismo físico o mecánico es causado por efecto de los cambios de temperatura, acción de las heladas o intemperismo biológico.

El intemperismo químico se produce por la acción del agua, oxígeno y anhídrido carbónico de la atmósfera.

En realidad en muchos de los casos de intemperismo, es difícil percibir una diferenciación química o mecánica, ya que los dos actúan mancomunadamente.

a) Intemperismo mecánico. Consiste en la desintegración de las rocas, como consecuencia directa de los cambios de temperatura o de las heladas.

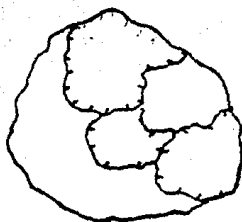
Intemperismo térmico. En lugares en donde las rocas quedan expuestas a la influencia directa de la radiación solar, estas rocas se calientan y su superficie se ve obligada a dilatarse, si esto continua diariamente, la costra superficial de las mismas se ve separada por un rompimiento de la superficie como consecuencia de que al cesar la influencia solar, en la noche al disminuir la temperatura, la superficie se contrae y este cambio constante de dilatarse durante el día y contraerse durante la noche produce el fenómeno de (Exfoliación). La exfoliación puede ser laminar y concéntrica o esferoidal, o descascaramiento de la roca que por último al caer el material roto (aluvión), sufrirá junto con la roca madre otra vez la acción del intemperismo, hasta que ambas se transforman en granos de arena o polvo.

Este fenómeno de exfoliación sin duda tiene mayor influencia en regiones desérticas y semiáridas. Cuando la acción se produce en rocas cristalinas como el granito, se forman las colinas o montañas suaves redondeadas.

Como consecuencia también de la temperatura, cuando se producen incendios de bosques o matorrales, el calor origina rup-

Fig. 15 Exfoliación

turas en las rocas de tal manera que muchas se rompen, a este tipo de intemperismo mecánico se le conoce con el nombre de intemperismo térmico.



Como podemos observar, la acción térmica se produce por las diferencias de temperatura en un lugar determinado, originando que los granos de las rocas se desprendan y queden sujetos a los cambios de temperatura hasta convertirse en polvo o material fino. La acción del intemperismo no es igual para todas las rocas, en algunas es más resistente ya que no se producen grietas por la contracción, pero en otras se produce de diferente manera; al dilatarse los granos estos se aflojan y caen originando que los demás también se separen posteriormente (Desagregación). Además, no sólo interviene en la destrucción el mineral mismo, sino también el tamaño, ya que las rocas de grano grueso se desintegran más rápido que las de grano fino. Los cambios de temperatura no sólo se producen en zonas secas y desprovistas de vegetación, también en otras partes, pero sin duda son más intensas en zonas áridas por los cambios tan bruscos que sufren las rocas durante el día y la noche.

Efecto de las heladas. En zonas templadas o frías o en las partes altas de las montañas, el agua, al introducirse en grietas, poros o hendiduras, se congela y aumenta de volumen aproximadamente en un 9 % ejerciendo así una presión de aproximadamente 150 kg por cm². Las rocas se rompen y los fragmentos se separan. El agua congelada actúa como una cuña dentro de las diaclasas rompiendo a la roca con lo que se producen bloques o fragmentos rocosos que se van a encontrar al pie de los escarpados o acantilados para formar los depósitos de talud o canchales de cantos angulosos.

Cristalización de sales. Cuando llueve en zonas secas el agua llena a las rocas, pero la intensa evaporación hace que el agua que ha quedado dentro de la roca se evapore rápidamente, de tal manera que quedan residuos de sal en ésta; cada vez que llueve se presenta el mismo fenómeno, acumulándose más sal hasta que ésta sea suficiente para ejercer una fuerza de compresión dentro de la grieta en donde se encuentra y produzca la desintegración de la roca.

Efecto de plantas y animales. Durante el crecimiento de las plantas, sus raíces van introduciéndose lentamente en las oquedades de las rocas, actuando como cuñas; conforme van creciendo las raíces, van agrandando la hendidura hasta que se parten y disgregan, pero no sólo las plantas actúan de manera mecánica, sino también químicamente, ya que de ellas se van a obtener ciertos elementos nutrientes.

Al ir creciendo dentro de la roca, las raíces de los árboles o de las plantas van ejerciendo una presión paralela a las capas por donde se introducen, por lo que la presión es mayor y la grieta se va agrandando lentamente hasta que se llega al límite y se separa definitivamente para caer. Es de mencionar que no sólo una raíz es la que se introduce en la roca, sino que es un conjunto de ellas, de tal forma que cuando la roca se rompe lo hace en varias partes, desmenuzándose, para que otros agentes de erosión actúen sobre ellas.

Los animales, tanto los muy pequeños como los de gran tamaño (roedores, hormigas, lombrices) al hacer sus madrigueras o consumir grandes cantidades de tierra van descomponiendo a las rocas, las trituran e influyen para una descomposición química, en donde los hongos o bacterias destrazan los suelos produciendo los "humus" o mantillo.

b) Intemperismo químico. La alteración de las rocas por medio del intemperismo químico es sin duda uno de los sistemas más complejos, ocurre por medio de la disolución, hidratación y formación de carbonatación e hidrólisis. Se deja sentir en todo tipo de roca, con la única salvedad que no es atacable con igual efectividad, dependiendo del tipo de roca.

La acción química es ejercida preferentemente por el oxígeno, ácido carbónico y ácidos orgánicos, dando origen a una serie de procesos destructores como son la oxidación, hidratación, disolución e hidrólisis.

cas oxidadas se puede observar signo inequívoco de la oxidación, ese color rojizo suele unirse con el oxígeno para producir hematita, FeO_3 , de color rojo pulverulento, cuando el hierro se une con oxígeno, también produce la Ghoetita ($FeO(OH)$) de color café.

d) Carbonatación. Como sabemos, el Bióxido de Carbono (CO_2) se encuentra siempre presente en el aire, en el agua y en las rocas; este se une con otras rocas alterando la composición de aquellas y así los carbonatos y los bicarbonatos son solubles y llevados a otros lugares.

Acción química de las bacterias o plantas: La acción constante de los microorganismos que se presentan en la naturaleza, tienen influencia también sobre la destrucción de las rocas, a sabiendas que no solo son estos de carácter animal, sino también vegetal. Esta acción está dada principalmente en aquellas zonas donde existen estos y que se encuentran generalmente sobre la corteza en regiones húmedas o pantanosas, o en otros casos en zonas internas profundas o relativamente cerca del exterior pero en donde haya cierta humedad que les permita existir. Estas plantas, humus, hongos, algas, líquenes y lamas se llegan a establecer sobre ciertos tipos de rocas de donde extraen su alimento y conforme lo hacen, van deshaciendo a la roca debido a los ácidos que segregan, para así obtener su alimento o prepararlo directamente donde están por descomposición química. Así las bacterias toman su sustento, cuando vamos a las márgenes de un río o cerca de una corriente casi permanente, siempre podremos observar que sobre algunas rocas se presenta una alfombra verde, que no es más que una materia vegetal que vive y se desarrolla a expensas del lugar en donde se encuentra y que cuando por casualidad dejase de pasar agua por la zona, veríamos después, cómo queda esa lama muerta y la roca desmenuzada en su parte superficial que fué sin duda la zona de alimentación. Estos microorganismos no sólo se encuentran como dijimos antes, sobre la superficie, en muchos casos cuando penetramos en las grutas o cavernas, es posible observar en ciertos lugares húmedos, la existencia de estas lamas, que se alimentan de las rocas donde se encuentran.

Acción del viento. El viento es el aire en movimiento, sabemos que el viento se produce por las diferencias de temperatura y presión entre un lugar y otro y que la fuerza de éste será proporcional al tamaño de las masas en que sople, o sea que a mayor diferencia de masa, mayor será su fuerza. Los vientos soplan en todos los lugares del mundo, no existe algún lugar en donde no sople, ya sea en la mañana, en la tarde o en la noche; siempre so-

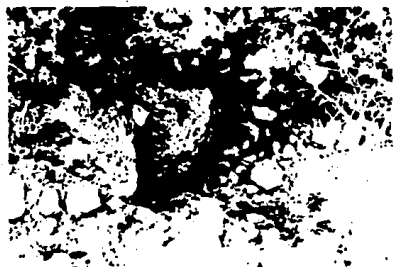


Fig. 16 Pequeñas plantas creciendo sobre las rocas

plar, en algunos casos, parece no existir ni una brisa, pero en realidad la calma es frecuentemente rota por una corriente de aire. El Mundo está lleno de estas corrientes, existen los vientos alisios, los contralisios, los monzones, las brisas, los nortes, los vientos locales y son estos lo que realmente van a producir la erosión.

La erosión es más fuerte en aquellos lugares en donde no exista vegetación, o ésta sea muy escasa, de tal manera, que se sentirá con gran fuerza en los desiertos arenosos o fríos polares, pero sin duda ejercen gran influencia sobre el relieve, en las zonas desprovistas de vegetación, como son los desiertos, su acción es aterradora y marca la existencia propia del relieve por la existencia de esos arenales o rocas desnudas.

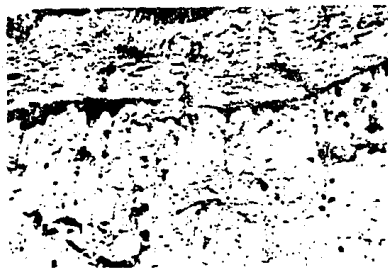
Antes de continuar debemos indicar que la acción de los vientos no sólo se presenta en los desiertos, sino que existe en todos los lugares del Mundo, en las costas, produciendo los médanos o en las altas montañas.

La acción del viento se presenta en tres formas: Deflación, Corrasión, transporte y acumulación.

Los tres procesos del viento nunca se efectúan independientemente, si no que existe una relación muy íntima entre los 3, así que cuando se produce uno de ellos automáticamente se está produciendo algún otro, a esta erosión se le conoce con el nombre de eólica.

a) Deflación. La palabra deflación viene del latín deflare, que significa llevar el viento o transportar soplando. Como sabemos, cuando sopla el viento, éste levanta las pequeñas partículas y las transporta hacia adelante en la dirección en que sople, las llevará hacia arriba, abajo, a los lados o sea a todas partes y la cantidad de estas partículas transportadas será en relación a la fuerza con que éste sople, de tal forma, que si sopla débilmente, la cantidad será reducida, pero si la intensidad es alta, podrá llevar enormes masas de arena y polvo, el tamaño de las partículas también estará en proporción a la fuerza del viento, ya que si éste es fuerte podrá levantar partículas más grandes siendo lo contrario si la intensidad es baja. El diámetro de las partículas puede ser desde 0.15 mm o en algunos casos, hasta 0.40 mm cuando es fuerte el viento, pero cuando la intensidad es baja, el diámetro de las partículas rara vez pasa de los 0.06 mm o transporta polvo muy fino con 0.04 mm. Cuando la cantidad de polvo levantado es considerable, se llega a producir una tormenta de arena en donde las partículas más finas serán las que sean levantadas a mayor altura, las pesadas rara vez son levantadas más allá de los 3 metros de altura, escurriendo por lo tanto estas arenas pesadas cerca de la superficie, en donde ejercen la acción de corrosión. El aire al soplar sobre una región cualquiera:

Fig. 17. Superficies rocosas en donde se muestra el accionar del viento.



siempre lleva enorme cantidad de materiales que sirven como proyectiles y que se incrustan sobre toda superficie rocosa, el impacto actuará como una fina metralla, que arrancará toda partícula no bien sedimentada, cuando existen grietas en las rocas, éstas se ven agrandadas por la influencia de estos proyectiles; en algunos casos, la acción constante del viento cargado del material que va a proyectarse sobre una roca, la va labrando, produciendo figuras caprichosas a modo de torres, columnas y obeliscos y que en realidad son bloques pétreos esculpidos por la misma erosión del viento.

En ocasiones, también el viento llega a levantar enormes cantidades de material suelto para formar una hondonada llamada Cuenca de Deflación de diferente profundidad.

b) Corrasión. Ya vimos que siempre que sopla el viento, lleva en suspensión grandes cantidades de material según la intensidad con que sople. Cuando sopla sobre una superficie sin vegetación, las partículas que el viento lleva se van proyectando intensamente sobre la superficie horizontal del terreno, con una intensidad que dependerá de la fuerza del viento, así que los guijarros, arenas o polvos actuarán como un gran abrasivo que pulirá a la superficie por donde pase, acción que puede compararse a una gran lija que pule a las rocas por donde pase, convirtiéndola en una superficie lisa, a este fenómeno se le llama abrasión del viento o corrasión, que significa estriar, rayar o arañar. Al fenómeno de convertir a los granos de arena en partículas redondeadas se le llama (Atricción).

La corrasión no sólo se presenta sobre la superficie horizontal del terreno, sino que también se deja sentir sobre las laderas de los cerros o montañas y naturalmente, sobre las rocas que se encuentran libres, convirtiéndolas con el constante accionar en formas caprichosas de hongos, sombreros, puentes, nichos, bolsas, chimeneas, circos, pasos o ventanas, torres, pilares, agujas, mesas, piedras oscilantes, obeliscos y otros.

Se dice que como producto de la erosión se originan los "Ventifactos", que son cantos rodados o guijarros que se han redondeado por la acción del corrimiento de estos materiales sobre la superficie, algunos de ellos no solo son redondos, sino que tienen partes estriadas o sea bordes cortantes. Se considera que su lados cortantes se producen porque al soplar el viento una superficie de ésta queda expuesta a la acción erosiva, puliéndose a manera de un

cíncel, si cambia el viento, otra cara se pulirá llegando a tener estos ventifactos más de 15 caras o facetas curvas.

En algunas zonas, pero principalmente en los desiertos de Asia, el constante soplar del viento en una región determinada, produce especie de corredores, surcos o depresiones en rocas blandas de más de 1 a 3 metros de profundidad y en ocasiones hasta de 5 metros, a estas depresiones bardeadas por camellones se les llaman "Yardangs" en la zona del Turquestán.

c) Transporte. Como vimos antes, el viento es un agente que transporta enormes cantidades de materiales (en este caso arenas y polvo). El transporte de este material estará dado por la intensidad del viento, o sea que a más fuerza levantará más alto a las partículas y serán llevadas a mayor distancia; esto también dependerá del tamaño de las partículas transportadas, ya que las más ligeras serán llevadas naturalmente más lejos. El viento lleva en suspensión a las partículas más ligeras, soportando partículas hasta de 5 mm cuando el viento es muy fuerte y en otros casos sólo levanta pequeñas de 0.20 mm. Las arenas que no pueden ser transportadas por el viento caminan a manera de saltos, a esta forma se le llama saltación. La arena así transportada salta y se llega a proyectar sobre otra, tanto en el aire como sobre el suelo, al hacerlo puede, en el aire, golpearse con otra y romperse, y por lo tanto hacerse más pequeño el grano, en otro caso puede proyectarse hacia el suelo y caer sobre algún grano que va a ser impulsado y ser roto a la vez por éste, hasta que se deposita sobre el suelo. Cuando existe una gran tormenta, son enormes las cantidades de arenas que sufren este mecanismo y es por eso que existen grandes volúmenes de éstas que se han convertido en un material muy fino llamado loess.

Cuando el grano de arena es muy grande y el viento no lo puede transportar, no salta sino que rueda hacia adelante impulsado por el viento a manera de una corriente de agua, para que al cesar el viento quede depositado junto con los otros materiales en alguna duna.

d) Acumulación. El viento al disminuir de fuerza, va a depositar a los materiales en la superficie (Deposición), aquí éstos se irán acumulando para formar depósitos que pueden llegar a ser desde unos cuantos centímetros hasta más de 200 metros de altura en algunos casos. A estos depósitos se les conoce como DUNAS, o sea que son acumulaciones de arenas y polvo (loess) en los desiertos o zonas muy secas.

Algunos autores aplican el nombre indistintamente de duna y médano para esas acumulaciones; aquí, utilizaremos mejor el concepto de duna para una acumulación de arena producida por el viento y usaremos el nombre de médano exclusivamente para las acumulaciones de arena producidas por la acción de empuje de las olas en las costas o playas aunque la acción del viento también tenga influencia.

Las dunas se producen a lo largo de las costas bajas con extensas playas. El mecanismo es que el agua de las olas en su constante ir y venir trae y lleva las partículas de arena puliéndolas en ese constante trabajo de erosión, cuando se presenta una alta marea la arena es transportada más afuera de lo normal depositándose en el extremo de la playa, sin duda todo esto por influencia del agua que actúa como medio de transporte, ya que ésta impulsa a las partículas por rodamiento o por suspensión hasta depositarlas. Cuando las olas llegan a ser fuertes ya sea impulsadas por el viento o por algún fenómeno especial, la arena será transportada más lejos de la orilla y ahí quedará. En algunas playas, los movimientos de ascenso del terreno, o sea, de la plataforma continental hacen que estos depósitos queden lejos de la costa, formando extensos arenales en donde crece una vegetación, a estas arenas podríamos llamarlas arenas muertas porque no se mueven ni aún con las brisas que siempre soplan, es por eso que preferimos usar el nombre de médanos que el de dunas para distinguirlas de las que se forman en los desiertos. Ahora bien, no hay que confundir a las arenas que en las zonas secas pueden llegar hasta las costas empujadas por el viento, pero este fenómeno es del interior hacia la costa o en otros casos los vientos del mar (brisas) pueden empujar a estos depósitos hacia adentro, pero el origen es diferente.

Mecanismo de las dunas. Cuando el viento sopla llevando el material, éste se va a depositar tan pronto como aminore, formándose en este caso un montículo que irá creciendo lentamente hasta formar una duna. En otros casos, el viento al soplar cargado de material, puede depositarlo alrededor de algún elemento de obstrucción como puede ser una planta o una roca. En esta parte la arena se irá depositando lentamente, creciendo conforme más arena llega al lugar hasta que este montículo ha crecido tanto que forma una gran duna, la cual servirá como una barrera que cortará el viento y hará que el material se deposite en ella. Generalmente la duna contará con una pendiente suave hacia adonde sople el viento y una pendiente pronunciada en el lado contrario. A esta zona se le llama cara de deslizamiento y la parte clara en donde sopla el viento

se le llama sombra de viento. Los granos de arena que ruedan sobre la pendiente de barlovento van siendo empujados hacia arriba y cuando llegan suelen caer en el otro lado, o sea, en la región de sotavento y de esa manera la duna irá caminando a razón aproximada de 15 metros por año. En zonas costeras o cercanas a poblaciones, la migración de las dunas constituye un gran peligro, porque pueden en un caso dado sepultar a toda la región, es por eso que con frecuencia se siembran alrededor de ellas, plantas que sirvan para fijar a la arena para que ésta ya no camine.

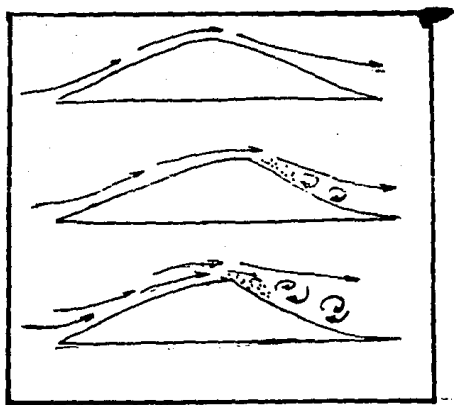
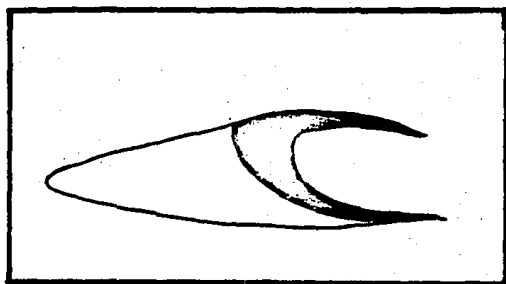


Fig. 18 Mecanismos de las dunas en los desiertos

Las formas de las dunas no son iguales, existen figuras caprichosas producto tanto de la forma como sopla el viento como del material por donde sopla y además por el relieve de la región. Por este motivo a las dunas se les ha clasificado en: barjónicas, transversales, longitudinales, islas de arena y loess.

a) Barjónicas. Son dunas que tienen la forma de una media luna en donde los cuernos quedan en sentido hacia donde sopla el viento. Cuentan con una ladera de barlovento de poca inclinación, en cambio la de sotavento es pronunciada. Estas dunas llegan a tener una altura de más de 30 metros y una longitud de los brazos de más de 200 metros.

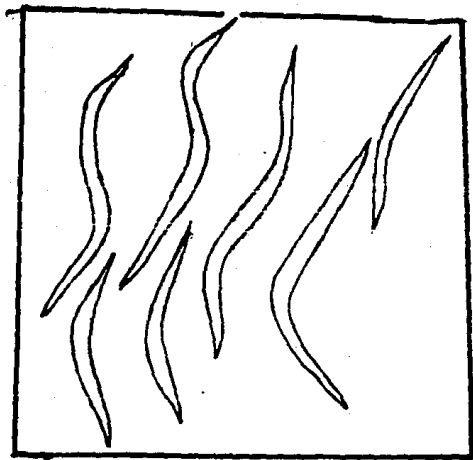
Fig. 19. Muestra de un barjan.



El origen de los barjanes se presenta en zonas con suelos duros en donde las arenas no son abundantes. Comienzan por ser un montículo de arena que va creciendo rápidamente tomando una forma de escudo de la cual se ramifican dos brazos que también van creciendo, llegando a ser éstos de algunos metros de longitud máximo ó, pero que en la generalidad no son más que pequeños promontorios alargados.

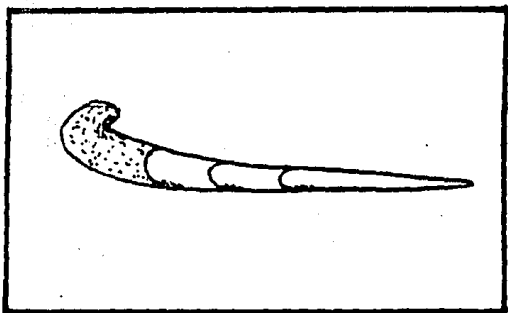
b) Transversales. En algunas zonas arenosas, las dunas se establecen como si fueran olas en el desierto siguiéndose unas a otras, algunos autores consideran que éstas no son más que una variedad de barjanes unidos entre sí en aquellas regiones en donde sopla el viento constantemente, pero que éste lo hace cambiando de dirección, produciendo cambios en la dirección de los barjanes, en otros casos suponen que el viento al llegar a un promontorio o relieve alto choca en ellos, cambia de dirección de tal forma que se ven obligados a depositar el material cerca de la región, produciendo crestas arenosas dispuestas de manera transversal a la dirección en que sopla generalmente el viento.

Fig. 20. Dunas transversales



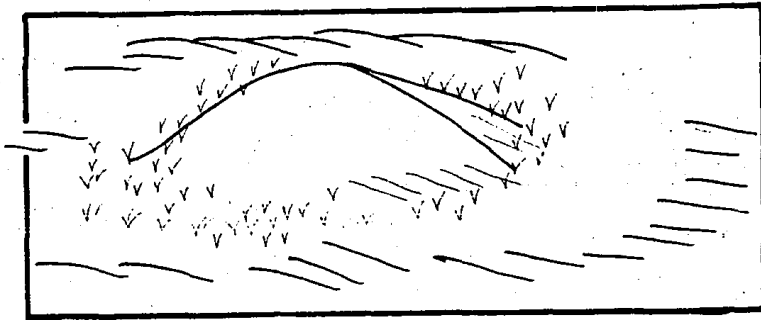
c) Longitudinales. En algunas regiones se produce un tipo de duna que queda extendida en sentido del viento, éstas en general son paralelas entre sí formando dunas alargadas, siendo algunas de unos cuantos metros, pero otras se extienden como larguísimas lenguas de más de 100 metros, a estas se les conoce en el norte de Africa con el nombre de (Seif) o sea espada.

Fig. 21. Duna longitudinal



d) Islas de arena. En algunas regiones de los desiertos en donde crecen plantas por la existencia de relativa humedad, se llega a acumular la arena produciendo unos islotes o montículos y sobre ellos se desarrolla una vegetación arbustiva que detiene a la arena, estos no llegan a levantarse a más de un metro o escasa-mente tres, pero nó más, siendo los más grandes, aquellos que cuentan con más vegetación.

Figura 22. Islas de Arena



e) Loess. La mayor parte de los estudiosos de las rocas consideran que el loess es un polvo amarillento que se encuentra generalmente en los desiertos y que el viento transporta muy lejos de ahí para depositarlo a cientos de kilómetros de su lugar de origen (Anemogenos). Algunos consideran que este polvo se ha producido por la acción erosiva de las arenas en los desiertos debido a la constante acción de los agentes erosivos como el intemperismo, pero principalmente del viento que al soplar sobre la superficie va puliendo a las rocas y el polvo, resultado de esta acción, es el loess. Otros suponen que son producto de la acción glacial de épocas pretéritas cuando las nieves al deslizarse fueron acarreado enormes cantidades de materiales (morrenas) que quedaron aquí en los valles, sin embargo, otros consideran que es posible que los loes de los valles no se hayan formado de esta manera, pero sí los loess de las regiones del norte de Europa, debido a una influencia fluvio-glacial, principalmente en las épocas de los glaciares, la mayoría de los geólogos consideran que, si existieron loess en zonas con influencia glacial, éstos no se debieron principalmente a las nieves, sino que ya existían como limos acumulados en las márgenes de los ríos y que las nieves arrastraron cuando se presentaron las glaciaciones y a su vez depositaron en algún lugar para ser encontradas hoy día. Los limos son materia-

les finos arcillosos producto de la acción erosiva de las corrientes más que del viento y que generalmente llevan las aguas en suspensión cuando éstas se presentan turbias.

Nosotros nos inclinamos más a que los loess son producto de la desintegración de las arenas en los desiertos, resultado de ese constante ir y venir del viento que llevando arenas en suspensión va actuando como un esmeril para convertir a las arenas en material muy fino que hoy conocemos como loes.

Conocemos al loes de dos maneras: de forma compacta y en polvo; esta última es la más popular y a la cual nos vamos a referir primero. Es un polvo de color marrón amarillento de una extrema finura de 0.01 a 0.05 milímetros de grosor, pero en algunos casos, todavía más finas hasta de 0.004 mm de diámetro. Están compuestos de pequeñísimas partículas de cuarzo, feldespatos, mica, alúmina, carbonato de calcio, hierro y restos orgánicos de carácter vegetal o animal.

Los depósitos que tienen más importancia por su volumen son, sin duda, lo que se encuentran en China; donde se han depositado a través de muchos años enormes capas de ellos constituyendo estratos de más de 450 metros de espesor y que ya se han transformado en roca compacta muy porosa y amarillenta, pero que es fácilmente deleznable y permeable al agua, de tal manera que las corrientes que llegan a deslizarse entre ellas producen grandes cañadas o riveras escarpadas con fondos profundos. Cuando tomamos en nuestras manos una pequeña roca y la desmenuzamos, esta queda como el polvo de un gis suave. El loes por mucho tiempo se ha constituido en uno de los más ricos constituyentes de los suelos del norte de China, utilizándolo como un abono altamente apreciado por lo que son importantes para la agricultura, pero no sólo en esto se utilizan, sino también para la construcción. Es importante mencionar que cuando vemos en una zona muy seca, desiertos o estepas, a una masa de polvo que en muchos casos está formada por partículas muy finas que se introducen por todas partes: ojos, dientes, cabello, y que materialmente nos dificulta la respiración, es a lo que nosotros llamamos loess.

Corrientes superficiales de agua. Uno de los agentes erosivos más importantes y drásticos que han influido sobre el modelo terrestre es el efectuado por las corrientes superficiales, desde el momento en que la primera gota se deslizó sobre la corteza, con ella principió la evolución erosiva del agua, así que desde hace millones de años hasta nuestros días, el agua corrien-

te sigue y seguirá deslizándose ininterrumpidamente para que lo que vemos hoy, en el futuro sea completamente diferente por la influencia del agua.

La mayoría de las aguas se deslizan cuesta abajo hacia lagos, lagunas o mares, gran parte del agua se infiltra a las capas internas de la corteza para posteriormente volver a salir como manantiales; la mayoría se desliza sobre la superficie y gran parte de ella se evapora para condensarse en forma de nube y luego precipitarse en forma de lluvia (Ciclo hidrológico) para que de nuevo se escurra, se infiltre, se evapore y se condense cíclicamente y así indefinidamente.

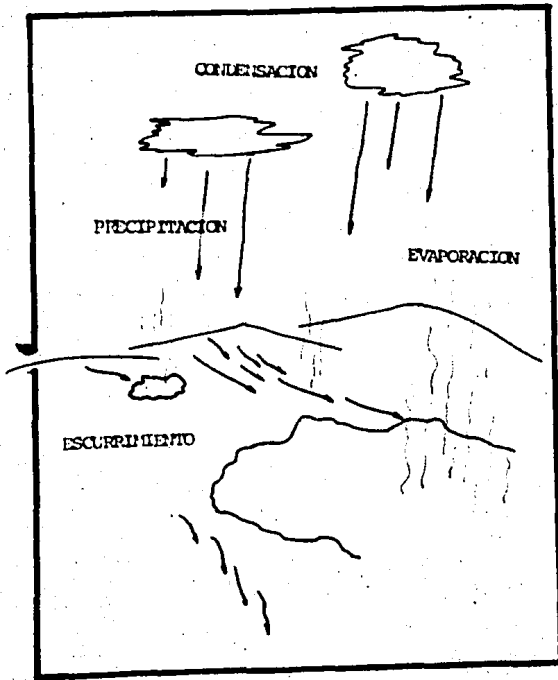


Figura 23.

Ciclo hidrológico

La mayoría de las corrientes son alimentadas por las lluvias, pero gran parte de ellas se deben a los deshielos, manantiales y aguas negras (residuales).

Erosión pluvial. El agua que cae en forma de lluvia sobre los terrenos, rocas o cualquier superficie, ejerce una fuerza que será proporcional al tamaño de las gotas, o sea que será más intensa la acción erosiva si las gotas son de gran tamaño, fenómeno que se presentará al contrario cuando las gotas sean pequeñas. Pero no solamente la acción se ejercerá por el tamaño sino también por la cantidad de gotas que caigan por centímetro cuadrado de superficie, o sea que se incrementará la erosión si la lluvia es tupida. El agua al caer ejercerá una presión directa sobre el lugar o partícula donde se proyecte (Salpicadura); si la fuerza de ésta es grande, inmediatamente levantará por el impacto pequeñas partículas y si es intensa la cantidad levantada será también en gran número. En otros casos el agua pluvial no levantará partículas pero las aflojará para que en un futuro cercano, ya sea por el agua u otro agente erosivo, éstas se desprendan de la roca madre.

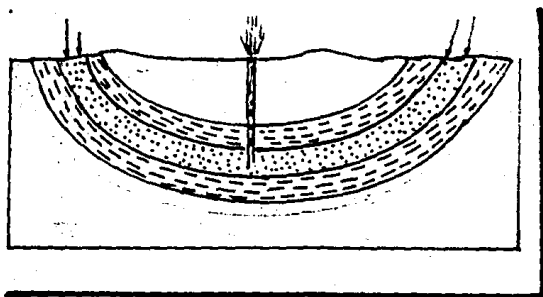
La acción erosiva de la lluvia no termina al deslizarse el agua cuesta abajo, o sea siguiendo el declive, escurre a manera de una intensa lámina que va llevando o transportando a las mismas partículas que ha levantado; esta acción se llama erosión "laminar" que en muchos casos va dejando a los suelos completamente desprovistos de la capa superficial quedando sólo la roca desnuda (roca madre) que por su dureza tarda más tiempo en erosionarse. Estas aguas de origen pluvial se deslizan superficialmente para que conforme bajen se vayan canalizando en un sinnúmero de corrientes de muy poca profundidad, a éstas se les llama aguas bravas o broncas. Estos canalitos se van agrandando por la acción erosiva del agua para formarse más tarde verdaderos arroyos, algunos tan profundos que parecen barrancas.

Al deslizarse el agua de lluvia por alguna pequeña pendiente, produce hondonadas o zanjas que se conocen con el nombre de "cárcavas", el constante ir por éstas, va haciendo que se vayan agrandando, ensanchándose y creciendo hacia arriba o sea hacia la cabecera, produciéndose una erosión remontante o regresiva que si no se controla a tiempo en regiones agrícolas, llega a erosionar completamente la zona produciendo tierras malas desprovistas de un buen suelo, además de que existen muchas hondonadas que dificultan el cultivo, a esto se le llama acarreamiento. La práctica general dice que en las cabeceras de éstas se deben cultivar o sembrar plantas que sirvan de protección y eviten que si-

sobre un sinclinal) no siempre escurren hacia un sinclinal y escurren hasta llegar a la parte media o cubeta en donde se establecerá. Conforme ésta se va llenando, el agua se irá localizando a lo largo del estrato, generándose una presión, consecuencia de las aguas que van introduciéndose por las zonas de alimentación en la superficie y que quedan en ambos lados del pliegue. No es necesario que el agua se localice en un pliegue con dos entradas, en ocasiones éstas se hallan en zonas con sólo una entrada o sea un monoclinal. Es también importante mencionar que las aguas artesianas llegan a estar cautivas entre estratos impermeables, pero en cada estrato es posible encontrar una capa diferente de manto separada una de la otra por una serie de rocas impermeables.

Si a una de las capas se le hace una perforación (pozo), el agua fluirá hasta la superficie saliendo libremente tan sólo empujada por la presión hidrostática. La presión se debe a que la zona de recarga está muy alta con respecto al acuífero, en otros casos casi llegará a la superficie, sin salir.

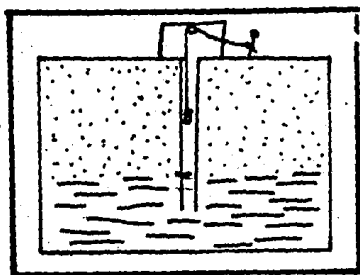
Fig. 49. Esquema de un pozo artesiano



Los depósitos de agua establecidos de esta manera se llaman cuencas artesianas, siendo regiones que cuentan con enormes volúmenes de agua y que generalmente se aprovechan para surtir de ésta a los poblados o ciudades.

Pozos. Son conductos que van desde el exterior hasta la zona de intercepción de las aguas. A través de ellos se extrae el agua ya sea por medio de bombas o cubetas. Una de las características más importantes de la extracción del agua es que cuando ésta se extrae en consideración, se reduce la cantidad de agua en el subsuelo y ocasiona problemas de abastecimiento para la agricultura y para los habitantes; otro fenómeno que se ocasiona es que el suelo en donde se extrae mucha agua se hunde debido a un empaquetamiento del material de que está formado. El agua de los pozos puede encontrarse desde unos cuantos metros, 3 a lo sumo, hasta profundidades de más de 500 metros.

Fig. 50. Esquema de un pozo típico.



Acción erosiva de las aguas subterráneas

El trabajo de las aguas bajo o dentro de la corteza es tan intenso como el de las superficiales, se efectúa por procesos como la disolución, hidratación, oxidación, descomposición e hidrólisis.

Disolución

Como sabemos, todas las aguas contienen elementos químicos en su composición, los que en determinado momento llegan a actuar como grandes agentes de erosión, de tal forma que las aguas más

Fig. 51. Esquema que trata de mostrar como se forman las grutas



mineralizadas son las que más fuertemente actúan. Los carbonatos, ácidos y oxígeno, llegan a disolver o a debilitar a las rocas, principalmente a las calizas, para que éstas al paso del agua se transformen en otro material facilitando su destrucción. La fuerza erosiva más fuerte es la disolución en donde el ácido carbónico es el agente más activo pues ataca a los carbonatos y reacciona con ellos formándose sales como cloruros, produciéndose en algunos lugares oquedades que van creciendo con el tiempo hasta formar enormes y majestuosas grutas. El material disuelto es transportado por el agua en suspensión y llevado tan lejos como llegue aquella; en algunos casos hasta el mar, pero en otros se deposita en alguna zona de descanso por decantación o fluye por las grietas para formar figuras caprichosas. En algunas zonas el escurrimiento lleva tal cantidad de bicarbonato de calcio y magnesio que se les conoce como aguas duras, no pudiéndose utilizar para beber.

El origen de las grutas o cavernas es difícil de explicar, la mayoría de los estudiosos de estas obras se inclinan a pensar que al pasar el agua por las rocas, la mayor parte calizas, las va disolviendo y formando oquedades que crecen con el tiempo hasta producir una gruta, naturalmente la disolución estará dada con más intensidad cuando hay corrientes subterráneas. Sin embargo, otros consideran que las grutas más que formarse por corrientes de agua violenta, se deben a que al penetrar éstas en una zona determinada

y escurrir bajo un sustrato dado, va disolviendo a las rocas, se van formando diversas cámaras que van creciendo conforme el agua se desliza por las paredes; algunas de las cuales se llegan a debilitar uniéndose unas cámaras con otras agrandando la caverna y así sucesivamente; con el tiempo se unen varias cámaras produciéndose pasadizos. Ahora bien, el agua que se desliza por las paredes se infiltra llevándose ese material disuelto, pero cuando la caverna es muy grande, al escurrir el agua sobre las paredes, una parte del material se deposita ahí, para concrecionarse por precipitación y formar una columna, y en otros casos el agua, que ya ha disuelto una parte por donde ha pasado, al desprenderse del techo de la caverna, no lo hace de manera violenta, sino que lo efectúa goteando, esto se presenta en donde existen fisuras por donde el agua puede infiltrarse. El mecanismo de las estalactitas es el siguiente: el agua que circula por las fisuras contiene $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ disuelto, pero al salir por el techo de las cavernas pierde presión y queda el bióxido de carbono libre (agua acidulada) y el $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ se transforma en CaCO_3 , este último es poco soluble en el agua y se precipita, pero si esto aumenta debido a la evaporación, se separa un poco de CaCO_3 para formar a la estalactita. Co-

Fig. 52. Entrada de la gruta de Ta Estrella



... de la entrada de la gruta de Ta Estrella, se puede observar la gran cantidad de estalactitas que se han formado en el interior de la caverna. Estas estalactitas son columnas de CaCO_3 que se han formado por la precipitación de CaCO_3 a partir de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ disuelto en el agua que circula por las fisuras de la roca. La formación de estas estalactitas es un proceso lento que puede durar miles de años. En la entrada de la gruta de Ta Estrella, se puede observar también la gran cantidad de estalagmitas que se han formado en el interior de la caverna. Estas estalagmitas son columnas de CaCO_3 que se han formado por la precipitación de CaCO_3 a partir de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ disuelto en el agua que gotea desde el techo de la caverna. La formación de estas estalagmitas es un proceso lento que puede durar miles de años.

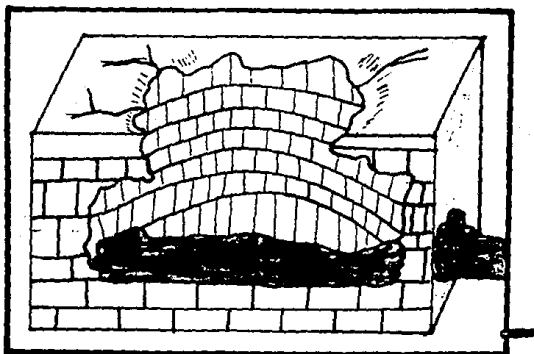
mo la gota va aumentando de tamaño llega a desprenderse y caer en el suelo y una parte del $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ disuelto en el agua se transforma en CaCO_3 y así conforme van cayendo las gotas se va depositando este material para conformar una estalagmita que irá creciendo de abajo hacia arriba hasta que llega a unirse con la estalactita y formar una columna o estalagnato. La columna en su mayoría es en forma compacta, pero sobre ella suelen verse velos o derrames de manera caprichosa con diferentes tonalidades.

Topografía karstica

En regiones en donde predomina el suelo calizo, el agua principalmente de lluvia, se infiltra rápidamente según el grado de permeabilidad, de este modo no existen aguas superficiales o sea ríos. A los paisajes formados de esta manera se les llama paisaje kárstico, nombre que proviene de una provincia llamada Karst, en donde se han estudiado con más detenimiento estos fenómenos de erosión. Las formaciones más impresionantes de este paisaje son las dolinas, poljes, uvales y cenotes.

Dolina. Es una cavidad de diverso tamaño producto de la corrosión química, cuya profundidad puede ir desde unos cuantos metros a más de 500.

Fig. 51. Muestra de un cenote, típica forma en Yucatán



Polje. Es una cuenca cerrada, con fondo plano aluvial, bordes escarpados y drenaje subterráneo. Se produce por ampliación de dolinas y uvalas o por hundimientos.

Uvalas. Son cavidades muy grandes de paredes verticales y fondo irregular, están formadas por la unión de varias dolinas.

Estos grandes huecos comienzan por ser pequeños pozos de infiltración, que son conductos verticales que comunican el exterior con las corrientes subterráneas. Estos pozos () son los lugares por donde el agua superficial, producto de las lluvias suelen introducirse, debido a la acción erosiva del agua, estos pozos se van agrandando en anchura y profundidad, y muchas veces sus paredes se desploman agrandándose mucho más para formar esos sumideros o embudos, con paredes casi verticales de más de 20 metros y diámetro de más de 100 metros. Si bien estas dolinas crecen por la acción disolvente de las aguas al deslizarse por sus paredes, muchas de ellas se deben a hundimientos de techos de cavernas producto de la disolución subterránea. En Yucatán suelen existir enormes cenotes que son cavernas cuyas bóvedas se mantienen hasta nuestros días apareciendo dentro de ellas esos hermosos lagos cubiertos de lama verde y cuya profundidad sobrepasa los 100 metros.

Fig. 52 a) Entrada superficial de una dolina
b) Depósito de agua en el fondo de un cenote



La mayor parte de las aguas en este paisaje se localizan en forma de ríos subterráneos que comunican a los cenotes entre sí, y no solamente a estos sino también a un sinnúmero de pozos. Las aguas subterráneas dan origen a una serie de conductos o túneles de las más diversas formas, pasadizos horizontales que se ramifican a manera de un gigantesco árbol, que comunican salas, o que se transforman en simples grietas. A veces se presentan lagos internos y grandes acumulaciones de materiales diversos.

En muchos casos se ha observado que dentro de este paisaje se llegan a localizar diversos pisos de cavernas y conductos lo que nos indica que la zona bien pudo tener movimientos de ascenso, de tal forma que ésta quede como una zona seca, y entonces el río formará otra gruta más abajo. Esto no siempre se debe a levantamiento.

El agua en general se desliza a manera de un enorme río que va a descargar bajo el nivel del mar en forma de un gigantesco manantial.

GLACIARES

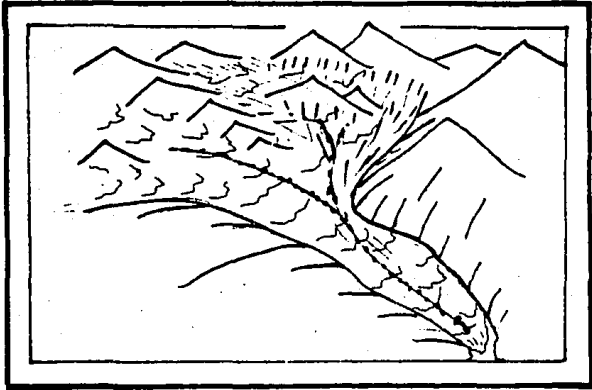
Influencia geológica

La acción erosiva de las nieves no se presenta en todas partes, se circunscribe solamente a aquellas zonas en donde la temperatura baja considerablemente, ya sea en invierno o existe de manera permanente como sucede en las regiones polares o partes muy altas de las montañas del Mundo. En invierno, en zonas de latitudes altas la nieve cae de manera considerable, formando extensos campos de nieve (Firn) que en verano se funden y desaparecen y sólo van a permanecer más allá del llamado límite o línea de las nieves en donde sí se acumulan por largo tiempo, y podríamos decir que de manera permanente siendo donde se presenta de mejor forma su acción.

Este nivel de las nieves perpetuas se localiza alrededor de la Antártida hasta el Polo Sur y desde la parte media de Groenlandia hasta el Polo Norte.

Por la altura, los glaciares se inician en algunas regiones desde los 2 500 metros y llegan hasta los 7 000 metros en el Himalaya teniendo diferentes alturas, según las montañas del Mundo.

Fig. 53. Forma como la nieve de un glaciar se desliza valle abajo.



La mayor parte de las áreas cubiertas por los glaciares se localizan en el Polo Sur, ocupando una área proximada de más de 14 millones de kilómetros cuadrados, le sigue el área polar del hemisferio norte con 2 millones.

En estas zonas polares es en donde se acumula la mayor parte del hielo del Mundo, se han logrado registrar regiones en donde el espesor de los hielos sobrepasa los 4 000 metros como sucede en la Antártida, y los 3 000 metros en el Polo Norte.

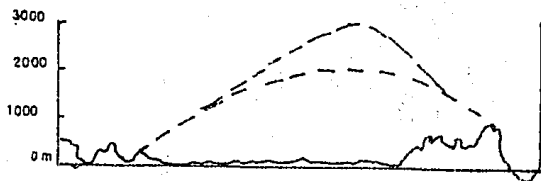
Origen de los glaciares

Los glaciares son enormes masas de nieve que se deslizan lentamente desde las partes altas de las montañas o desde las grandes acumulaciones polares horizontales.

Los glaciares están formados por enormes mantos de nieve recristalizada que se desliza siguiendo la gravedad y empujados por las mismas nieves.

La nieve al caer está formada primero por una serie de cristales de formas exagonales que se originan en zonas en donde la

Fig. 57. En esta figura se muestra el espesor de la capa de hielo que alcanza en Groenlandia



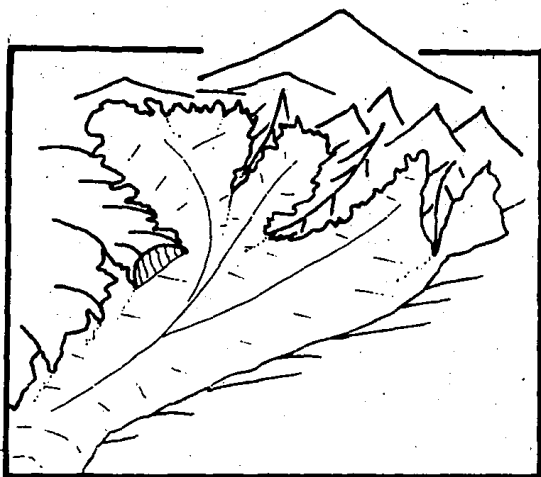
El manto de hielo sin duda es más extenso en el Polo Sur, o sea en la Antártida, aquí esta capa se extiende por más de 14 millones de kilómetros como vimos antes y con un espesor hasta de 4 000 metros. La capa de hielo no se limita solo a la zona continental, sino que con frecuencia se extiende sobre la superficie del mar a varios kilómetros de la tierra.

c) Glaciares de Pie de Monte. Se llaman así a aquellas masas de hielo que se deslizan desde varios valles y se van a unir en una sola para después bajar por la falda de la montaña como un manto continuo.

Glaciares Escandinavos.

Son una variedad de los glaciares de valle, a estos también se les suele llamar glaciares de meseta, ya que fluyen de una zona plana hacia abajo, ramificándose en varios brazos que se deslizan desde el centro hacia la periferia.

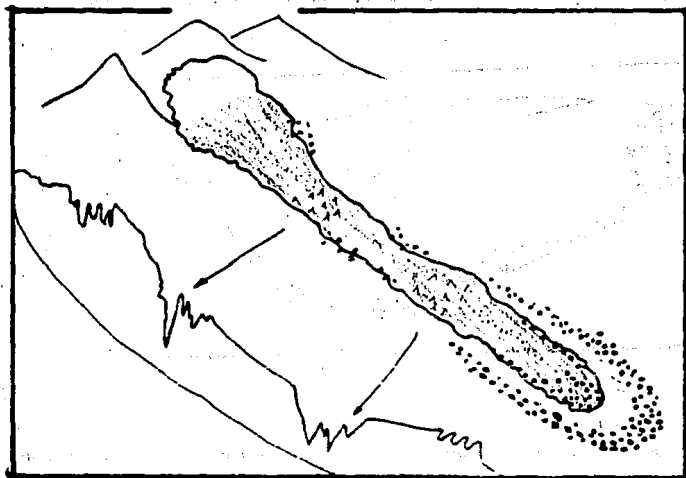
Fig. 58. Manera como un glaciar de pie de monte se desliza desde varios valles.



Grietas o rimayas

Las grandes corrientes de nieve al deslizarse muchas de las veces se inclinan, cambian de curso, se estrecha y se amplían. Estos constantes cambios de adecuación a las formas del relieve por donde se deslizan van haciendo que sobre su superficie se presenten grietas transversales, siendo estas más abundantes en la parte alta, debido a la plasticidad menor. En zonas de escalones en donde la nieve tiene que bajar, ésta se rompe originando aberturas a las cuales se les llama rimayas. Durante el día por influencia solar, el hielo se derrite y el agua de fusión escurre agrandando la grieta, pero en otros casos el agua se congela durante la noche, produciendo tal presión que ocasiona el desprendimiento de bloques, y la formación de un gran número de puntas dentro de la rimaya a profundidades de más de 80 metros.

Fig. 59. Formación de las rimayas

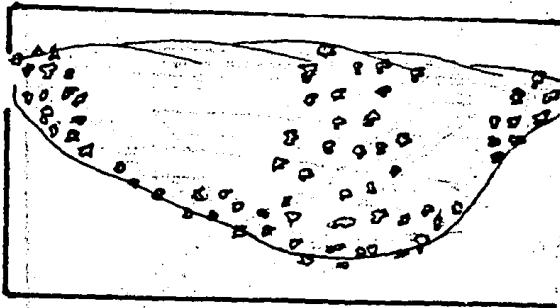


Acción erosiva de los glaciares. La acción de los glaciares se manifiesta de tres maneras: disgregación o erosión, transporte y depositación. En su caminar, las masas de hielo van arrancando enormes cantidades de materiales y cuando su volumen es considerable, ya que la erosión no se presentará tan sólo por el arranque del hielo, sino también por la presión que ésta ejerce sobre los lugares por donde va pasando. Los materiales previamente arrancados y llevados por las nieves sirven a su vez como una gran máquina trituradora (Detersión), que no solo sirve para arrancar a otros, sino que al pasar por las rocas fijas, las abrasionan, pulen, rallan, arañan, raspan y producen surcos en ellas (Detracción), desde unos cuantos centímetros hasta varios metros; a éstas se les llaman estrías glaciares y a las rocas pulimentadas por la acción de los hielos y también el lugar se llama Lamiar. El material más fino como arenas, también ejerce su accionar actuando como un fino esmeril o lija, que pule a las rocas, las redondean y producen a las rocas aborregadas.

El mismo material que va con el hielo también sufre cam-

bios, erosionándose y transformándose en rocas redondeadas y es-
triadas a éstas se les suele llamar cantos erráticos.

Fig. 60. Material depositado por un glaciar (Morrena)

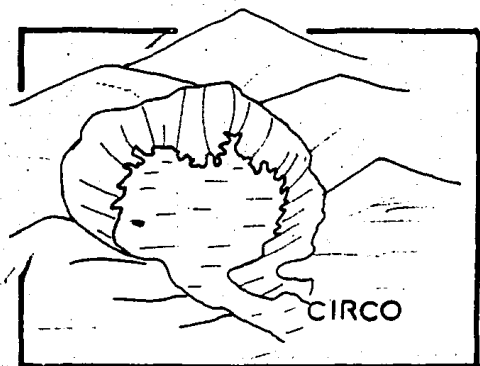


Como consecuencia de la erosión glacial se llegan a formar paisajes especiales como los Circos, Cares, Horns, Aristas y Cuellos.

Circos. Son grandes depresiones a manera de un gigantesco anfiteatro, con paredes verticales abruptas labradas por la acción del hielo. Cuentan con un lado cortado por donde sale la nieve. Se localizan en la parte más alta de una montaña en donde las nieves se depositan, pero en verano las nieves se llegan a derretir para formar un lago intermontano (tarn).

El origen de un circo parece ser que se inicia en la época de verano, a partir de una zona de campo de nieve. En verano, la nieve se derrite y se forma un lago, cuya agua se infiltra a través de las grietas del fondo, pero al venir la noche, la temperatura desciende y esta agua se congela actuando como una cuña que va a levantar o aflojar el lugar en donde se introdujo, así va creciendo el fondo del circo pues los materiales arrancados son llevados tanto por corrientes de agua como por soliflucción, hasta formar una verdadera cuenca que se va agrandando con el tiempo y en donde la nieve se deposita para salir posteriormente formando un pequeño glaciar.

Fig. 61. Circo, lugar en donde se depositan las nieves en la parte alta.



Cares. Son oquedades pequeñas en forma de cuchara; se podría decir que son pequeños circos ya que cuentan con paredes abruptas y salida por uno de sus lados y hasta su origen corresponde con los circos.

Horns. Son picos que se encuentran en las montañas en forma de cuerno alrededor de un circo.

Aristas glaciales. Es un borde afilado que se encuentra alrededor de los circos y se deben al delgazamiento de las paredes de los circos en las altas montañas.

Cuello. Es un desfiladero o paso en la cresta de una montaña en una zona de contacto de dos circos.

Fiordos. Son entrantes en las costas producidas por la influencia de los glaciares al deslizarse por ellas. El glaciar al deslizarse por las costas, va aflojando y posteriormente arrancando a los materiales y así lentamente se van cayendo uno y otros arrastrados para que la costa se carcoma y se produzcan pequeñas

Fig. 62. Diversas formaciones glaciares

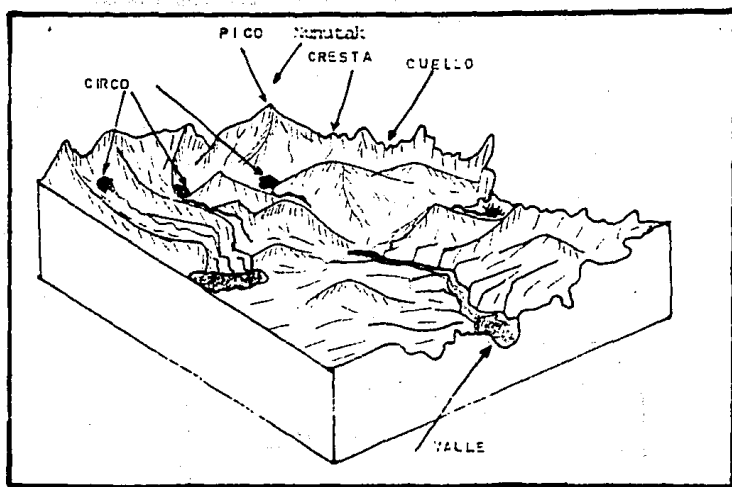
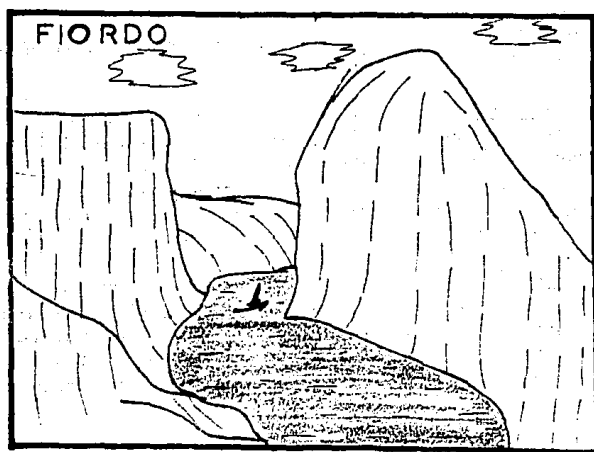


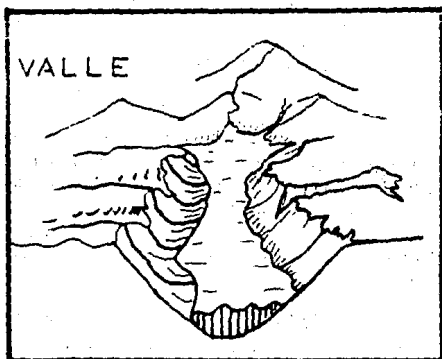
Fig. 63 Un fiordo



bahías, el hecho de que existan salientes, es porque las rocas tienen diversa dureza y por lo tanto unas fueron más resistentes a otras. En realidad los fiordos son antiguos valles glaciares inundados por el mar.

Valles glaciares. Las lenguas de glaciación, al descender, van arrancando materiales y produciendo los valles de glaciación, que son cortes producidos por las nieves. Se distinguen de los ríos porque estos valles tienen la forma general de U en donde el fondo es plano cóncavo, pero las pendientes tienen una gran inclinación la mayor de las veces de 45° . Es también frecuente la existencia de enormes escalones a lo largo de su curso llamadas barras rocosas, pero principalmente se caracterizan por un fondo estriado, pulido con existencia de rocas aborregadas.

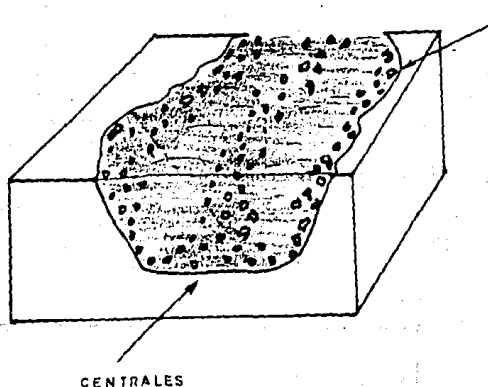
Fig. 64. Valle glaciación.



Transporte y depositación. Las lenguas glaciares, al deslizarse, transportan enormes volúmenes de materiales en suspensión; esto materiales, pueden ser desde pequeñas partículas de arena o arcillas o limos hasta grandes pedruzcos que la nieve va a depositar en el centro o en los lados para formar a las morrenas, distinguiéndose los siguientes tipos:

a) Morrenas Laterales. Son depósitos que se establecen en los lados del glaciación formados por diversos fragmentos rocosos que han caído en esa parte tanto por el corrimiento de las tierras en las laderas de las montañas, como por el simple transporte en esa zona.

b) Morrenas centrales. Son depósitos de materiales que se establecen en la parte media de un glaciar debido a la unión de dos glaciares, en algunos no sólo se observa la existencia de una morrena central sino dos.



LATERALES

Fig. 65. Manera como se depositan los materiales sueltos (morrenas)

c) Morrenas centrales de fondo o dryft. Están formadas por el material que es llevado por el glaciar en el centro profundo, se deben a la destrucción del fondo debido a la masa en movimiento y también a una transportación de la nieve al encontrar guijarros o fragmentos que se incorporan a ésta en forma de carga, en la mayoría de los glaciares continentales la existencia de este tipo de morrenas son comunes.

d) Morrenas fijas. También se les llama morrenas de retroceso o morrenas fijas; se producen porque al disminuir el glaciar estos materiales quedan donde la lengua del glaciar los dejó o donde se derritió, en general éstos indican la zona de retroceso existiendo en esa parte todo tipo de morrena: laterales, centrales o terminales.

e) Morrenas terminales. Los materiales que transportan las nieves durante largos años, los van a depositar por fin en el extremo de la lengua, aquí la nieve se derrite y se depositan grandes acumulaciones de estos formando bordes, cordones o montículos, se pueden formar tanto por el empuje del glaciar como por el deshielo de éste, de esta manera también se les llama morrenas frontales. Aquí es donde se depositan todos los materiales transpor-

tados durante el curso del glaciar. Estas morrenas son indicadores de hasta adonde llegaron las nieves en diversos periodos.

Las morrenas terminales están formadas por grandes depósitos de material glaciar, cuando se localizan sin estratificar se llaman til y cuando se consolidan forman a las tilitas, estas últimas pueden ser formadas desde pequeñísimas partículas hasta grandes rocas.

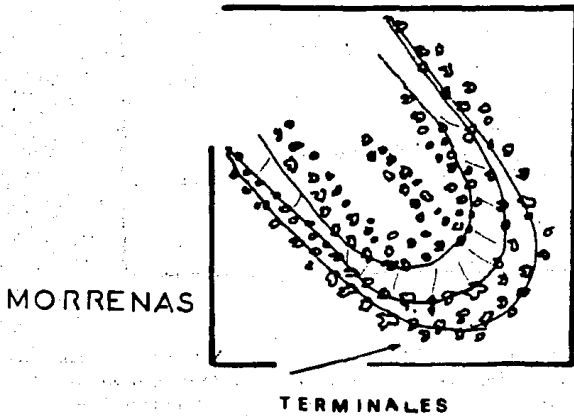
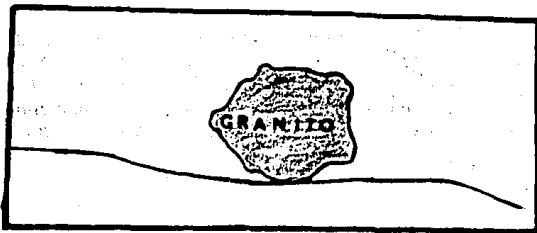


Fig. 66. Diversos tipos de morrenas

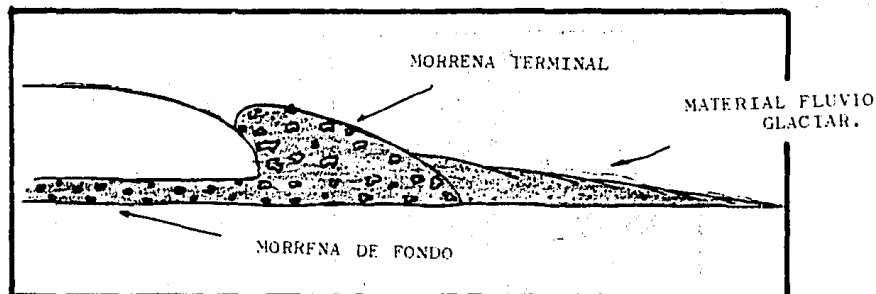
Bloques erráticos o cantos erráticos. Algunas rocas que no corresponden a los materiales depositados por el glaciar se llegan a encontrar de manera aislada, se cree que son transportadas desde grandes distancias, en diferentes periodos glaciares y han quedado ahí como testigos; cuando son varios, dispersos en una zona determinada originan los llamados trenes de peñascos.

Fig. 67. Canto errático



Depósito fluvio-glacial. Frente de la mayoría de las morrenas terminales se depositan enormes cantidades de material, dejado ahí por las corrientes de agua de fusión, este material llega a formar extensos lechos de arena y grava.

Fig. 68. Morrenas



Drumlins. Son colinas o lomas alargadas en sentido de la corriente de glaciar, están formadas por arcillas y otros materiales (tilitas). Su tamaño puede ser desde unos 60 metros hasta varios kilómetros de largo, su anchura es menor, ya que la mayoría son más largos que anchos y la altura puede ser hasta de unos 50 metros. Se llegan a encontrar dispersos para formar los capos de Drumlins en zonas de influencia de glaciares continentales. Su origen es incierto pero se cree se deban a formaciones subglaciares relacionadas con salientes rocosas.

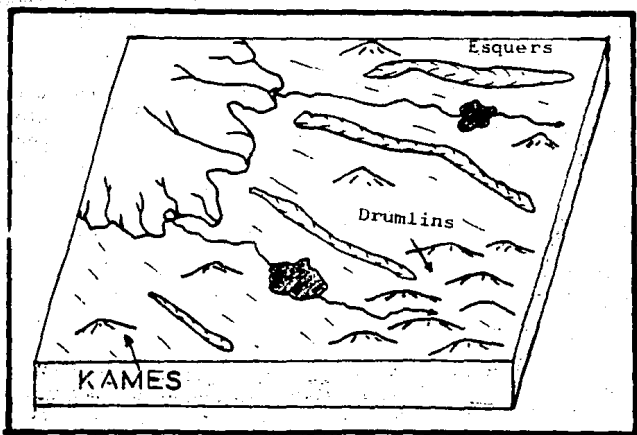
Esquers. Son grandes cordones paralelos a las corrientes de los glaciares con una longitud desde unos cuantos metros hasta decenas de kilómetros, parecen ligeras cordilleras de cerros con alturas de 5 a 40 metros, algunos se subdividen y forman ligeras colinas alargadas.

Están formados por arenas, guijarros, cantos y gravas. No se sabe su origen, considerándose que puede ser producto de corrientes fluvio-glaciares, actuando como un intenso río que al deslizarse va depositando sus materiales en sus márgenes levantándose éstos como una larga barrera lateral, o material depositado en un túnel glaciar.

Kames. Son pequeñas colinas dispersas de formas caprichosas que se elevan hasta una altura aproximada de 15 metros. Se forman de arenas, gravas, guijarros y arcillas. Generalmente se localizan en aquellas zonas en donde existieron aberturas en los hielos, pero la existencia de arcillas, predispone la creencia de que más bien se originaron en zonas de aguas estancadas.

Varvas. Son depósitos arcillosos que alternan con otros más claros, o sea, existe una capa de material fino y otro de grano grueso. Se producen como consecuencia de una estratificación diferente entre una estación del año y otra; por ejemplo: en verano como consecuencia de la fusión de las nieves, las aguas llevan al lugar arenas, limos, arcillas, los materiales más gruesos se depositan en el fondo y forman una capa, pero en invierno cuando el agua se congela, se asientan las partículas finas sobre las partículas más gruesas de verano.

Fig. 69. Modelado glaciar



Erosión marina

Como sabemos, las aguas cubren tres cuartas partes de la Tierra, un 71 % quedando sólo el 29 % a las tierras emergidas, pero éstas quedan rodeadas de agua. Por este motivo diremos que todas las costas de este planeta han sido labradas por el constante trabajar de el agua de los mares. La acción de las aguas marinas se ha presentado desde el primer día en que estas se establecieron sobre el planeta; con sus movimientos de ascenso y de descenso. Si vamos al mar, veremos como las aguas están en constante movimiento sin cesar un momento, nosotros las observamos en la superficie, pero sabemos que este movimiento también se presenta en las grandes profundidades. Es posible que la causa sea distinta pero en las grandes trincheras de los océanos corren grandes corrientes como impetuosos ríos. Los movimientos de las aguas son producidos por las olas y las mareas y, en algunos casos esas olas son ocasionadas por vientos fuertes de tormenta que se impulsan violentamente sobre las costas y, en otros, son las características Tusanamis o sea, olas sísmicas que se hacen sentir violentamente, originando inundaciones. Las mareas, esas corrientes lentas e imperceptibles que parecen moverse sin importancia, también son causa de grandes modelados en la corteza y aunque las vemos lentas, en algunos lugares son tan fuertes que hasta se ven en forma de corriente.

Podríamos decir que la culpa del modelado costero la tienen las olas y las mareas porque en ellas existen además elementos vivos, factores químicos que junto con los movimientos producen esas costas.

La acción de las aguas se acentúa de cuatro formas:

- a) Impacto hidráulico
- b) Abrasión
- c) Corrosión
- d) Corrasión

A estas cuatro todavía podríamos agregar otros procesos como el transporte y la depositación.

Acción Hidráulica. Al golpear el agua sobre la costa abrupta es capaz de actuar como un enorme martillo que constante e ininterrumpidamente se deja sentir sobre las rocas costeras. Se ha con-

siderado que la fuerza con que se golpea el agua es de aproximadamente 3 000 kg/m² en verano pero puede aumentar en invierno hasta los 11 000 kg/m².

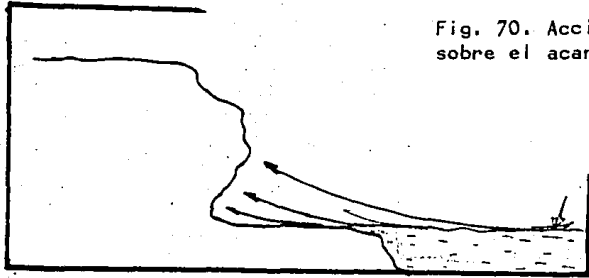


Fig. 70. Acción del agua sobre el acantilado

Cuando se llegan a presentar tormentas ciclónicas o monzones, la fuerza de la ola puede llegar a más de 35 toneladas. La fuerza con que se impulsa el agua sobre la costa levanta fragmentos o bloques de varias toneladas de peso que la misma agua utiliza junto con otros materiales como arenas, guijarros, etc. para que la acción erosiva sea más fuerte. El constante accionar del agua llevando materiales en suspensión produce la formación de cavidades, algunas son verdaderas cuevas producidas por el impacto constante del agua y de los materiales que lleva actuando, estos últimos como una metralla que va perforando la roca hasta que forma esas cuevas que en muchos casos, van a debilitar el techo y se derrumban para que el acantilado retroceda y así, constantemente se va produciendo hasta que aquel lugar se convierte en playa o plataforma de abrasión cubierta de arenas y guijarros que siguen trabajando para pulir más el material.

La velocidad con que se erosiona el acantilado dependerá de su dureza, erosionándose con más rapidez aquellos que están formados por rocas blandas, asimismo por las formadas por salientes en donde estos se irán desmoronando de manera más rápida.

El agua también actúa de forma directa, ya que la compresión y expansión del aire de manera alternada por la presión de las olas, tiende a disgregar a las rocas; esta acción en muchos casos puede llegar a producir cavernas o cuevas costeras y existen casos, en donde el techo de esas cavernas tiene huecos por donde el agua sale en forma de chorros empujados por las mismas olas; a estos se les llama agujeros soplantes o bufadores.

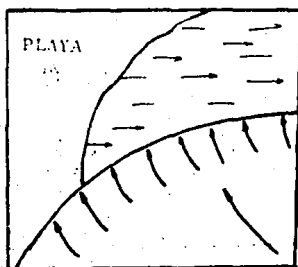
Si bien, el agua que se proyecta sobre el cantil ejerce una fuerza destructora cuando se introduce en las grietas violentamente, levanta las pequeñas láminas de la roca y las lanza como proyectiles sobre las mismas o las comprime, así la grieta se ve agrandada.

Los materiales que caen al pie del cantil por un tiempo pueden aminorar la fuerza con que el agua ataca al cantil, pero en este caso son éstos los que van a sufrir el embate de las aguas, el constante ir y venir sobre ellas las pulirá hasta convertirlas en arenas, y entonces estas mismas servirán de material de abrasión, tanto sobre el lugar en donde se encuentra como sobre el cantil hasta que se convierten en un material muy fino que el agua se llevará hacia el interior para depositarse en el fondo del mar.

En algunas costas en donde sobresalen las rocas duras, llegan a quedar estas como promontorios para dar origen a los cabos, puntas o agujas y en donde el agua ha podido penetrar dentro de la costa se originan bahías o ensenadas y hasta fenómenos especiales como los arcos y escollos que existen en el Cabo de San Lucas, Baja California.

Abrasión. En las playas o terrazas marinas, existen grandes cantidades de arena o guijarros que son empujados por las olas hacia arriba y a su vez la resaca los lleva hacia abajo; el hecho es que ese constante ir y venir del material lo va pulimentando hasta convertirlo en una arena suave que se va asentando en las zonas más profundas; en cambio los materiales más gruesos quedan en la parte más alta formando una playa gruesa.

Fig. 71. Acción de las olas sobre la costa



El fenómeno de convertir el material grueso en arena, es debido a que el agua al deslizarse a través de ellos en su movimiento continuo va desgastando, triturando, rodando y en forma general abrasionando el material hasta darle una textura fina.

Es común observar que los elementos más finos son redistribuidos en los lugares más profundos para dar origen a los sedimentos litorales y a los que yacen a gran profundidad, o sea, a los fangos abisales.

Los sedimentos litorales pueden formar por influencia de las olas y mareas a las playas o entrantes; algunos sedimentos cuando llegan a acumularse forman barreras, albuferas o islas unidas a la tierra por un cordón litoral (tomboles).

Los cordones litorales son islas alargadas paralelas a la línea de la costa sin quedar conectadas con ellas. Cuando cierran las bahías producen las barreras de bahías y cuando los cordones litorales cierran una pequeña bahía producen las lagunas costeras y la salida de ellos hacia el mar produce las caletas.

Corrosión. Es la acción química del agua sobre aquellas costas en donde predomina la caliza y la dolomita. El agua del mar al entrar en contacto con estas rocas las disuelve y produce en ellas quemaduras como cárcavas y cavernas.

Transporte y depositación. Se considera que el material que se encuentra en las costas bajas como las playas, se ha depositado en éstas después de un incansante trabajo de las aguas que los ha llevado y traído por la acción de las olas y mareas. En un principio el agua lleva en suspensión arenas y guijarros y los deposita laderas arriba, pero la misma agua, o sea la resaca, los vuelve a traer hacia abajo dejándolos a medio camino; como resultado de esto, los guijarros se van colocando cada vez más arriba para dar origen a promontorios de arenas gruesas que se conocen como barras.

Una parte de los materiales finos son arrastrados hacia aguas profundas para depositarse en la plataforma continental entremezclándose con arenas, grava y guijarros llevados por las corrientes de los ríos junto con grandes capas de lodo y materiales de origen calcáreo producto de arrecifes de coral.

Los materiales que se encuentran a más profundidad son en su mayoría más finos (depósitos terrígenos) derivados de la tie-

rra y depósitos pelágicos derivados del mar.

En realidad a los materiales depositados en el seno de las aguas oceánicas se les ha clasificado en: sedimentos litorales, sedimentos de la plataforma continental, sedimentos de talud y sedimentos abisales.

a) Sedimentos litorales. Son los que se encuentran a lo largo de todas las costas formados por las playas o las zonas que quedan al pie de los acantilados y en donde se depositan materiales producto de su propia destrucción. La extensión de estos sedimentos depende de la anchura de la costa así como su estructura. Las condiciones diversas que se encuentran aquí, hacen que sobre ésta se localicen los más diversos materiales, desde las grandes rocas hasta los depósitos extensos de arena que se entremezclan con materiales de origen orgánico, que al acumularse, forman figuras caprichosas de arena en las playas como son los cordones, las albúferas y zonas pantanosas en donde crece tupida vegetación de mangle. Otras zonas son enormes regiones cubiertas de plantas de coral a manera de una intensa selva que se va transformando en capas de material calizo.

b) Sedimentos continentales. Inmediatamente a esta zona y a poca profundidad, no más de 200 metros, se localizan grandes depósitos de carácter detrítico, organógeno y químico. Yendo desde la zona litoral hacia el interior se encuentran primero materiales groseros o sea de grano grueso, pero conforme se introduce, estos materiales se van encontrando más finos, o sea de menor tamaño hasta llegar a los depósitos de cienos.

Por ser una de las zonas más pobladas por animales, la zona continental tiene enormes cantidades de yacimientos de origen orgánico y químico. Muchos animales utilizan elementos químicos para construir sus caparazones, siendo el carbonato de calcio y el sílice los más usados, así que cuando estos organismos perecen dejan grandes depósitos de estos materiales en forma de rocas como son los corales o capas de conchas.

Los sedimentos químicos son resultado de la existencia de sales que existen en solución en las aguas y que son asimiladas por las plantas y animales o que se encuentran disueltas libremente. El elemento que existe de manera abundante es sin duda el carbonato de calcio, éste es mayor en las zonas con aguas cálidas y menor en aguas frías debido a que aquí se dificulta su precipitación, pero en cambio en aguas cálidas la flora absorbe el CaCO_2 y

posteriormente lo precipita de tal manera que éste es abundante.

Otros productos químicos que son abundantes son también el hierro, manganeso y óxido de aluminio que se cree son llevados al mar por las corrientes de los ríos.

c) Sedimentos del talud continental. Como es una zona que se encuentra desde los 200 metros hasta los 6000 metros, la cantidad de sedimentos organógenos es muy reducida.

La mayor parte de los sedimentos se deben a la existencia de caparazones y esqueletos de animales de material calizo o sílice, éstos varían poco siendo en su mayoría homogéneos. Una gran parte son barros que han subdividido de acuerdo con su color en: barros azules, rojos y verdes.

a) Barro azul. Es un sedimento de color azul gris arcilloso formado por un porcentaje alto de carbonato de calcio, en algunos casos hasta el 50 %, por lo que se considera que en su formación intervinieron caparazones de organismos marinos; otra parte de su composición lo forman compuestos férricos como pirita, siderita, limonita y manganeso. Se localizan en los fondos oceánicos de más de 3 000 metros.

b) Barro rojo. Aunque su extensión dentro de las cuencas oceánicas es más reducida, este barro está formado por óxido de hierro en su mayor parte, lo que le da una ligera coloración rojiza; se cree que estos se deben a la presencia de materiales lateríticos provenientes de zonas tropicales y que han llegado hasta esas profundidades, complementan a éstos carbonato de calcio de origen orgánico y arcillas.

c) Barro verde. Está formado por arenas finas pero principalmente de glauconita que se compone de óxidos de Al, Si, Fe, Ca producto de la descomposición de granos de arena. En el origen de la glauconita contribuyeron sustancias orgánicas del plancton. Se encuentra en forma de granos o relleno de caparazones foraminíferos junto con sales fosfóricas de calcio.

La mayor parte de éste se encuentra en las partes medias de los taludes continentales a profundidades desde 300 metros hasta los 2 500.

Dentro del talud continental y en su parte más profunda se localizan junto con los anteriores, grandes capas sedimentarias

de cienos y barros de origen orgánico en su mayoría calizos. Se cree que éstos se forman por depósitos de organismos planctónicos que van cayendo hacia esta profundidad desde las zonas superficiales. Están formados por miles de conchitas, foraminíferos, algas microscópicas y pterópodos.

d) Sedimentos abisales. Estos tipos de sedimentos suelen llamarse también pelágicos o de mares profundos. Son en su mayoría de origen orgánico principalmente formados de globigerinas, radiolarios y diatomeas; es por eso que estos se clasifican: de origen calcáreo como los cienos formados por globigerinas y los de origen silicio como las diatomeas y los radiolarios.

Los cienos de globigerinas están formados por conchitas de animales unicelulares diminutos, pero en general lo que más se encuentra es un cieno esponjoso de color blanco amarillento con cienos de foraminíferos de origen batial. El hecho de que estos estén verdaderamente desmenuzados se debe a que al caer se llegan a desintegrar o a disolver y son muy raras las que llegan a conservarse completos.

Se encuentran de manera abundante en todas las zonas con aguas oceánicas tropicales, cubriendo enormes áreas de los océanos Atlántico, Pacífico e Indico.

El cieno de diatomeas, está formado por cuerpos silíceos de una alga marina llamada diatomea que junto con los radiolarios forman el cieno silíceo. La diatomea se observa con mayor abundancia en aguas frías y templadas como un barro amarillento que llega a contener foraminíferos.

Los cienos de radiolarios están formados por partes duras de minúsculos protozoarios llamados radiolarios, estos son los que se encuentran a más profundidad, de 3 000 hasta 8 000 metros. Se localizan en aguas del Océano Pacífico e Indico.

Las arcillas rojas son materiales muy finos que se forman lejos de la influencia de materiales de origen orgánico, por lo tanto se encuentran en los centros de las cuencas oceánicas a grandes profundidades de más de 4 000 metros hasta los 8 000. Contienen óxidos de fierro y manganeso por lo que toman una coloración ligeramente rojiza. En estudios realizados se ha encontrado que están formadas por elementos minerales y contienen también restos de materiales orgánicos aunque en pequeña proporción; en ellas se encuentran restos de foraminíferos, dientes de tiburón, auriculares de las ballenas, polvo de los desiertos, cenizas y material volcánico de origen continental y submarino, arcillas de origen

continental llevadas por los ríos, nódulos de manganeso, etc. La existencia de los restos orgánicos en el lecho nos indica lo lento que es la depositación de los sedimentos ya que algunos restos son de animales que hace mucho se extinguieron sobre la tierra. Estos depósitos se encuentran en todos los océanos, pero ocupan mayor extensión en el océano Artico. Parece ser que estos materiales son de origen cósmico y volcánico ya que es muy difícil que sean acarreados desde las zonas continentales por su lejanía.

Formas costeras ocasionadas por la acción del mar.

a) Acantilados. Son paredes casi verticales cortadas por las aguas, generalmente se encuentran en regiones en donde el paisaje montañoso se inclina mucho a la costa, o son costas que se han levantado por fuerzas de emersión de las tierras, sobre ellas es donde la fuerza del agua, al proyectarse constantemente produce cuevas costeras, puentes o arcos y en casos especiales pilares o farallones; con el tiempo éstos se llegan a convertir en suaves playas labradas por las aguas.

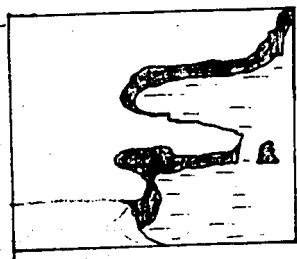
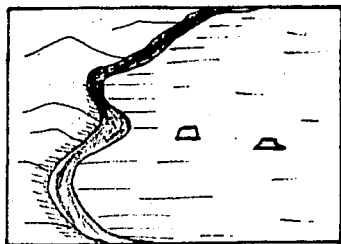


Fig. 72. Acantilados

Fig. 73

Playas





Acantilado y farallón.

b) Playas. Como ya vimos, son porciones bajas y extensas de terreno que se localizan a lo largo de algunas costas del mundo, en aquellos lugares en donde el agua ha ejercido su acción constantemente se producen esos arenales suaves que se conocen como playas.

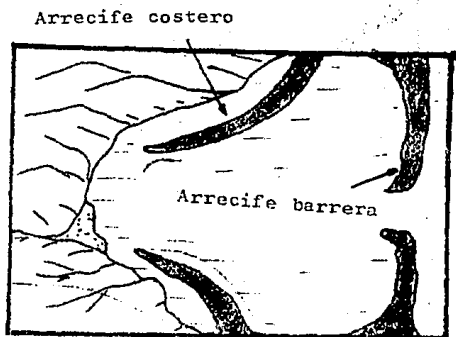
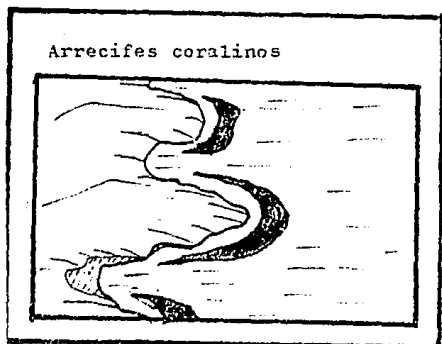
Muchas de las playas no son más que continuación de la plataforma continental, así que algunas serán muy extensas tanto en el exterior como en el interior de las aguas, caracterizándose por su baja profundidad cuando se encuentran al pie de un cantil, entonces éstas son estrechas y con aguas profundas.

c) Espolón. Su formación no es natural, son cordones de material diverso que el hombre construye en forma longitudinal para que la arena de las playas no se pierda, hacia el interior de la misma en intervalo y con abertura para que pueda entrar el agua.

d) Barras. A lo largo de las costas y a baja profundidad, se localizan promontorios arenosos que se forman por el empuje de las olas sobre la costa baja, el tamaño de estos depende de la fuerza de las olas así que los encontraremos de diversas alturas, como una variedad de éstas están las barreras de bahía que son camellones de arena que obstruyen la boca de éstas o los cordones litorales que en muchos casos dan origen a las lagunas costeras o albúferas.

Los corales están formados por pólipos coralinos que se desarrollan en forma de colonias y que viven en cámaras tubulares construídas con la cal que segrega cada animal, y al unirse unas con otras forman complejos en donde ellos viven.

Fig. 75. Arrecifes

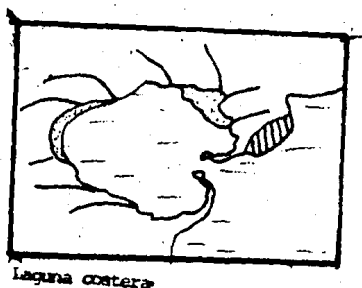
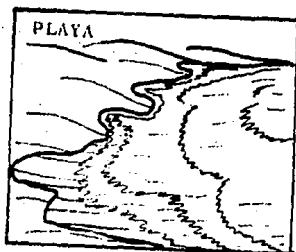


Podría pensarse que los corales solo se encuentran en regiones de aguas cálidas pero hay que indicar que aunque son más numerosos en estas zonas, los hay también en aguas templadas y frías como los que existen en costas inglesas "cup coral"; se trata de un coral que se parece mucho a una Anemone de mar (actinia) con tentáculos y boca que construye para alojarse en una envoltura de carbonato de calcio fija a la roca; existe otro tipo de coral en zonas costeras de Noruega que forman colonias ramosas que no forman arrecifes.

Los arrecifes tropicales tienen la característica de que se desarrollan de manera abundante. Llenan todo lugar soldándose unos con otros para formar una masa compacta de roca coralínea; siguen viviendo en ellas pero sólo en los bordes y en la parte superior de esta masa. Según estudios realizados sobre los corales, dentro de ellos viven plantas diminutas que producen un fenómeno de fotosíntesis, o sea que con la presencia de la luz solar, convierten el anhídrido carbónico y el agua en azúcar desprendiendo oxígeno en el proceso que enriquece a la zona y que van a utilizar los corales; a este proceso se le llama simbiosis y a los vegetales se les conoce como algas simbióticas; se cree que como consecuencia de la existencia de oxígeno generado por estas plantas, el coral crece con mayor fuerza o sea más aprisa.



Fig. 74. Diversas formaciones costeras:



e) Tómbolos. Son barreras litorales que unen a las tierras fijas con alguna isla.

f) Arrecifes coralinos. En aguas cálidas principalmente tropicales se presentan las formaciones coralinas, generalmente se hallan en aguas someras pero pueden venir desde grandes profundidades; necesitan aguas cálidas por lo que siempre se localizan dentro de las zonas ecuatoriales en donde el agua se encuentra con un porcentaje de 35.5 gramos de sal por litro. Existen también en regiones con elevaciones marinas costeras por lo que se encuentran en zonas costeras o formando atolones.

En una formación coralígena se presentan tres franjas arregladas paralelamente a lo largo de la costa. A este tipo de arrecife se le llama arrecife barrera. Primero se encuentra una barrera de arrecifes de manera reducida sobre un fondo de 30 a 50 metros que se extiende ampliamente, pero sobre ellos se localizan grandes capas de arena que forman cayos en donde puede crecer una vegetación de secano. Estos cayos son islotes casi rasos formando propiamente escollos. Posteriormente sigue un arrecife interior que también suele tener cayos y por último la tercera barrera. En un lugar no sólo existe un tipo de arrecife sino varios de ellos como son los costeros o franjeantes, los de barrera que ya vimos y los arrecifes laguna llamados también atolones.

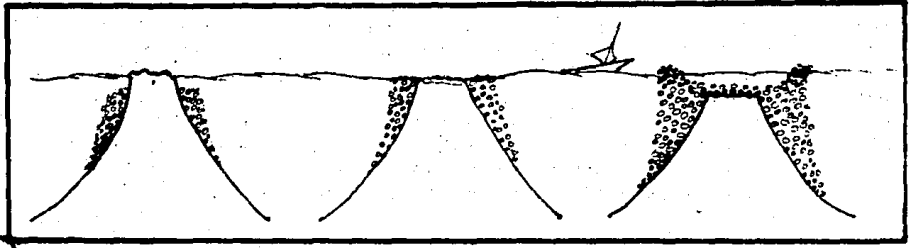
Los franjeantes son simples cornisas o corales que se encuentran adheridos a las rocas que bordean a las costas o islas.

En los de barrera se forman cadenas a cierta distancia de la costa separados por lagunas poco profundas.

Los arrecifes lagunas (atolones), son arrecifes barrera que tienen la forma de un anillo más o menos circular, casi cerrado, con paredes interiores escarpadas que rodean a un lago. El tamaño de estos atolones puede ir desde algunos kilómetros hasta los que tienen más de 100 kilómetros. El primero que determinó una teoría sobre los atolones fué Carlos Darwin; según él, los arrecifes barrera aparecen en regiones donde la tierra va hundiéndose lentamente; primero se origina un arrecife alrededor de una isla, sigue el hundimiento lento de ella con un simultáneo crecimiento de los corales que se transforma en una barrera surgiendo una laguna entre la barrera y el arrecife, al terminar de hundirse la isla forma un lago y el arrecife forma un atolón.

Junto con la teoría de Darwin existe la de Daly; este autor supone que los arrecifes actuales se desarrollaron durante la subida del nivel del mar que siguió al deshielo, probablemente los arrecifes se encontraban en la época glaciár sólo en zonas ecuatoriales, al sobrevenir un periodo interglaciár los corales se extendieron hacia zonas de latitudes altas, pero como no tuvieron tiempo suficiente para formar la clásica formación de arrecifes-barrera, se crearon con una estructura más definida; como muchos arrecifes son de este tipo en zonas de latitudes de 25°, se supone que éstos sufrieron, con las glaciaciones, serias modificaciones, indicándonos las condiciones climáticas de épocas anteriores.

Fig. 76. Formación de un atolón.



AGENTES INTERNOS

5

La corteza de la Tierra es una capa inestable que se está moviendo constantemente, de tal manera que la presencia de los sismos es una prueba irrefutable de su inestabilidad. Desde los inicios de la corteza y, supuestamente, de todas las capas, los movimientos estabilizadores o conformadores de la realidad superficial se han dejado sentir y en nuestros días siguen estos movimientos, es posible que den origen a otros continentes o a nuevas montañas, pero la verdad es que dentro de millones de años las formas superficiales de la Tierra serán muy distintas a las actuales.

Estudios realizados sobre los desplazamientos de la corteza han confirmado que muchos lugares que actualmente se encuentran sobre el nivel del mar, como Yucatán, se formaron bajo las aguas de los mares, que como sabemos, son de origen marino formada por una emersión del fondo y que actualmente está levantándose todavía. Si nosotros nos dirigimos a las costas y observamos detenidamente veremos que muchas de las playas han aumentado de extensión, muchos islotes se han unido a las tierras continentales para formar penínsulas, a muchos cordones litorales e islas de coral los encontramos unidos a las tierras, cuevas que fueron labradas por las corrientes u olas están ahora muy altas y ni una gota de agua les llega; pero así como existen zonas fuera del nivel del mar, también hay otras que están ahora bajo su nivel, en este caso se podrán observar grandes cordones coralinos a mayor profundidad, terrazas parcialmente sumergidas, fiordos bajo el mar y construcciones que ahora están cubiertas por las aguas.

Así también muchas zonas completamente terrestres se encuentran ahora bajo el nivel del mar; existen regiones que han sufrido hundimientos y levantamientos, algunos muy bruscos tanto de manera vertical como horizontal con desplazamiento de terreno y hasta separación de ellos para producirse grietas profundas y con ello grandes sismos con nacimiento de volcanes recientes, ejemplos de estos casos llenarían las páginas de un libro.

Explotaciones de yacimientos de petróleo han demostrado que los actuales mantos petrolíferos antiguamente fueron claros lagos

superficiales, pero que ahora se localizan a miles de metros de profundidad cubiertos de otros tantos de capas sedimentarias.

Movimientos epirogénicos

Sobre la observación de los estratos sedimentarios se ha encontrado que ha habido sobre la tierra periodos de intensa y de tranquila sedimentación, estas diferencias parecen ser causadas por regresiones, transgresiones y otros movimientos, pero sin duda son resultado de movimientos de ascenso y descenso, ya que en periodos de transgresiones se establecieron grandes capas sedimentarias bajo las aguas de los mares, pero cuando existieron regresiones la capa sedimentaria establecida fué muy raquítica, la causa de esto parece ser que se debió a grandes movimientos de ascenso y descenso. A estos movimientos de la corteza de la Tierra se les llama movimientos Epirogénicos que, en general, no dieron origen a formaciones plegadas o afalladas ni a discordancia. Para tratar de explicar estos movimientos se usa el término epirogénico para los lentos y el de orogénico para los rápidos derivados de plegamientos y fallas. En los últimos años se ha tratado de unificar a los dos términos en uno, el de orogénesis, sin embargo, no es de uso muy general y ha habido geólogos que opinan que debería usarse el término de tectogénesis para indicar plegamientos y el de orogénesis para indicar movimientos posteriores a éstos. Aquí utilizaremos la forma acostumbrada de usar el término Epirogénico para todo aquel movimiento oscilatorio de ascenso y descenso de la corteza de la Tierra y el de Orogénico para aquellos que produzcan formas especiales de la corteza derivadas de plegamientos y fallas.

Ahora bien, no dejamos de reconocer que los movimientos epirogénicos al formarse, pueden en dado caso, producir combamientos del terreno con el origen de pequeños plegamientos, al formarse cerros o lomas, pero estos no son de gran significación tectónica.

Los movimientos epirogénicos están plenamente comprobados en la existencia de zonas que muestran en sus diferentes partes la acción de emersión y regresión; en algunas columnas de edificaciones griegas se ha observado como se ha producido esto. En regiones de columnas actualmente fuera del agua, es posible ver cómo se encuentran deterioradas por la acción de animales de origen marino; esto nos hace pensar que en épocas pasadas estuvieron bajo el nivel del mar; podemos encontrar muchos ejemplos como acontece en las zonas Veracruzanas, en donde es posible observar cómo las

AGENTES INTERNOS

5

La corteza de la Tierra es una capa inestable que se está moviendo constantemente, de tal manera que la presencia de los sismos es una prueba irrefutable de su inestabilidad. Desde los inicios de la corteza y, supuestamente, de todas las capas, los movimientos estabilizadores o conformadores de la realidad superficial se han dejado sentir y en nuestros días siguen estos movimientos, es posible que den origen a otros continentes o a nuevas montañas, pero la verdad es que dentro de millones de años las formas superficiales de la Tierra serán muy distintas a las actuales.

Estudios realizados sobre los desplazamientos de la corteza han confirmado que muchos lugares que actualmente se encuentran sobre el nivel del mar, como Yucatán, se formaron bajo las aguas de los mares, que como sabemos, son de origen marino formada por una emersión del fondo y que actualmente está levantándose todavía. Si nosotros nos dirigimos a las costas y observamos detenidamente veremos que muchas de las playas han aumentado de extensión, muchos islotes se han unido a las tierras continentales para formar penínsulas, a muchos cordones litorales e islas de coral los encontramos unidos a las tierras, cuevas que fueron labradas por las corrientes u olas están ahora muy altas y ni una gota de agua les llega; pero así como existen zoras fuera del nivel del mar, también hay otras que están ahora bajo su nivel, en este caso se podrán observar grandes cordones coralinos a mayor profundidad, terrazas parcialmente sumergidas, fiordos bajo el mar y construcciones que ahora están cubiertas por las aguas.

Así también muchas zonas completamente terrestres se encuentran ahora bajo el nivel del mar; existen regiones que han sufrido hundimientos y levantamientos, algunos muy bruscos tanto de manera vertical como horizontal con desplazamiento de terreno y hasta separación de ellos para producirse grietas profundas y con ello grandes sismos con nacimiento de volcanes recientes, ejemplos de estos casos llenarían las páginas de un libro.

Explotaciones de yacimientos de petróleo han demostrado que los actuales mantos petrolíferos antiguamente fueron claros lagos

superficiales, pero que ahora se localizan a miles de metros de profundidad cubiertos de otros tantos de capas sedimentarias.

Movimientos epirogénicos

Sobre la observación de los estratos sedimentarios se ha encontrado que ha habido sobre la tierra periodos de intensa y de tranquila sedimentación, estas diferencias parecen ser causadas por regresiones, transgresiones y otros movimientos, pero sin duda son resultado de movimientos de ascenso y descenso, ya que en periodos de transgresiones se establecieron grandes capas sedimentarias bajo las aguas de los mares, pero cuando existieron regresiones la capa sedimentaria establecida fué muy raquítica, la causa de esto parece ser que se debió a grandes movimientos de ascenso y descenso. A estos movimientos de la corteza de la Tierra se les llama movimientos Epirogénicos que, en general, no dieron origen a formaciones plegadas o afalladas ni a discordancia. Para tratar de explicar estos movimientos se usa el término epirogénico para los lentos y el de orogénico para los rápidos derivados de plegamientos y fallas. En los últimos años se ha tratado de unificar a los dos términos en uno, el de orogénesis, sin embargo, no es de uso muy general y ha habido geólogos que opinan que debería usarse el término de tectogénesis para indicar plegamientos y el de orogénesis para indicar movimientos posteriores a éstos. Aquí utilizaremos la forma acostumbrada de usar el término Epirogénico para todo aquel movimiento oscilatorio de ascenso y descenso de la corteza de la Tierra y el de Orogénico para aquellos que produzcan formas especiales de la corteza derivadas de plegamientos y fallas.

Ahora bien, no dejamos de reconocer que los movimientos epirogénicos al formarse, pueden en dado caso, producir combamientos del terreno con el origen de pequeños plegamientos, al formarse cerros o lomas, pero estos no son de gran significación tectónica.

Los movimientos epirogénicos están plenamente comprobados en la existencia de zonas que muestran en sus diferentes partes la acción de emersión y regresión; en algunas columnas de edificios griegos se ha observado como se ha producido esto. En regiones de columnas actualmente fuera del agua, es posible ver cómo se encuentran deterioradas por la acción de animales de origen marino; esto nos hace pensar que en épocas pasadas estuvieron bajo el nivel del mar; podemos encontrar muchos ejemplos como acontece en las zonas veracruzanas, en donde es posible observar cómo las

personas que se bañan tienen que irse lejos de la orilla por el poco fondo que tiene la mayor parte del mar.

El ser humano, al tratar de explicar los grandes movimientos que conforman a los continentes y a las estructuras superficiales, ha ideado diversas teorías como la de la isostasia, y la teoría de los Geosinclinales, que por mucho tiempo han venido explicando el movimiento de los continentes; sin embargo, nuevas formas de explicación han dado a luz como la teoría de la contracción, teoría de Wegener sobre la deriva de los continentes, posteriormente la teoría de las Celdillas de convección y ahora la de las Placas Tectónicas.

En esta ocasión veremos cada una de las teorías con el objeto de que el lector vaya viendo el mecanismo de las teorías hasta la nueva explicación de la formación de la corteza con las placas tectónicas.

ISOSTASIA

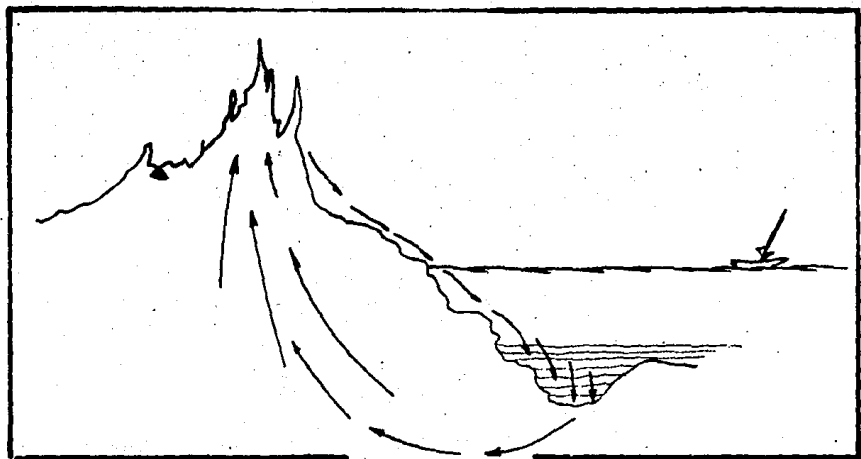
Sin duda uno de los movimientos íntimamente relacionados con los epigénicos fué el de la isostasia, entendiendo como tal al fenómeno de equilibrio entre las partes elevadas de la corteza y las zonas profundas marinas.

Esto quiere decir que todas las formas continentales soportadas por la corteza están compensadas por un defecto o exceso de masa subcortical.

Una explicación sobre este fenómeno la da Airy, el cual dice que todos los bloques de igual peso específico afloran en un substrato más denso, por lo que alcanzan diferentes profundidades, como sucede con un iceberg.

O sea, si existe un iceberg, al irse derritiendo naturalmente que lo efectuará sobre aquellas partes que queden sobre el nivel del mar, cuando se derrite la parte alta, las regiones que quedan bajo el nivel del mar tienden a subir. Supongamos la existencia de una montaña y, supongamos también, que es esta la parte más elevada de una masa de rocas que flotan en un substrato al igual que una masa de hielo, si le quitamos material a la parte alta, tenderá a elevarse y los materiales quedarán en la zona de deposición que estará en uno de sus lados para establecer como una carga que ejercerá presión para que se eleve dicha montaña.

Fig. 77. Movimiento de la isostasia



Con esta teoría se explicaba cómo en algunas partes en donde llegan materiales de los ríos, estos en vez de acumularse y crecer hacia arriba, se hunden y producen levantamientos sobre la superficie, en realidad este fenómeno estaba ampliamente emparentado con la formación de los grandes geosinclinales y formación de las montañas por plegamiento.

Otra manera de explicar el fenómeno de la isostasia, es que se supone que la corteza que se encuentra soportando a las montañas, es lo suficientemente fuerte como para sostener el peso tan grande de éstas, sin embargo muchos consideran que esto no puede ser porque las rocas no pueden soportar a un peso muerto.

Otra teoría es la de suponerse que la fuerza que hace que las montañas estén elevadas, todavía está en actividad y que los constantes sismos no son más que fuerzas en ese levantamiento junto con la actividad volcánica.

Otra supone que la corteza, tiene menos densidad que la capa sobre la que se encuentra (su substrato), o sea que la capa de la corteza descansa sobre el manto que es más pesado, de acuerdo con esto, la elevación de las montañas o el hundimiento de las cuencas van acompañadas por un engrosamiento o adelgazamiento de la corteza, en donde se da el ejemplo de las tierras Escandinavas

que una vez que se retiró la capa de hielo que las cubría, se presentó una elevación de esas tierras.

Vening Meinessz, supone que todas las cordilleras del Mundo, tienen raíces sílicas debido al proceso de plegamiento, considera que la corteza debió de encorvarse hacia el interior más denso, por esta forma muchas montañas de gran tamaño deben estar hundidas en un substrato. Estudios sobre el sistema de la plomada indican que ésta es atraída por la fuerza de gravedad hacia el centro, pero si existe alguna irregularidad entonces es atraída por la zona que contenga mayor concentración de densidad, ahora bien, esto se practicó en los montes Himalaya y se observó que éstos atraían a la plomada con una fuerza bastante fuerte, con lo que se dedujo que las raíces de esta montaña se encuentran muy profundas, correspondiendo con la teoría del encorvamiento hacia abajo en donde las capas sedimentarias fueron exprimidas, y arrugadas y elevadas por el reajuste isostático.

Muchos geólogos del Mundo, se inclinan a pensar que la mayor parte de las montañas de este planeta tienen su origen en la formación de los geosinclinales y que la mayoría de los movimientos de ascenso y descenso de las aguas no son más que producto de los fenómenos de intensa sedimentación que hizo que en cada período se presentaran movimientos formadores del relieve. Aunque es muy difícil llegar a una completa confirmación, nos inclinamos a considerar que los movimientos de ascenso y descenso de las tierras o continentes, se debieron a fenómenos emparentados con la formación de los geosinclinales, que no solamente ocasionaron el ascenso de las tierras, sino también la formación de las montañas, ya que se ha observado que las grandes acumulaciones de sedimentos producen la subsidencia y con ello la formación de elevaciones.

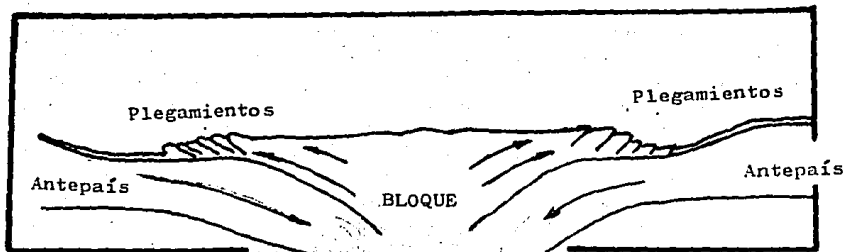
TEORÍA DE LOS GEOSINCLINALES

Geosinclinales. Se cree que gran parte de las montañas del Mundo se han formado por plegamiento, precedidas por la formación de geosinclinales.

El mecanismo de un geosinclinal es el siguiente:

Supongamos que una enorme depresión en la superficie de la Tierra o una zona bajo el nivel del mar, a través de muchísimos años lentamente se va rellenando de sedimentos provenientes de las

Fig. 78. Teoría de la formación de los geosinclinales.



tierras altas y conforme lo va haciendo va profundizándose por el peso de los materiales, sin embargo, las aguas no son profundas, sólo los materiales van profundizándose conforme se va llenando la cubeta; como consecuencia de la presión de estos sedimentos se presenta la elevación de los terrenos adyacentes formando montañas plegadas y afalladas y también influencia volcánica como lavas y cenizas que salieron por las fracturas, ya que las rocas bajo el sinclinal se funden por calentamiento a medida que se hundén.

Cuando los sedimentos llenan una depresión hasta el nivel del mar y ya no se puede agregar más, es cuando se produce un equilibrio isostático, o sea que un geosinclinal termina y se detiene el hundimiento, por lo que deja de recibir sedimentos. Se considera que esto sucede cuando en ese lugar se han depositado de 9 000 a 15 000 m de sedimentos.

La fase siguiente en estos depósitos sedimentarios es cuando son deformados para constituirse en montañas, a la vez que los materiales volcánicos son transformados en una masa rígida como parte del continente.

Existe la teoría de que al formarse un geosinclinal, al irse rellenando lentamente, se van formando nuevas depresiones de depósito entre el antiguo geosinclinal y el borde continental, produciéndose un nuevo ciclo de sedimentación, o sea la formación de otro geosinclinal con todas sus características: formación de plegamientos, fallas, actividad volcánica, hasta que se rellena y se inicia en otra depresión un nuevo geosinclinal, esto claro está, a través de millones de años.

Es de notar que la mayoría de los sedimentos en los fondos geosinclinales están constituidos por fangos, barro, polvo volcánico, cenizas; y en las zonas delgadas del geosinclinal que forma la plataforma continental los sedimentos son pizarras, calizas, areniscas, arcillas, etc. en un borde y otro en otro borde.

Además se debe considerar la existencia de regiones con un antepaís en donde la cubeta se extiende hasta el fondo de los océanos y por lo tanto la parte montañosa está formada por dos sistemas unilaterales, cada uno dirigido hacia afuera, o sea cada uno a un antepaís.

Es posible que por la influencia de la isostasia existan regiones que se van hundiendo mientras que otras se van levantando y así los continentes se vayan hundiendo por el este y levantando por el oeste, para producirse un desplazamiento de ellos hacia el oeste a partir del Atlántico, o en el caso del continente Euroasiático-africano que el hundimiento vaya siendo por el occidente y el levantamiento por el oriente.

Influencia de los geosinclinales en las formaciones orogénicas. Se dice que los depósitos de materiales que se establecieron en los geosinclinales, dieron origen por movimientos orogénicos a la formación de la mayor parte de las sierras del Mundo. Estos movimientos son bruscos y violentos, originándose en todas direcciones y son producidos por las fuerzas de compresión que plegaron a los estratos en las orillas del geosinclinal; es de indicar, que se cree que no todas las sierras de la tierra tienen su origen en los geosinclinales, pero sí la mayoría. A los movimientos ocasionados por ellos y que levantaron a la corteza de la Tierra formando a las montañas, se les llaman Orogénicos y a las zonas en donde éstos se establecieron se les llama regiones orogénicas. En la historia de la Tierra se reconocen varios movimientos orogénicos. En el precámbrico, las rocas predominantes son pizarras, gneis y granitos en el piso superior; en el inferior, predominan las rocas cristalinas, ya en el cámbrico la existencia de rocas sedimentarias se acrecienta aunque su espesor todavía es reducido, con estos sedimentos se presenta la primera existencia de movimientos orogénicos como son los del Laurentino, más tarde en el cámbrico los del Huroniano forman algunas montañas del norte de Estados Unidos, Escocia, Escandinava, Finlandia, Guayanas y Brasil, pero en nuestros días sólo quedan restos de ellas. En los periodos siguientes del Paleozoico fueron estableciéndose nuevas capas de sedimentos, alcanzando ya

gran espesor que en algunos casos sobrepasaban a varios kilómetros, éstos fueron comprimidos para dar origen a plegamientos y montañas de poca altura en Gran Bretaña y Escandinava y con ello se formó el episodio Caledoniano del silúrico.

Los sedimentos establecidos en el carbonífero y pérmico que sin duda fueron considerables, de varios kilómetros de espesor para formar el episodio del herciniano que originaron plegamientos y fallas, además de que produjeron montañas de bloque, entre las montañas que se formaron tenemos: Los Apalache en los Estados Unidos, montes del sur de Irlanda, montes Cornualles en el sur de Gran Bretaña, montañas de Bretaña, montes del centro de Francia, Vosgos, Sudetes, Selva de Bohemia, de Turingia, montes del centro de España, montes Atlas, del Cabo, Urales, Tien Shan, Kuen Lun, Nan Shan, Gran Kingan y las montañas Australianas.

Si bien las montañas del caledoniano se transformaron en suaves penillanuras, también las del herciniano se fueron destruyendo para formar penillanuras que volvieron a hundirse debido a la acumulación de extensos depósitos de sedimentos para la formación de geosinclinales y construcción de enormes plataformas. Por este motivo de las formaciones anteriores sólo quedaron restos de basamento.

En la era Mesozoica, se establece una gran sedimentación de varios kilómetros de espesor ya que es la acumulación de los tres periodos, el triásico, el jurásico y el cretácico, con ellos se establecen geosinclinales que van a plegar y a formar gran cantidad de montañas de las que en nuestros días sólo existen sus basamentos. Las elevaciones producidas en el Mesozoico se iniciaron con la formación Nevadiana, que produce a la Sierra Nevada del Oeste de los Estados Unidos, cuyos movimientos se prolongan a fines del cretácico con la revolución Laramida en donde se establecen algunas montañas de Alaska, las Rocallosas, Sierra Madre Oriental en México, las montañas de Patagonia, Los Andes Sur Americanos, Las Antillas, Nueva Zelandia, Alpes Dináricos, Sierras Malayas, Monte Tauro, Los Pirineos, Islas Malvinas, sierras de Indochina, sierras de China Oriental, Borneo, etc. La mayoría de estas elevaciones se transformaron con el tiempo en grandes penillanuras.

En el Cenozoico existen los grandes geosinclinales alpinos cuyos sedimentos de gran consideración, forman pliegues y con ello la formación de enormes cadenas montañosas que se inician con los movimientos del Pirenaico en la formación de los Pirineos en

España, pero que no son más que avisos de futuros movimientos de la revolución Alpina en donde se forman: Los Pirineos, cordillera Bética, al sur de España, se terminan de formar los montes Atlas del norte de Africa, sierras costeras del Occidente de los Estados Unidos, Sierra de Baja California, Sierra Madre Occidental, Balcanes, Cárpatos, Caucazo, montes Tauro, Dináricos, Himalaya, Andes Centro Americanos, Sierras de México como son: la Sierra Madre Occidental, Sierra Volcánica Transversal, Sierra de Chiapas, Sierra Madre del Sur. Se termina de formar las antillas, montañas de Indochina, India, Malasia, Java, Sumatra, Nueva Guinea, Nueva Zelanda, Japón y se considera que este movimiento todavía no termina y las elevaciones no se forman en plataformas.

Estudios actuales sobre los geosinclinales, han demostrado que los materiales que se van depositando en nuestra época, han dado origen a geosinclinales que se extienden junto a los sistemas creados por el movimiento alpino a lo largo de las costas orientales del Océano Pacífico en Asia, en las costas occidentales de América tanto del Norte como del Sur, inclusive América Central, parte occidental de Malasia, región oriental de Nueva Guinea, límite occidental de las islas del Japón, Kuriles, Filipinas y Nueva Zelanda y Este de las Antillas, y por lo tanto la teoría de los movimientos de la corteza debido a geosinclinales todavía sigue en pie, aunque con la teoría de las Placas tectónicas, el conocimiento de los movimientos de los geosinclinales ha venido a modificarse sustancialmente, puesto que se afirma que como consecuencia de los choques continentales producidos entre una placa y otra, los sedimentos acumulados en las diversas eras fueron comprimidos ocasionándose arrugamientos y fracturas para producir montañas de plegamiento y de falla junto con la formación de volcanes, puesto que se considera que parte de los sedimentos se fundieron para originar bolsas magmáticas y con la misma presión de los bloques salió este material a la superficie. Como no ha sido solo una vez el choque de estas placas, se supone que desde que se originó la misma corteza y a través de las diversas eras se han venido presentando colisiones y con ello la formación de sistemas montañosos como los Laurentinos, Huronianos, Caledonianos, Laramidianos y los últimos, los alpinos.

TEORIAS CONTINENTALES

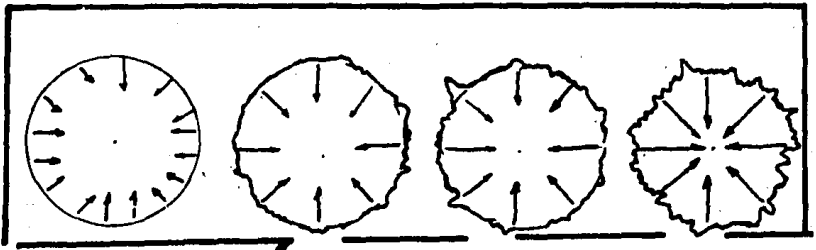
Muchos geólogos han tratado de explicar el mecanismo de los continentes y la formación de las montañas; entre las teorías que se han vertido están:

1. Teoría de la Contracción
2. Teoría de la Convección
3. Teoría de la Deriva de los Continentes
4. Teoría de las placas tectónicas

1. Teoría de la Contracción. Según esta teoría en un principio la Tierra estuvo incandescente y con el tiempo fue enfriándose, o sea fue perdiendo calor por conducción de las capas internas a las externas y de éstas al espacio, esto originó que al enfriarse la Tierra se fuese contrayendo de tal manera que las capas internas se fueron comprimiendo y por lo tanto la corteza se fue arrugando, como lo hace una manzana que se está enfriando o secando, para que así esas arrugas dieran origen a las actuales montañas o formas superficiales.

Con los estudios modernos sobre el interior de la Tierra se encontró que los minerales radioactivos generan calor que fluye del interior al exterior, la teoría de la contracción perdió fuerza; en un principio la Tierra tuvo que enfriarse y si existen fenómenos radiactivos dentro de la corteza, éstos son producto del enfriamiento inicial, o sea que esa radiactividad es producto del enfriamiento o calentamiento original.

Fig. 79. Teoría de la contracción



2. Teoría de las celdillas de convección.

Según esta teoría, existen corrientes de calor dentro de la corteza que van de un lugar a otro en forma de gigantescas celdillas de convección actuando de manera paralela.

Las corrientes que se originan dentro del manto producido de la radiación interior, se desplazan lentamente a razón de 2.5 centímetros por año, de tal manera que se necesitarán millones de años para que una celdilla dé una vuelta completa.

El mecanismo general es que un conjunto de dos celdillas fluyen hacia el exterior con un movimiento contrario a las manecillas del reloj, así que conforme se deslizan van comprimiendo la parte superficial para que en ésta se vayan produciendo las montañas.

A su vez siguiendo la dirección de las celdillas compriman hacia abajo; la compresión puede levantar la superficie pero al mismo tiempo las corrientes descendentes producirán una depresión o geosinclinal o zona de subducción.

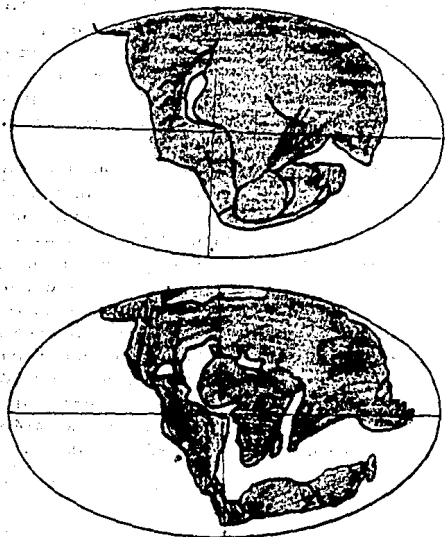
Junto con la teoría de la convección está íntimamente ligada la teoría de la gravedad en la que se supone que una vez que los cuerpos han sido elevados para la formación de las montañas, éstos comenzarán a deslizarse hacia ambos flancos resquebrajándose lentamente y separándose de su masa, como sucede en los Alpes. A su vez los materiales sedimentarios que se encuentran en los fondos marinos, al deslizarse hacia ambos flancos, al llegar a la zona de subducción, chocan con los sedimentos continentales y éstos se van a convertir en rocas metamórficas o ígneas que al introducirse en la zona de subducción se agregan a la corteza, el material al descender se funde y suele llegar hasta el manto, pero el lento movimiento de las corrientes vuelve a llevar este material a la zona de convección para que al salir forme la nueva corteza.

Esta teoría tiene gran aceptación, puesto que si se observa la cordillera central medio oceánica del Atlántico, esta divide en dos a las tierras oceánicas. Se supone que esta cordillera lentamente se eleva debido a las corrientes convectivas y que van desplazando a las tierras al oeste y al este a partir de una gran falla central que las divide en dos; la manera como están formadas sugiere la existencia de tal fuerza de empuje. La cordillera central se extiende por todo el centro del Atlántico en forma de una gigantesca S que al llegar al sur de Africa tuerce hacia el Océano Índico hasta encontrar la cordillera central del Indico, un brazo se sigue hacia el sur de Australia y posteriormente al sur del Océano Pacífico para continuarse por las costas de América del Sur, Centro América y costas occidentales de América del Norte.

3. Teoría de Wegener (sobre la deriva de los continentes). El primero que realmente pensó sobre la deriva de los continentes fué Wegener aunque algunos consideran que fueron Antonio Snider o Taylor los primeros, o pioneros de la teoría, si así fuere debemos considerar que a Wegener le debemos el conocimiento de esta teoría porque supo revivirla bajo sus explicaciones.

Wegener consideraba la existencia de un grandísimo continente al que le dió el nombre de Pangea, esta vastísima masa se fué separando como resultado de enormes grietas en el Paleozoico y así se fueron formando tierras Palgonkinas, Escandinava, el continente Siberiano y el gran continente del Gondwana, a los movimientos del Paleozoico le siguen los movimientos del Mesozoico en donde grandes masas de tierra que estaban bajo el nivel del mar emergen, así como las tierras que estaban sobre él se sumergen, para dar origen a nuevas formas continentales, para esta era ya aparece el continente Nortatlántico, las tierras Europeas, el continente Chinosiberiano, el continente Afrobrasileño y el continente Malgache o Australindomalgache.

Fig. 80. Mapas hechos por Wegener para tratar de explicar el movimiento de los continentes en el Carbonífero y en el Eoceno.



Suponía Wegener que toda América se movía hacia el oeste de tal manera que al tener resistencia los materiales con el fondo del Pacífico se levantaron arrugamientos en la parte frontal para dar forma a las sierras y que lo que quedó rezagado vino a formar las Antillas.

En realidad existen muchos antecedentes geográficos que refuerzan a esta teoría, primero que si vemos a América y África presentan relaciones como un rompecabezas y hasta las rocas, su edad, estructura y fósiles coinciden en este encajamiento, además parece ser que esta manera de explicar da idea del pasado geológico sobre la existencia de depósitos glaciares que se encuentran sobre el Ecuador y no sólo eso sino la presencia de fósiles y capas de carbón en la Antártida, además debemos de hacer notar la existencia de ese espinazo montañoso que divide a América de Europa y África, estas crestas medioceánicas forman los sistemas montañosos más extensos de la Tierra de aproximadamente 6 400 km de longitud y una anchura de 480 km, con alturas de más de 3 000 m formando en sus partes más altas islas.

Fig. 81. La Tierra en el Pleistoceno



Las montañas del Atlántico medio tienen la forma de una S que coincide con las formas costeras de los continentes por lo que queda como un desgarramiento al separarse de los continentes,

sin embargo, teorías más modernas hacen suponer que han sido formadas por corrientes convectivas de ascenso que están haciendo que esos sistemas montañosos se estén levantando, pero a su vez, están deslizándose a ambos lados, o sea para el Oeste y para el Este que en cierta forma producen el desplazamiento horizontal de los continentes.

Es pues, en consideración a la teoría de Wegener, que los geólogos piensan que en la era Azoica existía, como dijimos antes, una gran masa de tierra orientada al este, pero debido a movimientos de la Tierra comenzó a derivarse hacia el oeste. En la era del Paleozoico ya se presentan tres continentes: la Algonkina, los Escandinavos y los Siberianos, en el norte y en el sur una gran masa llamada continente del Gondwana que incluía a todas las tierras de América del Sur, Africa, Asia del Sur, Australia y Oceanía. Movimientos lentos hacen que para el Mesozoico aparezcan nuevas tierras y se formen los continentes Chino-Siberiano y Nortatlántico y en el hemisferio sur el gran continente del Gondwana subdividiéndose para formar el continente Africano-brasileño y el continente Australo-Indomalgache y en el extremo sur las tierras antárticas.

Es por esto que es en la era Cenozoica cuando todos los continentes toman su forma actual.

Estudios modernos sobre magnetismo en la Tierra han hecho que la teoría de Wegener tenga de nuevo importancia. Cuando en un magma se origina un mineral como la magnetita, el campo magnético tiende al paralelismo como el campo magnético de la Tierra y de este modo se puede conocer el polo magnético de la Tierra en las épocas en que se formó la roca ígnea. Estudios sobre estas rocas han podido demostrar que el polo magnético de la Tierra ha tenido diferentes posiciones en diferentes épocas geológicas y con esto demuestran que los continentes han cambiado de posición, produciéndose diversos movimientos, derivas, con movimientos rotacionales entre un continente y otro.

PLACAS TECTONICAS

Estudios modernos sobre la corteza de la Tierra han encontrado que esta se comporta como gigantescas placas que se deslizan sobre un substrato plástico a la que se le ha denominado Astenosfera. Si bien con anterioridad Wegener ya había tratado el movimiento de los continentes con su teoría Deriva de los Continentes, es ahora que se ha reconocido que Wegener tenía razón, los

continentes se mueven lentamente interviniendo en ello movimientos epigénicos o como se apoya la mayoría a las corrientes térmicas llamadas también celdillas de convección.

Hoy día se reconocen 6 grandes placas: 1) Americana que comprende toda América, 2) Africana, 3) Lauracia, 4) Australia, 5) Antártida y 6) Placa del Pacífico; además de las anteriores existen algunas pequeñas como la de Cocos al Oeste de México, Nazca al oeste de Perú, Caribe al este de Centro América y la pequeña placa de Fuca al oeste de Estados Unidos y la de Filipinas y así existen ahora 6 placas continentales y 5 laterales.

La placa Americana está formada por América del Norte, Central y Sur y se extiende bajo las aguas del océano Atlántico hasta llegar a la gran falla continental en donde se localiza la gran cordillera Centro Atlántica.

La placa del Pacífico es una enorme placa entre la Americana y la de Lauracia ocupando todo el fondo del Océano Pacífico.

La Africana corresponde a toda la parte continental más la parte que se hunde hasta llegar a tener contacto con la cordillera Centro Atlántica.

La de Lauracia es una enorme placa que va desde la cordillera Centro Atlántica hasta el gigantesco arco insular del oeste del Océano Pacífico quedando limitado hacia el sur por la cordillera Alpino Himalaya.

La Australiana comprende un corredor que se prolonga desde la India hasta Australia y continua por todo el sureste de Asia (Oceanía).

La Antártida ocupa toda la parte sur hasta el límite con las grandes cordilleras centro oceánicas.

El conocimiento del origen y movimiento de estas placas todavía no está bien determinado así como la existencia de estas únicas placas.

Se cree que estas gigantescas placas están conformadas por la corteza, de tal manera que deben de tener un espesor medio de 33 kilómetros y un máximo de 60 km, pero sin embargo, las placas bajo oceánicas deberán ser más delgadas, así como las partes

de las placas continentales que quedan bajo las aguas de los océanos o mares.

Estas enormes placas se encuentran divididas entre sí por gigantescas fallas continentales, regiones que pueden ser zonas de subducción o sea regiones en donde se colapsan dichas placas o zonas térmicas de convección en donde se ejerce el fenómeno de desplazamiento o empuje.

Supuestamente el mecanismo es el siguiente: como consecuencia de las corrientes térmicas de convección, se presentan gigantescas celdillas térmicas, estas corrientes provienen del manto superior llamado Astenósfera, pero cuyo origen se desconoce, aunque se cree que el calor provenga del interior del planeta que hace que esta capa se comporte plásticamente y dentro de ella el calor ascendente circule a manera de celdillas. La fuerza de las corrientes de convección al ascender, lo hacen en determinadas zonas del planeta como es en la parte Centro Atlántica, Centro Indica y Sudpacífica, así como en algunas otras pequeñas regiones del planeta. A partir de las zonas de convección y como consecuencia del empuje de estas corrientes, las placas se van moviendo lateralmente y en las zonas de convección se va acumulando material transportado del interior, de tal manera que a lo largo de ellas grandes macizos montañosos se van presentando y lentamente se elevan sobresaliendo algunos del nivel del mar para formar islas, algunas de origen volcánico. Como muestra de este fenómeno está la presencia de rocas modernas como basaltos y andesitas, además de gran cantidad de sedimentos en los fondos oceánicos y principalmente a lo largo de las cordilleras centro oceánicas.

Al ser empujadas estas placas se llegan a colapsar unas con otras de tal manera que una placa se subsidie hacia el manto; se ha encontrado que la placa que se subsidie es generalmente la Baja Oceánica como sucede con la del Pacífico, en esta zona de contacto llamada también de Subducción una placa se va introduciendo (Baja Oceánica) para que la continental vaya cabalgando sobre ellas, como consecuencia de este empuje, los sedimentos superiores se van plegando y afallando para dar origen a grandes elevaciones montañosas como es posible observar al oeste de América. A su vez parte de los sedimentos son subsidiados y fundidos en esta zona de contacto para dar origen a bolsas magnéticas cuyo material ígneo va a salir a través de las fracturas para dar origen a volcanes; esto es fácilmente demostrable por la presencia de volcanes tanto en América como en Asia a lo largo de los grandes Cinturones del Circunpacifico y Alpino Himalayo.

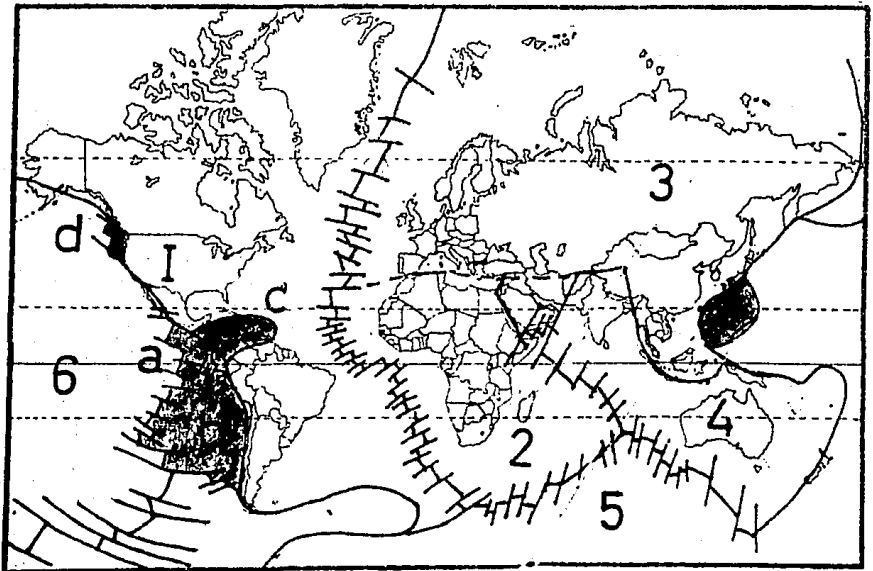
Esas zonas de subducción son regiones de gran inestabilidad cortical, ya que constantemente se producen aquí numerosos sismos, algunos de gran intensidad, lo que demuestra la existencia de movimientos, derrumbes, acomodamientos o deslizamientos.

Con el nuevo conocimiento de las placas tectónicas se ha tratado de determinar que la formación de las montañas en el mundo han sido producto de este mecanismo y que por lo tanto las formaciones del Laurentino, Caledoniano, Herciniano, Laramidiano y Alpino han sido consecuencias indiscutibles del movimiento de placas; sin embargo, no muchos geólogos están de acuerdo, más aceptan que el fenómeno de formación de montañas muchas veces se debieron a geosinclinales y también a placas tectónicas.

MOVIMIENTOS EPIROGENICOS EN MEXICO

Es muy difícil determinar los cambios que sufrió el país en las diferentes eras, sin embargo, utilizando los mapas paleogeográficos de Dumbar, podemos observar como México en el Cámbrico es una masa de sur a norte, no existiendo la zona del noroeste ni el sur y sureste del país, esto nos viene a indicar que las rocas más

Fig. S2. Mapa de distribución de placas tectónicas.



antiguas se presentan al norte del país. Movimientos de emersión de las tierras originan que para el ordovícico el país se presentó como una enorme extensión emergida, incluyendo la parte noroeste, en el mapa no se indica la porción sur, desconociéndose como estaba. En el devónico se observa que la región noroeste sufre una sumersión quedando bajo las aguas, incluyendo parte de la zona media, inclusive en el devónico superior, no solo se sumerge parte de lo que era Baja California, sino también el norte de Sonora y Chihuahua.

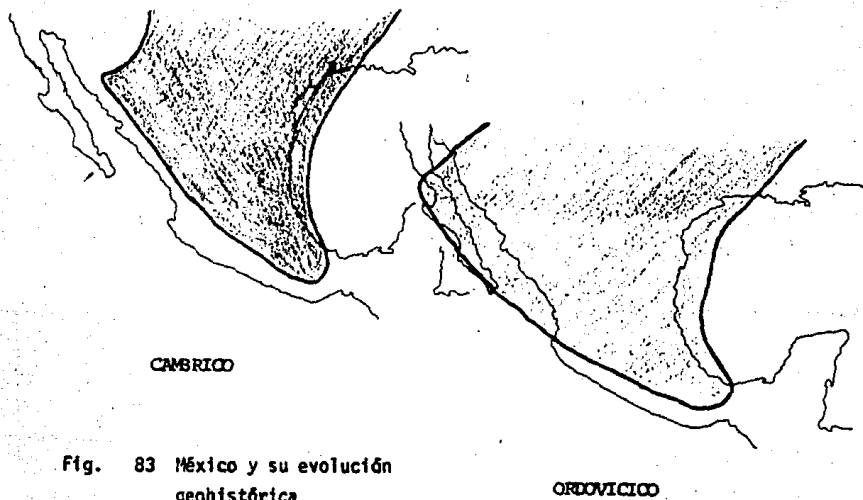


Fig. 83 México y su evolución geohistórica

ORDOVICICO

En el Misisípico inferior, se ha producido un corredor marítimo de norte a sur, quedando bajo las aguas marinas gran parte del norte y noreste del país, sin embargo, movimientos verticales de ascenso elevan a la zona del noroeste y parte occidental hasta en el centro como un gran corredor, ya para el misisípico superior se ven agrandadas para desaparecer el corredor marítimo y constituirse en una gran masa en forma de una gigantesca isla, En el Pensilvánico no existen muchos cambios, permaneciendo inalterable el territorio, pero para el Pérmico, de nuevo se presentan movimientos de sumersión de las costas orientales, quedando éstas bajo las aguas y por lo tanto, queda de manera elevada toda la zona occidental del país unida por un ligero brazo con las tie-



Fig. 84

DEVONICO

MISISIPICO

rras del norte de los Estados Unidos en donde se encontraba un extenso mar que penetraba como un gran golfo y que inclusive tocaba a las tierras nortes del país y se introducía por Chihuahua, parte de Sonora y Baja California. Como consecuencia de permanecer las tierras del este bajo las aguas de un mar somero, se presentó la formación de horizontes calizas y enormes depósitos de material fósil, o sea que hubo una extensa sedimentación en la porción oriental.

En el triásico inferior todo el país es una masa continental unida a la porción sur de los Estados Unidos, pero para el Triásico superior, de nuevo se presentan movimientos de descenso de las tierras y un brazo del golfo de México se introduce en la parte media del país abarcando todo el centro y norte por el este, igualmente del mar de la zona del suroeste de Estados Unidos, se inclina una parte hacia el norte de Baja California y Sonora en donde se depositan lutitas y calizas.

En el jurásico aquél brazo que se había introducido en la parte media del país, se inclina todavía más y llega hasta el norte de Sonora haciéndose más delgada la zona del oeste que queda como un corredor desde el norte de Baja California hasta Yucatán; en el Jurásico superior, aumentan las tierras emergidas del noroeste agrandándose esta zona y van retrocediendo las aguas del brazo del Golfo de México. Como consecuencia de que gran parte del Golfo de México invadió el este del país, en esa zona existen grandes yacimientos de petróleo y de sal.

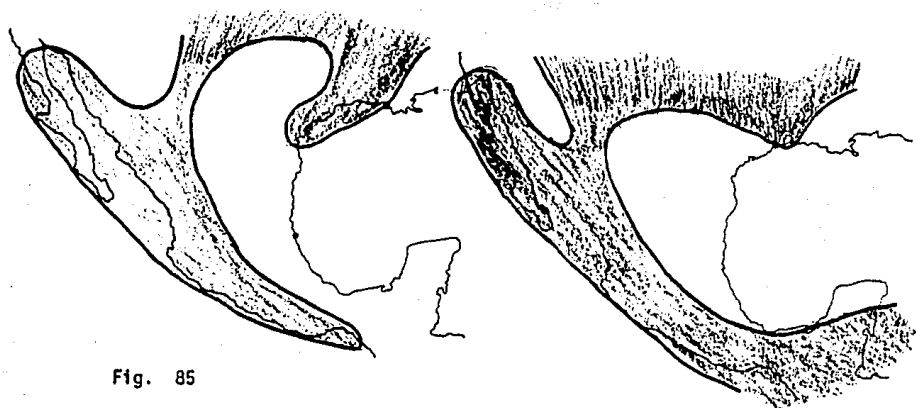


Fig. 85

PERMICO

Como en este periodo la mayoría de las tierras del oeste de México se localizaron sobre el mar, los sedimentos en esa parte fueron muy reducidos, pero en cambio existió influencia volcánica como lo demuestran ciertos derrames de lava.

TRIASICO

Sin duda el periodo Cretácico en México es de gran importancia, ya que la mayoría del territorio estuvo bajo el nivel de las aguas, quedando sólo al noroeste tierras aisladas en forma de una gran península que se proyectaba desde el sur de los Estados Unidos, estas tierras eran ocupadas por las aguas salvo en la zona de Oaxaca y Chiapas donde existían algunas zonas emergidas.

En este periodo es cuando las aguas del Golfo de México se unen con las del Pacífico por un enorme corredor que se le ha llamado Canal del Balsas. Podríamos decir que casi el 75 % del territorio se encontraba bajo las aguas de un mar somero con aguas cálidas, continuación de las aguas del Golfo. En este periodo como continuación de las rocallosas, se inicia también en México la formación de las Sierras Madres, pero principalmente la Sierra Madre Oriental, ya que la sierra Madre Occidental aunque tuvo influencia Laramidiana, no fué sino hasta el Cenozoico cuando alcanzó su verdadera magnitud. Como consecuencia de la influencia del geoanticlinal mesocordillerano, se efectúa cierta actividad volcánica en Baja California y se presentaron intrusiones de batolitos graníticos en el norte, centro y sur de la península. Según

estudios sobre la edad de éstos, se cree que tengan unos 12 millones de años.

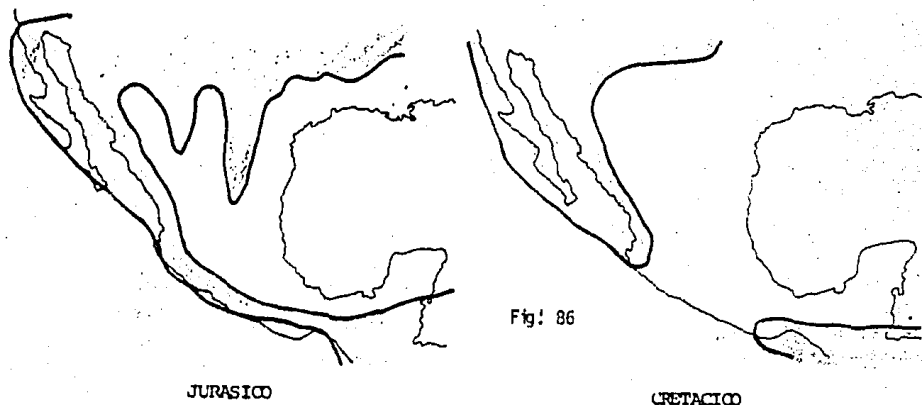


Fig: 86

JURASICO

CRETACIO

Debido a que las tierras del este se encontraron por mucho tiempo bajo las aguas, existen ahora en esa zona, enormes mantos calizos (gruda) lutitas y arenas que se encuentran ampliamente a lo largo de la Sierra Madre Oriental, estos sedimentos cretácicos, existen sobre rocas más antiguas, pero principalmente aquí, forman capas de gran espesor bajo las cuales se encuentran grandes yacimientos de petróleo.

En el Eoceno emergen de nuevo las tierras, presentándose una gran regresión para que las actuales aguas del Golfo ya ocupen su lugar, para este periodo la república es una gran península, continuación de las tierras del sur de los Estados Unidos que se prolonga casi hasta el sur de Yucatán, pero es hasta el Mioceno cuando se forma la Península de Baja California por una sumersión de la parte media del noroeste para que las aguas se introduzcan como un gran mar hacia el norte de Sonora y sur del Colorado.

Toda la parte oriental del país aunque estuvo sobre el nivel del mar, existió una pequeña franja costera bajo las aguas en donde se depositaron enormes capas de material calizo que buzan hacia el mar.

Estudios que se hicieron sobre la parte oriental, encontraron que los sedimentos eran verdaderamente considerables, de

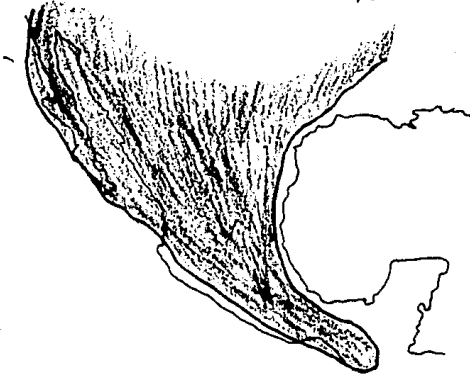


Fig. 87

EOCENO

más de 7 000 metros lo cual indicaba la presencia de un gran geosinclinal, que producía que se fueran levantando todas las zonas costeras del este del país, en los últimos periodos se forma la península de Yucatán y el país toma su forma actual.



Fig. 88

MIOCENO

GEOLOGIA

6 ESTRUCTURAL

Antes de iniciarnos por el campo superficial de la Tierra es necesario analizar su estructura interna porque por medio de ella podemos explicar todas las formas superficiales. El estudio más moderno sobre el interior de la Tierra está dado por el conocimiento o forma como se propagan las ondas sísmicas así como por su velocidad.

Se considera la existencia de tres grandes capas terrestres. La corteza que puede ser una capa de 55 a 60 kilómetros de espesor y que en general se le da un espesor medio de 33 km, le sigue a ésta el Manto que tiene un espesor de hasta 2 900 km de profundidad y después el Núcleo hasta los 6 378 km, o sea que tiene un radio aproximado de 6 370 km.

Corteza terrestre. Es una capa delgada que cubre al manto, está formada por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, tiene un espesor máximo de 60 kilómetros y un mínimo bajo las cuencas oceánicas de 25 kilómetros. La corteza continental está formada de una subcapa granítica rica en minerales félsicos en su parte superior, pero al profundizarse, va cambiando la composición para convertirse estos en minerales máficos en donde predominan los gabros y el basalto. La segunda capa de la corteza que queda bajo las cuencas de los océanos y raíces montañosas, tiene un espesor de tan sólo unos 5 kilómetros, estando compuesta principalmente de basalto o sea de roca ultramáfica.

Inmediatamente debajo de la corteza se localiza la Discontinuidad de Mohorovicic o de Moho, en honor del sismólogo que la descubrió, ya que en esta zona, las ondas sísmicas aumentan en forma rápida indicando que a partir de ella se inicia el Manto revelando que la corteza continental es granítica porque las rocas metamórficas e intrusivas están dentro de rocas sedimentarias, además de que bajo los océanos hay rocas basálticas igual que bajo los continentes, esto es debido a que los volcanes tanto marinos como terrestres arrojan basalto.

No se sabe la naturaleza de la discontinuidad de Mohorovicic, pero se cree que se debe a un cambio mineralógico de las

mismas rocas, o sea que el basalto las sujetó a altas presiones por compresión, entonces la augita y las plagioclasas se tornan inestables formando otro tipo de roca llamada Eclogita.

Manto. Corresponde a la segunda capa de la Tierra bajo la corteza, iniciándose bajo el moho y terminando aproximadamente a los 2 900 km de profundidad. Conforme las ondas sísmicas penetran en esta capa, la velocidad va en aumento, lo que determina que la densidad del manto vaya aumentando también y se cree que se debe a la presión de las capas suprayacentes indicando por lo tanto que el manto es sólido.

Actualmente se divide al manto en dos partes: superior e inferior. El manto superior va, desde los 33 kilómetros hasta los 1000 kilómetros de profundidad, le sigue el manto interior que va desde los 1000 hasta los 2900 kilómetros. Actualmente algunos geólogos suelen llamarle a una parte del manto superior Astenosfera que parece extenderse hasta los 300 kilómetros de profundidad. Se cree que sea una parte del manto que se comporta en un estado plástico por estar a temperatura cercana al punto de fusión. Esta capa nació de la teoría de las placas tectónicas y de cómo se movía la corteza sobre un substrato rígido, por lo que se consideró que la corteza (Placas tectónicas) se deslizaban sobre un estrato plástico. Sin embargo, este elemento no es bien conocido ni aceptado por todos, puesto que no podemos afirmar la existencia de una parte plástica en donde se deslicen las placas a manera de enormes bolsas; además de que es improbable que el manto tenga temperaturas altas.

En esta capa y aproximadamente de los 70 a los 150 km se encuentra una capa de discontinuidad llamada de óxidos y sulfuros o de Gutenberg y de los 410 a los 1000, se localiza otra capa en donde la velocidad aumenta con gran rapidez, a esta se le ha llamado capa de R. Goltsin o de Repetti.

Llegando al manto y desde los 2 700 kilómetros de profundidad hasta los 2 900 se encuentra otra discontinuidad, pero ésta no está bien estudiada.

Núcleo. A partir de los 2 900 kilómetros de profundidad se inicia el núcleo hasta el centro de la Tierra a 6 378 km. Análisis sísmicos indican que el núcleo tiene dos partes una exterior que se inicia desde los 2 900 km hasta los 5 085 km, o sea que tiene un espesor de 2 200 km. A esta capa algunos geólogos la consi-

deran líquida debido a que las ondas sísmicas al entrar en esta parte disminuyen de velocidad, pero saliendo las ondas después de los 5 000 km aumentan de velocidad pensándose que el núcleo interno sí es sólido. Se cree también que el núcleo interno está formado de una combinación de hierro, níquel y algo de cobalto.

En general la Tierra tiene una densidad de 5.5, las rocas que afloran en la superficie tienen de 2.7 a 3.0 y a mayor profundidad las rocas tienen una densidad de 5.7 y se considera que el núcleo tenga una densidad de 15.0

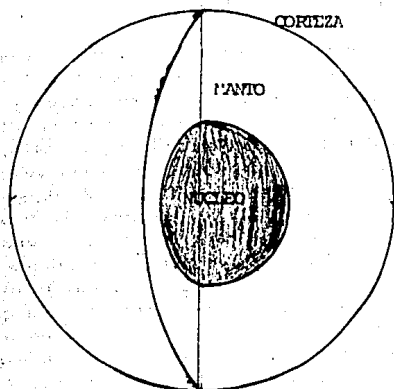


Fig. 87. Las diferentes capas de nuestro planeta.

Características del interior de la tierra.

Los datos que se tienen sobre el interior de la Tierra son tan reducidos que podríamos decir que no tenemos nada. Algunos investigadores han tenido que analizar los productos que nos vienen del interior como son las lavas, pero éstas, según estudios, parece ser que provienen de diferentes profundidades y en muchos casos no se sabe de qué profundidad pueden provenir.

Se han hecho perforaciones que no han agregado mucho sobre el conocimiento del interior, ya que las más profundas no han llegado más que a los 9 kilómetros. Con el objeto de saber un poco más se han aplicado varios métodos de estudio como son: el sísmico, el gravimétrico, astrofísicos, geomagnético, etc. que han

ampliado un poco más el conocimiento del interior aunque es difícil dar una exacta magnitud.

Algunos investigadores admiten todavía la teoría de que el interior de la Tierra esté incandescente, imaginando un núcleo fluido a elevada temperatura, pero otros creen que la temperatura del interior es baja, y que el núcleo está sólido.

Aunque sabemos que hubo un tiempo en que la Tierra estuvo incandescente, debemos suponer que actualmente ya está fría y por lo tanto es sólida, pero para un mejor conocimiento del interior utilizamos diversos métodos los cuales han permitido que nos demos una idea sobre el interior del planeta:

a) Método sísmico. Cuando se origina un sismo, sabemos que con ello se producen ondas que se transmiten a partir del foco en todas direcciones, estas ondas pueden ser longitudinales y se transmiten a una velocidad de 5 a 8 km/s, las ondas transversales S que son vibratorias se difunden a una velocidad de 3 a 5 km/s, y existe otra onda más que es la superficial y que va a una velocidad de menos de 3 km/s. El análisis de estas ondas es verdaderamente difícil, debido a que varían bastante. Sin embargo, la teoría general es que las ondas en los primeros 100 kilómetros se encuentran con tres capas, una superior formada por rocas mayormente sedimentarias en donde la velocidad media es de 4.0 km/seg, bajo éstas, se encuentra una capa granítica que tiene variantes, ya que está ausente en el Océano Pacífico, es escasa o no existe en el Índico y en el Atlántico. En las zonas continentales tiene un espesor de 10 km, pero bajo algunos sistemas montañosos como los Alpes suele llegar hasta los 40 km.

En esta capa de granito, la velocidad es de 15 a 25 km y posterior a ésta está la capa basáltica intermedia en donde la velocidad aumenta de 6,5 a 7.3 km/s. El espesor de esta capa llega a ser verdaderamente considerable bajo los continentes con un espesor hasta de 25 km, bajo las montañas llega de 15 a 20, pero en los fondos de los océanos apenas es de 5 a 15 km.

Estas dos capas forman a lo que conocemos como corteza terrestre, con un espesor medio de 33 kilómetros de profundidad que se ve aumentada hasta los 60 km bajo las grandes montañas, pero bajo las cuencas oceánicas apenas es de 15 a 10 km.

Bajo la discontinuidad de Mohorovicic, la velocidad de

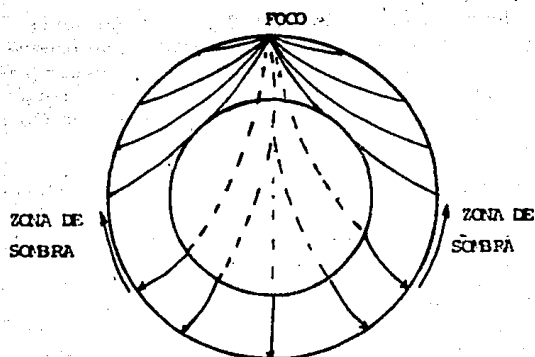


Fig. 88. Zona de sombra dentro de nuestro planeta en donde se pierden las ondas sísmicas.

las ondas aumenta considerablemente, siendo mayor de 8.2 km/s, la naturaleza del material rocoso en esta capa se desconoce, aunque algunos consideran que es de ultramáfica o de dunita.

Bajo la discontinuidad de Mohorovicic, la velocidad aumenta debido a la existencia en el manto de rocas ultrabásicas, alcanzándose una velocidad de 7.9 km/s aproximadamente hasta la discontinuidad de Repetti a los 950 km de profundidad y que en la Unión Soviética le llaman discontinuidad de Golitsin. Es de entender que la velocidad de las ondas aumenta porque las rocas tienen propiedades elásticas diferentes a las de la corteza. De la capa de los 950 kilómetros hasta la de los 2 900, se observa un incremento de la velocidad llegando hasta los 7.6 km/s. A una profundidad mayor, ya en el núcleo es de 2 900 en adelante, la velocidad decae desde un 14 km/s hasta ser de 8.0 km/s esto para las ondas longitudinales, ya que las transversales no penetran más allá de los 2 900.

Dentro del núcleo una vez que las ondas pasan esta zona vuelven a aumentar pero de manera lenta hasta llegar a 11.4 km/s en el centro de la Tierra.

El hecho de que las ondas no puedan penetrar después de los 2 900 kilómetros de profundidad, hace pensar a muchos científicos que esa parte del núcleo tenga una condición fluida, por otra parte, cuando las ondas sísmicas se presentan como consecuen-

cia de un sismo, se ha observado que las de 102 a 103° del arco hasta los 143° , tanto las P como las S no se sienten o son imperceptibles, para después salir a los 143° en donde si se pueden registrar. Dentro de esa zona (de los 102 a los 143°) se presenta una región de sombra que sólo se puede explicar por la presencia de una capa fluida dentro del núcleo.

b) Método Fisiográfico. Este método se basa sobre el fenómeno de la isostasia, en donde se supone que los bloques continentales de granito y sial flotan sobre un sustrato más denso (el sima). Según esta teoría, se suponía que toda forma continental tanto montañas como zonas altas, al estar sujetas a la erosión eran destruidas y el material transportado hacia los mares en donde se depositaba, aquí, como consecuencia de la carga se presenta un levantamiento en la zona continental para equilibrar el peso desde la parte baja del sial pero es levantada por la corriente del sima que eleva a las tierras. Según esta teoría el movimiento se presenta solamente entre la corteza y la parte superior del manto, pero a mayor profundidad no existe movimiento alguno. Trata de explicar también la existencia del corrimiento o traslación de los continentes de Wegener, o sea de que los continentes en algún día fueron masas únicas que se fueron separando hasta llegar a las formas actuales.

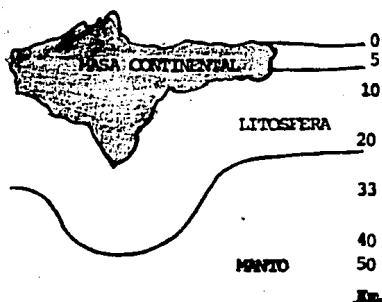


Fig. 89. Profundidad a que puede llegar la masa continental.

c) Método térmico. El sistema para conocer la temperatura en el interior de la Tierra no ha sido muy exacto, la mayoría de los científicos tienen como medio la existencia de pozos, pero estos generalmente no son de gran profundidad; también se han utilizado los magmas que salen por los volcanes en forma de lava en donde se ha medido varias veces la temperatura a que salen, sin embargo estos datos no son muy exactos.

De manera general se acepta que la temperatura aumenta a un grado centígrado por cada 33 metros de profundidad, a esto se le llama "Gradiente Geotérmico". Se puede indicar que el gradiente geotérmico no se inicia desde la superficie sino desde la zona de temperaturas constantes que puede ser desde los 5 o 20 metros en algunos puntos, pero en otros puede iniciarse desde los 40 metros. Ahora bien, una zona de temperaturas constantes dependerá de una serie de factores como la existencia de aguas profundas, o sea manantiales que bajarán el gradiente, la inclinación del terreno, la naturaleza de las rocas, etc.

Casi siempre el gradiente geotérmico se inicia cerca de la superficie siendo constante hacia adentro, pero no se puede determinar hasta dónde llegará.

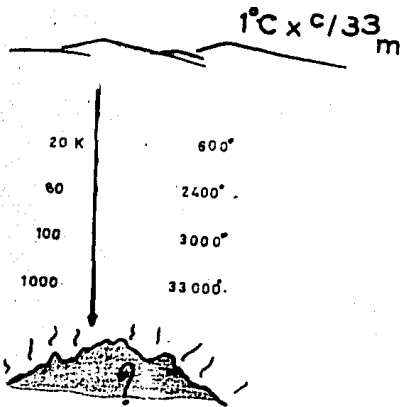


Fig. 90. Temperatura que puede existir según la profundidad.

Es importante señalar que existen algunas zonas del mundo como Suráfrica en donde el gradiente es de sólo un grado por cada 207 metros.

Si la temperatura aumentara un grado centígrado por cada 100 metros, a los 3 300 m se llegaría al punto de ebullición del agua, o sea de los 100°C, a los 20 kilómetros será de 600°C, a los 80 de 2 400°C y a los 100 de 3 300°C, a los 1 000 kilómetros, la temperatura tendría que ser de 33 000°C y así se llegaría a temperaturas en el centro de la Tierra del orden de los 200 000°C y por lo tanto el núcleo necesariamente sería líquido.

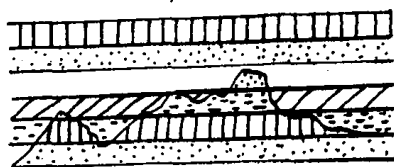
Algunos geólogos consideran que la temperatura en el interior de la Tierra no suele llegar a tanto, que a lo más que puede llegar es hasta los 2 000° o 4 000°, ya que si estuviera más alta, las condiciones internas llegarían a ser del estado gaseoso que como no existe éste es líquido por las altas temperaturas; y sobre este caso, apoyándose en el comportamiento de las ondas sísmicas, algunos suponen que está líquida la parte del núcleo externo, pero el interno se comporta como sólido. Otros tratan de explicar que la forma fluida del núcleo se debe a que se encuentra en estado de alta plasticidad debido a la presión que soporta ya que, como se ha visto, aún las rocas que existen en la corteza se mueven debido a las corrientes convectivas. Hay una tendencia a considerar que el gradiente geotérmico sólo se presenta en las primeras capas de la Tierra y que tiene influencia solamente en las corrientes convectivas de desplazamiento y por lo tanto en la formación de las montañas, ya que se ha observado que las montañas más altas tienen raíces más profundas actuando como un enorme iceberg; así la temperatura del gradiente fluiría como un enorme circuito deslizándose de abajo hacia arriba.

No existe actualmente un criterio unánime sobre la estructura del interior de la Tierra, si bien algunos sismólogos consideran que es completamente sólido; otros arguyen el fenómeno de la temperatura y consideran una capa líquida o todo el núcleo, y aún existe una parte que piensa que la Tierra es completamente sólida, en esa nos incluimos nosotros pensando que la Tierra se comporta como un sólido pero que en algunos casos, como consecuencia de fuerzas de presión, puede conformarse también como un plástico. Es de indicar que no solamente consideramos al núcleo como un sólido sino toda la Tierra en su conjunto y que cuando se presentan fenómenos de magmatismo, estos son causados por fenómenos de compresión cortical (Ver origen de los volcanes).

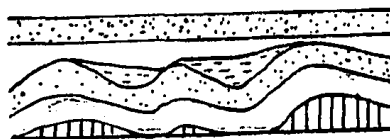
MOVIMIENTOS OROGENICOS

Si bien cuando tratamos de los movimientos epirogénicos hablamos que eran lentos, ahora debemos de indicar que estos movimientos, los orogénicos, son movimientos relativamente bruscos o que se producen con mayor rapidez que los anteriores y que van a producir en la superficie terrestre a las montañas o depresiones. Las causas de las formas del relieve continental se deben a las presiones y tensiones a que quedan sujetas las capas sedimentarias superiores producto tanto del movimiento de las placas como de la estructura de los geosinclinales. Todas las rocas que conforman a la corteza terrestre están sujetas, como hemos visto, a grandes movimientos que hacen que las rocas estén sometidas a tensiones o compresiones en todas direcciones y también a cambios de temperatura. Estos fenómenos originan que las rocas se fracturen, se inclinen, se doblen y compriman tomando en cuenta su tipo, plasticidad y resistencia.

Los grandes depósitos de materiales que se establecen en el fondo de los grandes geosinclinales se van acumulando y conforman



DISYUNCIÓN NORMAL



DISYUNCIÓN ANGULAR

Fig. 91. Manera como se localizan las rocas sedimentarias.

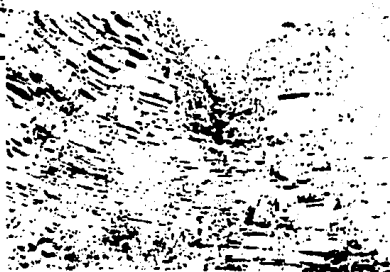




Fig. 92 Imagen en donde se muestra la manera como las rocas sedimentarias se pliegan debido a fuerzas de compresión.

mándose de manera horizontal para formar grandes capas en algunos casos de espesores considerables, en donde se compactan transformándose en rocas. Las rocas sedimentarias depositadas de manera horizontal son las más aptas para mostrar los cambios en los movimientos terrestres.

Las rocas sedimentarias se localizan generalmente de manera horizontal, en forma de capas cuyo espesor puede ser desde unos cuantos centímetros hasta varios kilómetros, con la característica de que en toda su extensión la composición será la misma. Otra característica es que las capas son estratiformes, o sea están conformadas por una sucesión de éstas yaciendo unas sobre otras paralelamente e indicando que toda capa superior a otra, en general corresponde a una etapa más moderna de depositación. A la base en donde descansa el estrato más profundo se le llama muro o piso y al estrato que queda en la parte extrema superior se le llama techo. En ocasiones se llegan a encontrar depósitos de poca extensión dentro de estratos de mayor localización, en este caso se habla de una lente.

Cuando se llegan a encontrar estratos de manera muy reducida dentro de una capa sedimentaria cuyo grosor es, a lo máximo, de algunos centímetros, se le llama nervio o laminación, la existencia en los microestratos de partículas planas, arcillas y material vegetal suele llamarse laminación rayada.

Cuando en un estrato se observa una depositación normal, o sea que el material más grueso se encuentra establecido en el fondo y el más fino en la superficie, se dice que la estratifica-

ción es rítmica. Un ritmo puede estar formado de un espesor de varios centímetros hasta varios metros y en una capa pueden encontrarse varios ritmos, generalmente se prestan para poder determinar el techo o el piso de un estrato.

Se pueden observar en muchos casos que los estratos sedimentarios entre una capa y otra no son de igual grosor, esto nos indica que el grado de acumulación no ha sido parejo, o sea, que ha existido una pausa en el grado de sedimentación, a esto se le llama discontinuidad; el fenómeno se puede deber a que las condiciones de la región cambiaron para hacerse más secas, o que fueron levantadas para cesar la sedimentación, pero si esa zona vuelve a ser hundida, se iniciará la sedimentación sobre capas que se formaron antes de la interrupción y entonces se producirá una discordancia.

Si dos estratos, aunque de diferente periodo de sedimentación descansan entre sí se le llama discordancia paralela, si durante la pausa la capa sufrió inclinación o se cortó y sobre ella se establece una nueva capa se forma una discordancia angular.

Propiedades físicas de las rocas

Todas las rocas, sean sedimentarias o ígneas, presentan más o menos resistencia a ser plegadas, flexionadas o trituradas. Sus propiedades físicas más importantes son: elasticidad, compresibilidad, viscosidad y resistencia.

Elasticidad es la capacidad de regeneración de una roca tan pronto como disminuye la carga que produce su deformación. No todas las rocas pueden soportar una carga igual, cuando ésta es incapaz de presentar una elasticidad constante al peso de la masa se rompe, como una manera de equilibrar la fuerza de empuje y la resistencia de la roca a ese peso. Sería difícil considerar hasta cuándo sobrevendrá la ruptura en relación a la carga que una roca soporta a sabiendas de que ninguna tiene el mismo grado de elasticidad. Consideramos que éste dependerá de que la roca sea sedimentaria o nó, ya que en éstas se presenta el mayor grado de elasticidad y de plasticidad, o sea el grado de conformación que obtiene una roca en razón de un peso o tensión que soporta, ya que el peso estará dado por el grado de compresión.

Muchas rocas presentan diferente grado de resistencia, de tal manera que cuando son comprimidas en vez de romperse se deslizan en forma de fluido, presentándose una deformación plástica llamada también fluencia, esto se presenta en rocas que contienen alto grado de mineralización, o sea, son metales que flu-

yen con el calor.

Fluencia es un tipo de deformación en donde la masa pier- de toda orientación fija tomando cualquier dirección, es típico de las rocas débiles como la sal; se presenta cuando existen tempera- turas muy altas, es la única deformación realmente plástica de las rocas.

Debemos entender como resistencia a la capacidad de una roca para soportar un peso hasta romperse o desintegrarse.

Es por eso que debemos considerar las propiedades ffsi- cas para tratar de explicar el origen de un plegamiento o una fa- lla.

La parte más alta de un anticlinal es la CHARNELA o LOMO, los lados o laderas de los pliegues o PLANOS INCLINADOS se llaman FLANCOS, el PLANO AXIAL es el que une las charnelas de todas las capas de que consta el pliegue.

El núcleo es la parte interior del pliegue.

La cresta o gancho es la parte superior de un pliegue en donde éste cambia de dirección, o sea la zona de dobladura, a esta parte también suele llamársele bóveda del pliegue.

Eje del pliegue es la línea determinada por la unión del plano axial con una superficie horizontal.

Dirección del pliegue, es la dirección de su eje o la de su plano axial. Se mide desde el plano horizontal trazado sobre la capa, se utiliza una brújula. En algunos casos, cuando el pliegue es muy grande o no se presenta cabalmente, para medir la dirección se usa su buzamiento o línea de máxima pendiente. Llamamos buza- miento a la inclinación del lecho en un lugar determinado, repre- sentándose con una flecha que apunte en dirección de la inclina- ción y a su lado se pone el número que indica los grados, el ángu- lo de inclinación sobre la horizontal.

La dirección es una línea recta perpendicular al buza- miento.

Plegamientos, son arrugamientos de la corteza de la Tie- rra producidos generalmente por fuerzas de compresión principalmen-

te sobre rocas sedimentarias, a un pliegue hundido se le conoce como sinclinal y a un pliegue elevado se le conoce como anticlinal. Una gran parte de sinclinales viene a formar valles por donde se deslizan corrientes y en otro caso los anticlinales forman enormes montañas.

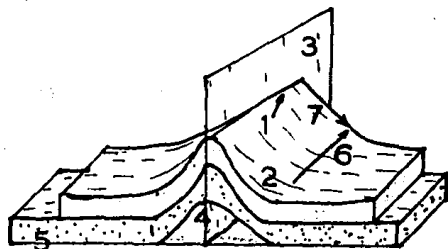


Fig. 93

Las partes de un plegamiento.

- 1 Charnela.
- 2 Flancos.
- 3 Plano Axial.
- 4 Núcleo.
- 5 Eje del Pliegue.
- 6 Dirección del pliegue.
- 7 Busamiento.

CLASES DE PLIEGUES

Según su inclinación, los pliegues pueden ser de: plegamiento recto, inclinado, acostado, isoclinal, en abanico, cabalgadura y pliegue falla. Los pliegues que tienen la forma de V se llaman sinclinales y los que tienen forma de A anticlinales.

Plegamiento recto. Es cuando el plano axial queda vertical y sus lados o Flancos tienen igual inclinación.

Plegamiento inclinado u oblicuo. Se caracteriza porque los lados de uno de ellos están más inclinados.

Plegamiento acostado o tumbado. Es cuando el plano axial queda de manera horizontal, o sea que los flancos descansan uno sobre otro produciendo con esto que estratos más antiguos descansan sobre modernos, en este caso el orden de los flancos en un caso es normal y en el otro es invertido. A estos pliegues se les llama pliegues Recumbentes.

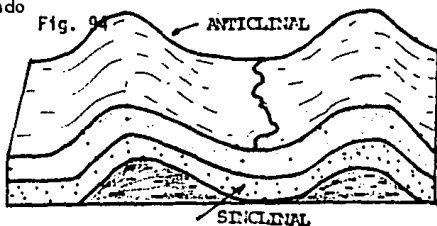


Fig. 94

ANTICLINAL

SINCLINAL

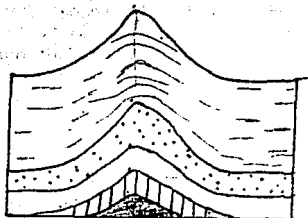
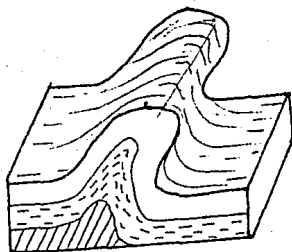


Fig. 95 Pliegue recto, normal o parado.

Fig. 96 Pliegue inclinado
cúlcico o volcado.



Pliegues isoclinales

Se presentan cuando los pliegues son paralelos en un mismo sentido o inclinación.

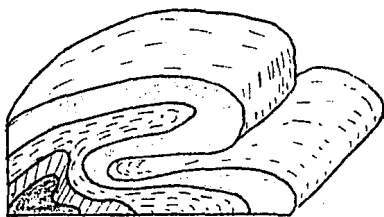
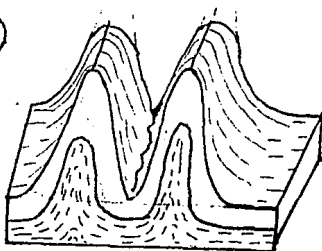


Fig. 97 Pliegue acostado o tumbado.

Fig. 98 Pliegue isoclinal.



Pliegues en abanico. Son pliegues muy ensanchados en la parte alta y estrangulados en la parte baja, también se les llama Diapíricos; se forman dentro del centro del pliegue por un empuje hacia arriba. A estos pliegues se les llama también Disarmónicos debido a que se deforman, deslizan y salen de su posición formando un anticlinal exagerado (domo de sal), como ejemplo de estos están los plegamientos con núcleo plástico; pliegues preferentes, inyectivos de Stille y las extrusiones de Vienot.

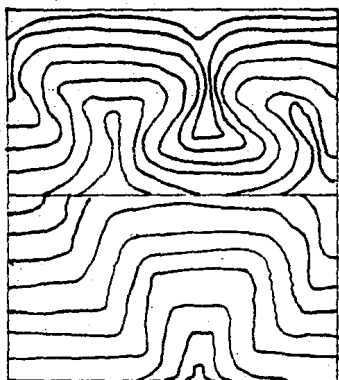


Fig. 99

Pliegue en abanico.

Pliegue en arqueta o cajón.

Se caracteriza por tener un gancho ancho, una pendiente suave y otra abrupta.

Pliegues zambullidos. Llamados también invertidos, en que el plano axial deja de ser vertical para ser horizontal, adquiriendo una gran inclinación en donde el gancho queda en dirección de la superficie.

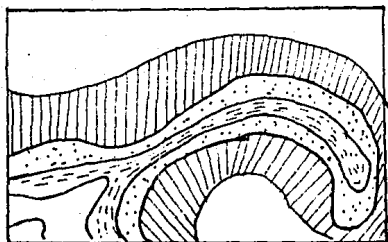


Fig. 100

Pliegue zambullido.

Los pliegues pueden ser muy largos ascendiendo muchas veces a su anchura, con la característica de que siguen de manera paralela apretándose en forma de franjas angostas de gran extensión.

a este tipo de plegamiento se le llama lineal.

Si la longitud del pliegue es solamente dos o tres veces más que la anchura y se encuentra de manera aislada se le llama braquipliegue, estos suelen ser isométricos, o sea que la anchura y la longitud es casi igual, produciéndose entonces un Domo de manera circular o en óvalo. Con estos existen los braquianticlinales y los braquisinclinales, al braquianticlinal también se le llama cordón.

Quando un pliegue se ramifica llega a ser sinuoso, a este fenómeno se le llama virgación de los pliegues.

En un pliegue se observan ondulaciones, o sea que la parte alta se eleva o se hunde a manera de ondas según éste, al bajar un anticlinal o levantarse un sinclinal se dice que el pliegue se cierra; al cierre de un anticlinal se le llama Periclinal, y se llama Centroclinal si es un pliegue sinclinal.

Al conjunto de partes altas que forman varios anticlinales se le llama anticlinorio y al de partes bajas que forman varios sinclinales se le llama sinclinorio.

Fig. 102

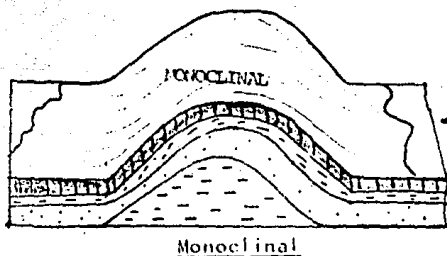
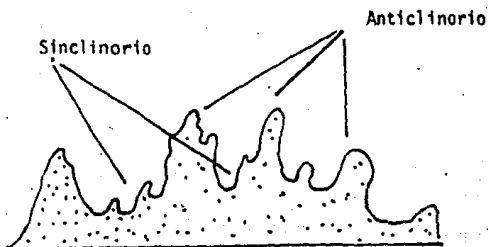


Fig. 101



Es un estrato inclinado que tiene como característica que las capas se conservan con una inclinación uniforme, contiene pendientes suaves cuyo ángulo de buzamiento no pasa de 40°, cuando

do se presenta en éstos un desnivel en forma de S por desplazamiento de los macizos sin que exista una rotura, se origina sobre el monoclinal una flexura que puede tener un ángulo de buzamiento casi vertical o ser de pendiente suave, en algunos casos puede existir una serie de flexuras que se siguen unas a otras; a esto se le llama cascadas o escaleras. Cuando sobre el terreno se observan combaduras hacia arriba, o sea amplias depresiones, se habla de una flexión grande que puede ser hacia arriba o hacia abajo con una combadura de varios kilómetros y un grado de buzamiento muy reducido; a éstas también se les suele llamar sinclisas para abajo y anticlisas para arriba. Estas formas del relieve se originan por movimientos de ascenso y descenso de la corteza llamados movimientos ondulantes oscilatorios a manera de una onda.

b) Fallas. Las fallas son roturas de la corteza terrestre con desplazamiento si existen las diaclasas que son fracturas en las rocas, pero en ellas no hay desplazamiento sólo la fractura o junta sin movimiento con separación de un estrato con otro.

En general todas las rocas presentan fracturas o diaclasas, algunas son horizontales, otras inclinadas y otras perpendiculares, se llegan a presentar en forma paralela muy juntas o espaciadas; estas diaclasas en general se encuentran muy juntas lo que impide la mayoría de las veces introducir un cuchillo, muchas son debido a deslizamientos, retorcimientos o tensión producidas por fuerzas de compresión o de tensión.

Las diaclasas generalmente se encuentran en todas las rocas, salvo en aquellas en donde exista mucha humedad o sean movedizas. Estas grietas pueden ser de diversos ordenes; ocultas, cerradas o abiertas. Las ocultas solo se manifiestan si se llega a romper la roca.

Las cerradas son aquellas que se observan entre las rocas desde unos cuantos centímetros hasta de varios kilómetros, pero en donde ni el filo de un cuchillo penetra.

Las abiertas se observan separadas por hendiduras, éstas suelen ser las más abundantes.

Según su forma pueden ser rectas, encorvadas, quebradas y en sus bordes son pulidos, lisos o ásperos como dientes.



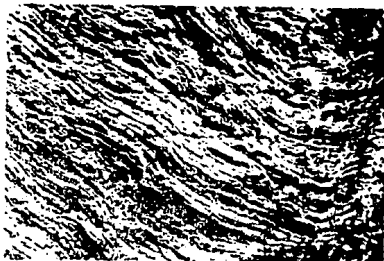
Fig. 103 Diversos tipos de juntas

A Ocultas

B Cerradas

C Abiertas

B



C

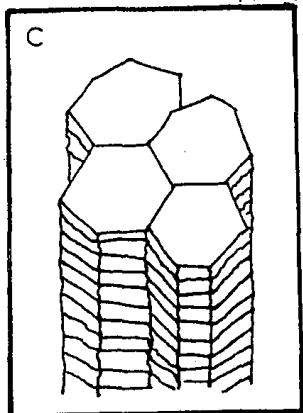
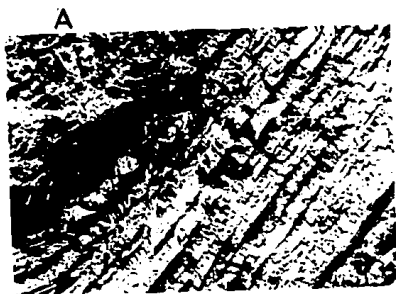
Las juntas de deslizamiento se caracterizan porque no hay separación, más bien quedan ajustadas, mientras que las de tensión están abiertas o separadas.

La existencia de estas roturas en las rocas predispone a que sean atacadas con mayor fuerza por los agentes del intemperismo, por las plantas y por el agua en las costas, que atacan a éstas agrandándolas y produciendo el resquebrajamiento de las rocas y su derrumbe, pero a su vez las plantas penetran con sus raíces para ensancharlas con el fin de romperlas o triturarlas.

Estas juntas en rocas o canteras son ampliamente utilizadas para la obtención de grandes bloques.

La existencia de juntas en rocas sedimentarias es muy escasa, se observan ampliamente en rocas calizas plegadas o al secarse el barro de una llanura aluvial en donde se producen las grietas poligonales debiéndose a la contracción causada por la pérdida de agua.

En las rocas ígneas en vez de formarse por una pérdida de agua se producen por contracción debida a enfriamiento, teniendo el más claro ejemplo en la formación de los basaltos columnares de San Miguel Regla.



A Juntas en rocas calizas
Fig. 104
B Grietas de desecación
C Grietas poligonales

El mecanismo de las grietas poligonales de la costra basáltica, o sea el enfriamiento, se inicia uniformemente producido en una masa homogénea, o sea en un basalto de grano fino, así que a partir de superficies planas se va enfriando hacia el interior y por lo tanto la contracción se efectúa en toda dirección enfriándose hacia centros igualmente espaciados, y a partir de éstos se forman vértices de redes de triángulos de forma hexagonal,

de grietas que a su vez causan la contracción producida por el enfriamiento y la formación de los prismas, y a medida que el enfriamiento va progresando hacia el interior, las grietas van creciendo quedando el manto basáltico dividido en una red de prismas o columnas hexagonales, aunque no necesariamente ya que pueden ser de tres u ocho lados, aunque es más frecuente la existencia de las de 6 lados. Otra particularidad es que estos prismas generalmente son perpendiculares a la superficie de enfriamiento.

En realidad existen diversos tipos de diaclasas, las rotacionales, producidas por deslizamiento en dirección contraria al techo y muro de los pliegues de capas compactas, diaclasas de tensión por la curvatura, o sea por la pérdida de arqueado elástico y las de cizalla en forma de crucero de fractura por ruptura de pliegue debido a una compresión lateral.

Como nos hemos dado cuenta, las diaclasas son resultado de tensiones no tan fuertes como para que produzcan un movimiento de separación y corrimiento, pues cuando esto llega a suceder se producen las fallas, en algunos casos los deslizamientos sobrepasan varios kilómetros, por lo que son fáciles de apreciar pero en la mayoría de los casos las fracturas no suelen estar bien definidas, siendo planos de cizalla a lo largo de los cuales se localizan gran cantidad de deformaciones.

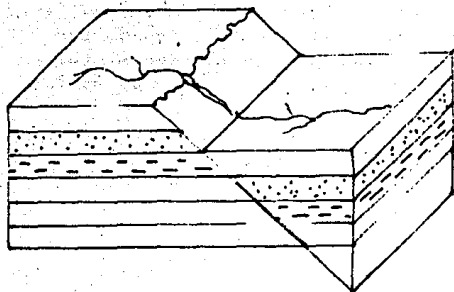
El nombre de Junta o diaclasa es lo mismo utilizándose de manera indistinta.

Las fallas, en cambio, son movimientos paralelos al plano de fractura, pudiéndose presentar deslizamientos desde unos cuantos centímetros hasta miles o decenas de miles de metros. El origen de las fallas está dado por movimientos tectónicos de tensión que al acumularse en determinadas zonas de la Tierra producen rompimientos de las rocas con deslizamiento, movimientos que pueden ser en diferentes inclinaciones o direcciones ya sea hacia arriba, hacia abajo u horizontalmente. La clasificación más aceptada a dividir a las fallas es en tres tipos: Falla normal, falla inversa y falla de torsión.

1) Falla normal. Es la más común, caracterizándose porque el plano queda la mayoría de las veces inclinado en un ángulo de 45° . En ésta uno de los bloques ha sufrido un deslizamiento hacia abajo de tal manera que el plano de falla tiene su inclinación ha-

cia abajo y hacia el exterior, en este caso queda el techo de falla encima de la fractura y el piso queda debajo, o explicado de otra manera en este tipo de falla, queda un bloque levantado y otro hundido.

Fig. 105 Falla normal



2) Falla inversa. Se debe a la fuerza de compresión llamándosele por lo tanto falla de Empuje. Queda al reverso de las anteriores, quedando el plano de falla inclinado hacia arriba y hacia afuera; a estas fallas también se les conoce como fallas de Cobijadura.

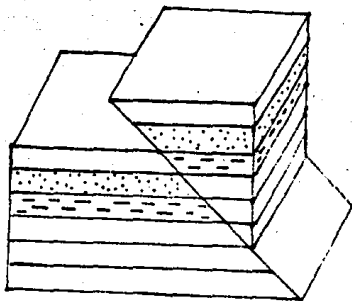
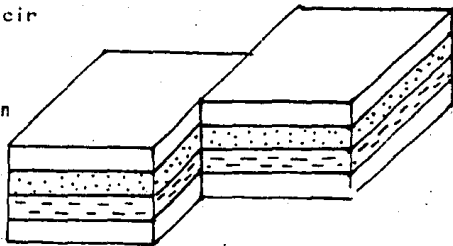


Fig. 106 Falla inversa

3) Falla de torsión. En ésta el desplazamiento es horizontal, de tal manera que también se llaman fallas de Deslizamiento Oblicuo o de desgarre, en otros casos se le suele llamar falla Lateral. Se caracteriza por hendiduras o surcos, debido a éstas se llegan a producir las fosas o grabens.

Fig. 107 Falla de torsión u horizontal.



Es de notar que en la formación de una falla no sólo se presentan fenómenos de tensión o de compresión sino combinadas, lo que hace que encontremos atravesada la corteza por sistemas de fracturas o sistemas de fallas.

Fallas escalonadas. Un conjunto de fallas normales pueden producir una falla escalonada que es una serie de desplazamientos en dirección de las capas que conducen a un aumento de profundidad.

Falla fosa. Son fallas normales que quedan limitadas por una zona hundida; también se les llama fosa tectónica o graben.

Las partes elevadas entre las fallas normales se conocen como Pilar Tectónico o horst.

Basculamiento. Se observa cuando un bloque queda limitado por dos fallas que hacen que éste se separe, ya sea de un lado o de los dos, quedando de forma aislada.

Al producirse una falla, los bloques que se deslizan ocasionan en el espejo de falla rayas, estrías y arrugas, muchas veces los espejos de fricción son paredes lisas y brillantes debido a la fuerza con que se deslizan dichos bloques.

A lo largo de la fractura se presenta, cuando ésta está muy justa, el fenómeno de trituración o fraccionamiento, además de grietas en forma de pluma.

La acción de fraccionarse las rocas produce a lo largo de la fractura una brecha tectónica en donde las partículas pueden ser de diverso tamaño y suele llamársele milonita en donde el tamaño va desde unos cuantos centímetros hasta convertirse en polvo.

El tipo de material depende muchas veces de la amplitud de la falla, la profundidad en que se originó, las características físicas de las rocas y la velocidad con que se produjo el corrimiento, dependiendo en este caso de la inclinación.

En una falla es importante distinguir el plano, que es la pared generalmente vertical o inclinada sobre la cual se ha

producido la falla y desplazamiento de una parte. También se llama Escarpa.

Fig. 108 Falla fosa

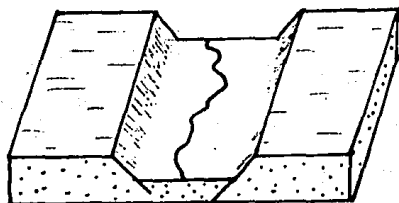
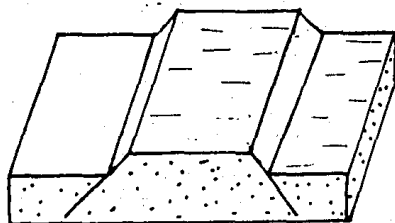


Fig. 109

Pilar o Horst



Línea de falla. Es la intersección de este plano con la superficie.

Labio son las partes más altas de la falla.

Es la distancia vertical entre el estrato más alto y el más bajo.

Quando el hundimiento se produce por una serie de fallas se origina una falla de Escalera o Escalonada.

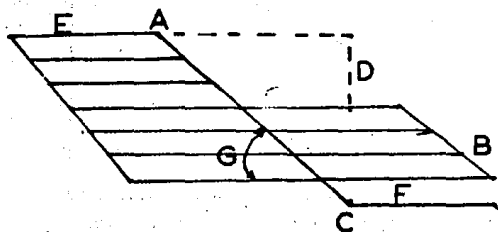


Fig 110

Partes de una falla

AD Plano de falla o escarpa.

D Altura

AC Labio de la falla

B. Bloque hundido

E Bloque levantado

F Línea de nivel

G Angulo de echado.

Volcanismo

Se entiende por volcanismo todo proceso que transporta rocas fundidas del interior de la Tierra hacia el exterior, comprendiendo además productos volcánicos como vapores, gases, cenizas, fragmentos sólidos, etc.

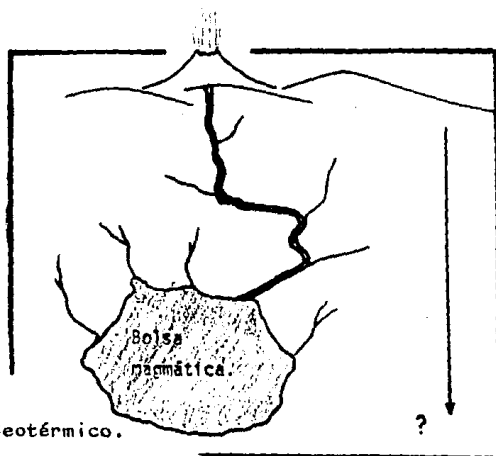
Teorías de formación

El origen de un volcán es realmente desconocido, sin embargo, se cree que para que esto se produzca tiene que existir dentro de la corteza de la Tierra una Bolsa Magmática, que sea la que forme a los volcanes al tratar de elevar los materiales fundidos hacia el exterior por medio de la presión de los gases y vapores originados por el mismo calentamiento interior.

Actualmente se desconoce cuál es la causa de la formación de éste o estos depósitos magmáticos, por lo que algunos investigadores de la geología interna suponen se deba a:

Fig. 111

Esquema posible del origen de un volcán.



a) Gradiente Geotérmico.

Estudios sobre el interior de la Tierra han observado que la temperatura aumenta un grado centígrado por cada 33 metros como promedio, aunque en algunos casos llega a ser de 10° por kilómetro como sucede en el sur de Africa, a este aumento se le

llama Gradiente Geotérmico. Se considera que si esto fuese un patrón determinante se registrarían temperaturas de 600° a los 20 kilómetros y de más de 1 000° a los 33 kilómetros de profundidad y se podría llegar hasta los 2 000 °C más al interior y por lo tanto la teoría de un núcleo incandescente sería una realidad, sin embargo, esto no sucede descartándose que el grado geotérmico sea el causante de la existencia de bolsas magmáticas.

b) A la Estenosfera plástica líquida.

En otras épocas se trató de la existencia de una capa magmática debajo de la corteza aproximadamente a los 60 kilómetros de profundidad sobre la cual la corteza se deslizaba, sin embargo, se considera que si así fuese, al salir la lava saldría constantemente por los volcanes para derramar todo el material sobre la corteza, pero se ha observado que el material que sale de un volcán es intermitente y en muchos casos el volcán después de hacer erupción cesa definitivamente por lo que se descarta también la teoría de una capa magmática sobre el manto.

c) Radiactivo

Otra teoría de carácter moderno que se ha presentado sobre el origen de las bolsas magmáticas es el Radiactivo, en que por la misma radiactividad se producen altas temperaturas que funden a las rocas en contacto con éstas y originan depósitos de magma.

d) Deslizamientos- derrumbes o acomodamientos.

Sin embargo, nosotros consideramos que el origen de las Bolsas Mágmatícas son resultado de deslizamientos, derrumbes y acomodamientos de la corteza de la Tierra, esto en nuestra época, porque antiguamente cuando la Tierra estaba incandescente fueron producto de aquellos gases y materiales que provienen del centro o corteza en enfriamiento.

Como sabemos, la corteza de la Tierra es una capa cuya estructura no está bien conformada por ser prácticamente espuma enfriada, existen enormes oquedades, grandes galerías cuyo origen más que producto de corrientes subterráneas ha sido producto de gases en periodos de enfriamiento cortical, aunado a esto, esta corteza, es la que ha sufrido más contracciones de enfriamiento y más cambios debido a empujes, deslizamientos o mareas de la

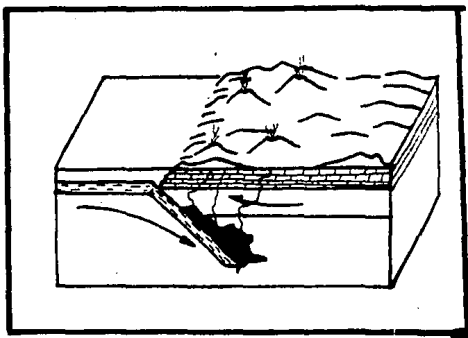
corteza por atracción de la Luna y del Sol y como sabemos la corteza está formada por grandes placas en constante movimiento, tensión y compresión y la formación de los sinclinales, produciendo a los depósitos de magma.

Causa actual

El fenómeno que se produce en el interior es muy simple; las presiones dentro de la corteza son muy altas, cuando sucede un deslizamiento brusco, ya sea por acomodamiento o por empuje de las capas o placas, rápidamente aumenta la temperaturas de las rocas y sobreviene la formación de rocas derretidas que se van a establecer en el mismo lugar, en algunos casos, con el tiempo, aquel material derretido vuelve a enfriarse solidificándose otra vez, pero cuando la cantidad de magma producido es considerable, entonces sobreviene una reacción en cadena de generación de gases que aprisionados por las mismas capas de empuje se ven obligados a salir por grietas hasta que se libera la presión y así se forma un volcán o una grieta por donde sale este material hasta que se agota el magma en el interior y el bloque de empuje se acomoda y no exista más vulcanismo.

Fig. 112

Fenómeno de subducción de una placa, posible formadora de una bolsa magmática.



Se ha observado que la mayoría de los volcanes se localizan dentro de zonas fracturadas a lo largo de fallas. El resultado es que sobre éstas, muchas veces los corrimientos son bruscos viniendo un aumento de temperatura interior por fricción y por lo tanto la formación de una bolsa magmática, que como vimos antes, necesita tener cierto tamaño para que por fuerza produzca

un volcán y se libere.

Con esta teoría podría pensarse que cualquier derrumbe produciría un volcán y entonces estaríamos llenos de ellos, sin embargo, es de considerarse que para que esto resulte tiene que ser un gran movimiento tanto de derrumbe como de deslizamiento y a gran profundidad, mayor de los 20 kilómetros, en donde por tensión y por gradiente geotérmico se presenten las condiciones ideales.

Asimismo consideramos que la formación de esas bolsas magmáticas deben efectuarse dentro de la corteza y no en el manto o núcleo, que deben estar lo suficientemente compactos como para que no se presenten deslizamientos o derrumbes dentro de ellos, y aquí cabe hacer notar que pensamos que el núcleo está sólido y no incandescente como piensan muchos, pues si así fuese, hace muchos que no viviríamos en este planeta.

Origen.

El origen de un volcán parte de la existencia de un depósito de magma dentro de la Corteza de la Tierra (Bolsa Mágmatíca); en esta bolsa se van acumulando los gases producto de las altas temperaturas ya que el magma puede estar a más de $1\ 200^{\circ}$ C, de tal forma que puede estar en estado gaseoso o semifluido. Las presiones a que está sujeta esta bolsa tanto por los gases como por la compresión de algún bloque, obliga al material a buscar una salida que es indudablemente hacia el exterior.

Conforme el material ejerce presión hacia el exterior, se va levantando la superficie de manera cónica y conforme esto sucede se escuchan en la superficie ruidos y se producen temblores leves acompañados por un calentamiento gradual de la temperatura de la tierra y formación de grietas por donde salen pequeñas columnas de humo, vapor de agua y polvo con ligero olor azufrado.

El cono sigue aumentando de altura, de tal manera que de un día a otro puede tener más de 10 metros y por él salen violentamente fragmentos que caen sobre los flancos para hacerlo crecer; así puede durar varios días arrojando un sin fin de materiales que van aumentándolo, llegando a crecer éste más de 100 m en 5 días. La mayor parte de las veces la lava sale por el cráter impulsada varios metros hacia arriba, otras veces se desliza pendiente aba-

jo a manera de estela de fuego o sale de alguna grieta al pie del cono para deslizarse como un flujo de lava inundando a los terrenos más próximos al volcán.

Conforme se desliza esta masa ardiente se va enfriando y formando una costra negra rugosa que se ve cómo se rompe y sale un líquido rojizo que a su vez empuja los bloques. Estas corrientes de lava reciben el nombre de COLADA, de tal manera que sobre una colada ya enfriada se sobreponen una o varias para formar capas con más de 20 metros de espesor y con extensiones enormes.

Hay diferencia entre manto lávico y colada lávica. Manto lávico es una masa lenticular resultado de la efusión de lavas de movimiento lento y espeso.

La colada lávica es una masa que se caracteriza porque su longitud supera a la anchura, se forma cuando la corriente rellena una superficie escabrosa, depresiones o cauces de ríos y valles. La mayor parte de las coladas se establecen sobre la superficie, o sea son de efusiones terrestres, en cambio el manto es característico tanto de la superficie como bajo el mar. Actualmente se utiliza de manera más general el concepto de corriente para identificar al deslizamiento de lava ya que puede haber error al interpretar.

El espesor de estas corrientes puede ser de centenas de metros o de más de 100 km de longitud y el área puede sobrepasar a miles o millones de kilómetros cuadrados de superficie. Es frecuente observar sobre una a varias corrientes más que se deslizan una sobre otra según las efusiones que existan.

Las lavas pueden ser ricas en sílice y como consecuencia de ellos son duras y viscosas y se solidifican rápidamente en forma de gruesas capas y cerca de la zona de erupción, formando una superficie muy accidentada con montículos.

Otras lavas son básicas, caracterizándose porque son menos viscosas y pueden correr con más libertad grandes distancias, originándose un microrrelieve más liso de su superficie. Estas lavas contienen pocos vapores de agua y gases. Durante el periodo de enfriamiento se cubren de una delgada película de forma ondulada o dermofítica, pero en otros casos pueden arrugarse o retorcerse para dar origen a una lava acordonada o cordada que, surge de una lava de alta temperatura; al romperse su costra salen pequeñas

cantidades y al enfriarse rápidamente dan origen a una serie de bloques ásperos y dentados que obstaculizan su salida y así se originan hinchazones en forma de burbujas y tubos en su superficie.



Fig. 113 Burbuja

Fig. 114 Lava acordonada

Cuando estas lavas se escurren por el fondo del mar o de un lago toman una forma aglomerada de bolsas o almohadas que se aprietan entre sí y se separan de la corriente principal para formar estratos o paquetes cuyo espesor puede ser desde 1 o 2 metros hasta 15 metros. A esta estructura se le denomina almohadilla, la unión entre las almohadas se efectúa con material tobáceo u otros.

El mecanismo de las lavas almohadilladas es el siguiente:

Al escurrir bajo un substrato húmedo, mar, lago, río, etc., la lava se cubre de una fina película enfriada, pero al llegar más, aquél lugar se quiebra y se revienta saliendo por ahí la lava que inmediatamente se solidificará formándose como una bolsa y muchas más que se desprenden del lugar de alimentación para rodar y amontonarse en el fondo. Si éstas contienen abundantes gases, éstos llegan a salir formando pequeñas protuberancias a manera de un volcán sobre la superficie de la colada, a estos se les llama hornitos.

En algunas ocasiones se solidifica el techo exterior de la corriente y parte de la lava se desliza por abajo; cuando ésta se retira completamente queda una enorme oquedad o túnel vacío.

En muchos lugares se han formado grandes túneles de más de un kilómetro de extensión del techo de los cuales cuelgan unas estalactitas llamadas carámbanos.

En lugares en donde existen sedimentos arcillosos, tanto en el fondo de un lago, laguna o zona pantanosa, al llegar la lava calcina al material que se encuentra en el fondo tomando éste un ligero tinte rojizo debido a la existencia de hierro que se transforma en óxido. En muchos lugares esta capa calcinada no es más de unos cuantos centímetros, pero en otras es de varios metros; en México a éste se le llama tezontle.

Durante el enfriamiento de la lava se llegan a producir los llamados basaltos columnares, los que ya vimos en fallas.

La temperatura de estas corrientes oscila entre los 500° a los 1400°, registrándose más alta en las lavas básicas y que además son más fluidas, deslizándose con mayor rapidez, dependiendo también de la pendiente que alcanza como promedio una velocidad de 15 kilómetros por hora. La lava llega a solidificarse lentamente produciéndose una superficie suave con arrugas en forma acordonada, a estas lavas se les llama de estructura acordonada.

Al depositarse la lava en x lugar se va compactando por la presión de las diferentes capas originando que en la parte más profunda se produzca un basalto compacto sin grandes oquedades; en cambio, sobre la superficie, debido a su avance, ésta se rompe y se solidifica en forma de diversos bloques ásperos y dentados; a esta lava se le llama escoriácea.

Es igualmente importante hacer notar que las pequeñas oquedades que quedan dentro de la lava (burbujas) se llenan de carbonato de calcio o sílice dando origen al basalto amigdaloido.

Fig. 115 · Volcán cinerítico
típica forma cónica
producto de la explosión
estromboliana.



La estructura de corrientes de lavas enfriadas produce terrenos muy irregulares a los que se les llama malpais.

Partes de un volcán. El lugar por donde salen todos los materiales recibe generalmente el nombre de volcán y al conjunto de fenómenos producidos por éste al hacer explosión se le llama erupción volcánica.

Aunque no es necesario que el material salga por el cráter o boca (este lugar es la parte externa abierta en la región más alta del volcán), la mayoría lo hace por esta parte, siguiéndole por las grietas.

Al edificio que forma propiamente al volcán se le llama cono volcánico, generalmente está formado por la acumulación de productos volcánicos alrededor de la abertura. Por su estructura y manera de hacer erupción a los volcanes se les subdivide en: centrales, fisurales y de área.

Estructuras volcánicas

Volcanismo central: se caracteriza porque la erupción se realiza a partir del centro del volcán, elevando el magma desde una chimenea, caracterizándose porque el cono es generalmente

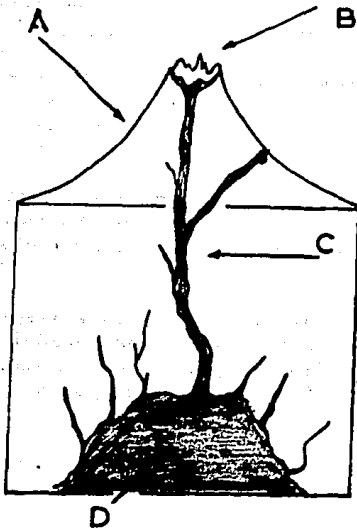


Fig. 116

Partes de un volcán.

- A Cono
- B Cráter
- C Chimenea
- D Bolsa magmática.

de forma redondeada. El tipo central presenta, la mayor de las veces, una forma cónica cuyas laderas tienen una pendiente que rara vez pasa de los 30°.

Volcanismo fisural. Se caracteriza porque el volcán tiene ciertas fisuras por donde sale la lava, muchas veces estas fisuras no solo se encuentran en los lados del volcán sino también en su base. Las grietas son profundas y por ellas sale la lava para escurrirse sobre la superficie siendo más su extensión por este medio que las originadas por coladas.

Volcanismo de área. Se caracteriza porque la lava sale por una gran cantidad de grietas que se encuentran alrededor del volcán, muchas son pequeñas pero otras son de gran tamaño, y no sólo llegan a presentarse alrededor sino también sobre las laderas. Otras se cierran quedando sólo las de mayor tamaño, por donde sale la lava y se extiende por una área bastante extensa para dar forma a mantos lávicos.

Otra parte del volcán es la chimenea, que es el conducto central por donde los materiales se impulsan hacia el exterior; la mayor parte de los volcanes tienen una chimenea central, pero dentro puede haber ramificaciones hacia las grietas que con frecuencia se establecen en sus lados.

Clasificación de los volcanes por su actividad. La manera más frecuente de clasificar a los volcanes por su grado de actividad es determinarlos en: activos, intermitentes y apagados.

Los volcanes activos se caracterizan porque siempre están en actividad constante durante años, observándose en ellos épocas de calma, pero en su cráter siempre se podrá ver el material incandescente.

Los intermitentes se caracterizan por tener un largo periodo sin manifestaciones intensas, pero cuando están en erupción ésta se efectúa de manera violenta, podríamos incluir en este tipo al Vesubio y al Etna en Italia.

Los apagados son aquellos que hicieron erupción violentamente para después extinguirse y quedar como edificios volcánicos; aquí en México tenemos muchos de ellos, algunos verdaderamente impresionantes como el Iztaccíhuatl, Pico de Orizaba y otros más.

El tamaño por su actividad.

El tamaño de los volcanes está íntimamente ligado al tiempo de erupción; generalmente los volcanes que ya están apagados debido a la acción erosiva se ven modificados seriamente hasta convertirse sólo en rastros de ellos, algunos recientes todavía es posible verlos, pero otros se han convertido en cerros o montañas y en ocasiones han sido destrozados para obtener de ellos materiales para construcción. Si el volcán estuvo en actividad por mucho tiempo, fué sumando material a su edificio y con ello creció, pero si lo hizo por poco tiempo y luego se extinguió, no alcanzó a tener mucha altura.

Productos volcánicos. En una erupción volcánica son arrojados al exterior tres tipos de productos: gases, líquidos y sólidos.

a) Gases. Lo primero que sale por un volcán al hacer erupción o nacer son los gases y vapores, el origen de estos vapores parece ser producto de aguas subterráneas pero se cree que se deban más a vapor de agua de origen magmático producto original de los minerales, o sea agua juvenil. La cantidad de agua que sale es del orden de 60 a 90 %, los gases están formados por anhídrido carbónico, óxido carbónico, nitrógeno, anhídrido sulfuroso, metano, hidrógeno, azufre, cloro y fluor. Como algunos son inflamables es frecuente observar grandes llamaradas ascender principalmente en la noche más que en el día acompañadas por explosiones.

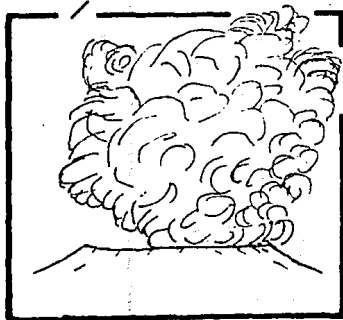


Fig. 117

La mayor parte de lo que arrojan los volcanes son gases.

b) Líquidos. El producto líquido que arrojan los volcanes son las lavas que se distinguen del magma en que éstas contienen menos gases y vapores que llenan el interior; se le conoce con

el nombre de lava cuando está en el exterior y magma cuando se localiza en el interior como vimos antes, esta masa se divide en ácida y básica atendiendo a su contenido de sílice, así que las lavas ácidas tendrán una temperatura que llega a ser de 1 300°C, pero las básicas pueden llegar a tener hasta 2 000°C, por lo que éstas son más líquidas y fluyen con mayor rapidez.

Estudios sobre la temperatura de las lavas han considerado que la disminución en éstas puede ser debida a que al salir tienen una pérdida por conducción, ya que al efectuarse ésta el magma pasa a través de rocas más frías que forman a las paredes del conducto, a la expansión adiabática del magma líquido; o sea, que disminuirá la temperatura porque la lava pasará de una gran presión interna a una baja presión superficial por absorción del calor latente de fusión, o sea que parte del calor del magma se utilizaría para fundir algún tipo de roca que se encuentre en el conducto por absorción del calor latente de evaporación, o sea que debido a la evaporación de los materiales volátiles que se separan del magma se presenta una disminución de temperatura. Enfriamiento directo es cuando la corriente llega a pasar por alguna corriente de agua. Enfriamiento por convección aérea es cuando la lava pierde calor al salir violentamente al contacto con la atmósfera, produciendo también cambios químicos, desintegración radioactiva y otras.

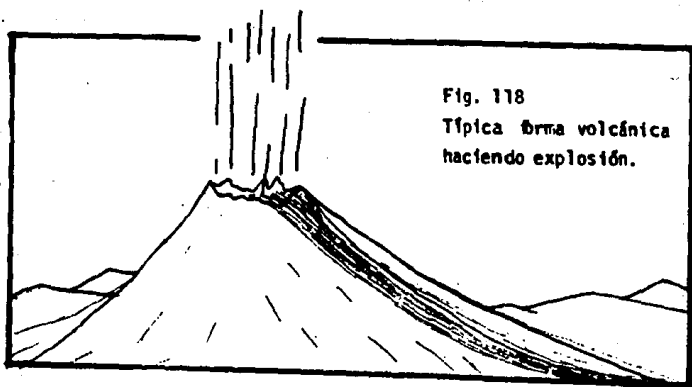


Fig. 118
Típica forma volcánica
haciendo explosión.

Los factores más importantes en esa reducción pueden ser las pérdidas por radiación, convección atmosférica y conducción.

c) Sólidos. Los materiales sólidos que arrojan los volcanes muchas veces se elevan tan alto que van a caer a gran distancia del cráter pero la mayoría caen cerca; estos materiales llamados también piroclásticos están formados por fragmentos que pueden ser desde unos cuantos centímetros hasta cuerpos de más de 90 cm. de diámetro. Los materiales más pequeños son las arenas y cenizas formados por cristales de feldespatos, augita, magnetita y vidrio volcánico. Una de las teorías de las glaciaciones tiene mucho que ver con la existencia de las cenizas volcánicas pues se considera que pudieron ser la causa de ellas. Se ha encontrado que cuando se presenta una erupción éstas son llevadas muy lejos como ha sucedido con las cenizas del Parícutín que cuando estaba en erupción llegaron hasta la ciudad de México.

La mayor parte de las cenizas y arenas caen cerca del volcán aumentando su tamaño y cuando se depositan se llegan a consolidar para formar una toba volcánica.

Fig. 119 Arena volcánica

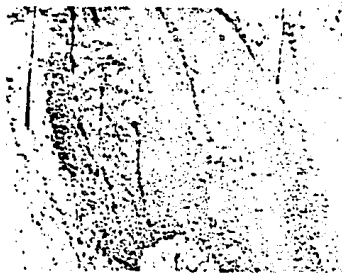


Fig. 120 Bombas volcánicas.

Los fragmentos que le siguen en tamaño son los llamados lapilli, que son cuerpos del tamaño de piedrecitas de 1 a 3 cm de diámetro y que se forman por gotas de lava que se enfrían en el aire.

En algunos casos la emisión de estos productos es tan abundante que en una erupción continua puede formar capas de más de 5 metros de espesor rellenando toda superficie, depresiones o simples ondulaciones. Cuando un volcán arroja mayor cantidad de estos productos se conforma el cráter y se produce un cono cinerífico.

El material más grande que arrojan son sin duda las bombas volcánicas que siendo desde unos cuantos centímetros, 3 ó 4, llegan a ser de más de 15 metros de diámetro. Estos cuerpos son arrojados por los volcánes a grandes alturas obteniendo con eso su forma redondeada, como bolillo, debido a la rápida rotación para caer cerca del volcán. Gran parte presentan una estructura esponjosa al caer pero luego se hacen compactas en forma de capas concéntricas. En muchas se observa gran cantidad de feldespatos formando cristales que se entremezclan con cuarzo y en casi todas se observa una ligera coloración violeta que corresponde a monzonita cuarcifera.

Fig. 121.

Entre los materiales que arrojan los volcanes están las bombas volcánicas.



Si el magma es expulsado violentamente se produce una espuma que se solidifica con bastante rapidez y forma la piedra pómez que se caracteriza por tener abundantes burbujas.

Tipos de erupciones. Tomando en consideración la manera como hacen explosión los volcánes, la naturaleza de la lava y la

existencia de los gases, se pueden establecer cuatro tipos de erupciones: hawaiano, estromboliano, vulcano y peleano.

a) Hawaiano. La lava es altamente fluida, de tal manera que surge de las fisuras y se extiende como una enorme película sobre las regiones vecinas. El tipo hawaiano tiene lagos de lava líquida al rojo blanco en el cráter, cuando hace erupción parte de ésta brota y se escurre y otra es impulsada varios metros a lo alto en donde los vientos arrancan espuma de los chorros para producir un hilo vítreo llamado "Cabello de pelé" diosa hawaiana del fuego.

La isla de Hawai está formada por 5 volcanes: Kohala, Hualalai, Mauna Kea, Mauna Loa y Kilauea; el Mauna Loa es el mayor, con 417 m de altura sobre el nivel del Pacífico y sus laderas se profundizan hasta 4 570 m.

El volcán típico de lago es el Kilauea que es un volcán parásito en un flanco del Mauna Loa, tiene un cráter doble en forma de embudo que se llena lentamente de lava y emite chorros de gas invisible de día y que de noche se ven como luces de bengala. La particularidad de este volcán es que el lago puede permanecer por largo tiempo y después desaparecer.

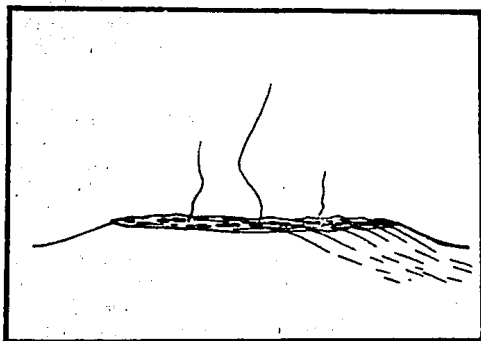


Fig. 122

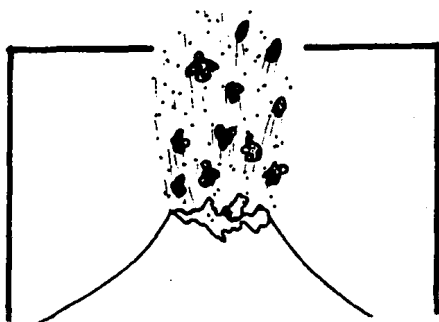
Manera como se efectúa la mayor parte de la actividad volcánica en el tipo Hawaiano.

b) Tipo Estromboliano. Se caracteriza porque cuando hace explosión arroja nubes ardientes, bombas, lapilli y puzolana. El estromboli es uno de los volcanes que más ha durado, datando desde épocas homéricas y todavía sigue, se le llama el faro del

Mediterráneo, localizándose en la isla de Lipari al norte de Sicilia, Italia.

Fig. 123.

El volcanismo estromboliano se caracteriza por arrojar gran cantidad de materiales sueltos.



c) Tipo Vulcano. Se caracteriza porque tiene explosiones muy fuertes haciendo que vuelen grandes pedazos de volcán y producen cráteres muy grandes a los que se les denomina calderas, con uno o más cráteres dentro. El nombre del volcán viene de Vulcano, localizándose en la isla de Lipari al sur del Stromboli. En este volcán la lava es muy viscosa y pastosa con temperatura baja, de tal manera que se convierte en costra frecuentemente. Los gases se llegan a acumular debajo de esta costra y su presión va aumentando hasta que se rompe la costra lanzándose hacia afuera con violencia colosal acompañada con emisiones de nubes negras cargadas de fragmentos sólidos de lava; estas nubes son como coliflor que se extienden conforme ascienden.

La explosión más fuerte que se ha registrado de este tipo es la del Cracatoa en 1883. Se dice que comenzó con fase estromboliana con fuertes detonaciones cada diez minutos y cuando explotó lo hizo en cuatro fases destruyendo a la isla y ahora sólo queda un enorme cráter sumergido entre Java y Sumatra.

La explosión produjo que en Batavia, a 160 kilómetros, se rompieran ventanas y paredes y se produjesen olas de más de 15 metros de altura que arrasaron pueblos y ciudades ahogando a más de 40 000 personas. Fue tal la cantidad de polvo que lanzó, que éste dio tres vueltas a la Tierra antes de disiparse.

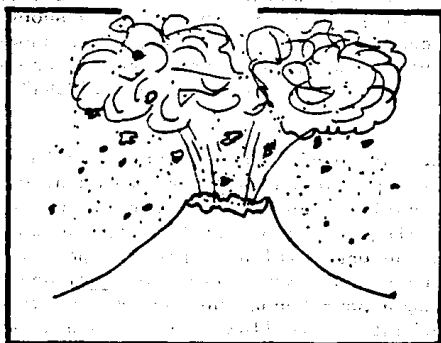


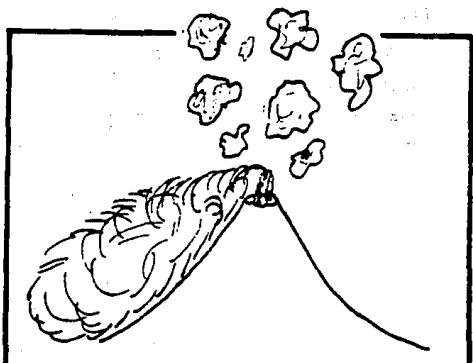
Fig. 124

Una de las formas más violentas de volcanismo es sin duda el tipo vulcano.

d) Tipo Peleano. Se caracteriza por la expulsión de una masa de gas incandescente y partículas sólidas de lava que se proyectan horizontalmente por las laderas del volcán, junto con esto se va levantando el tapón basáltico empujado por los gases quedando éste como un obelisco a lo largo del cráter; este tapón obliga a salir a los gases por otras chimeneas o grietas como nubes ardientes. Es típica la explosión de la montaña pelada en la Martinica.

Fig. 125

Volcanismo tipo Peleano en donde se arrojan nubes ardientes.



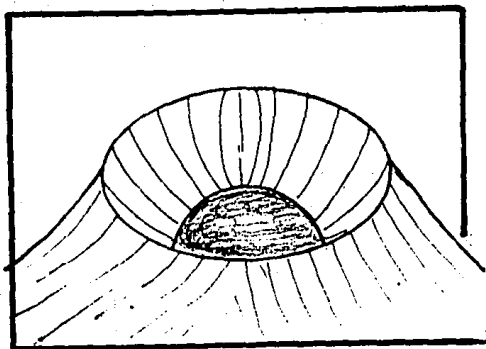
Además de los anteriores, algunos autores incluyen el tipo Vesubiano y el Pliniano. El primero es un tipo intermedio entre el Stromboliano y el Vulcano y el segundo se caracteriza por la explosión de vapor de agua y gas cargado con finísimo polvo que se eleva como un chorro parecido a un pino.

En muchas ocasiones el volcán arroja además de lava enormes cantidades de cenizas y material fragmentario que se va sobreponeando alrededor del cráter para que vaya creciendo; estos conos están compuestos con capas sucesivas de arena y polvo que alternan con pequeñas coladas de lava; a estos conos se les llama CINERITICOS.

Lagos cráteres. Cuando un volcán arroja enormes volúmenes de gases en vez de lava sus explosiones no van acompañadas de manifestaciones efusivas ni extrusivas; en este caso, en la parte media del cráter no se acumula ningún tipo de material ya que éstos son arrojados hacia afuera con gran violencia por los gases. Esto determina la creación de un enorme embudo llamado maar. Generalmente están cubiertos de agua para formar un enorme lago cráter que en México, en lengua náhuatl se le llama Xalapasco a aquellos que no tienen agua (vasijas de arena), y cuando tienen agua se les llama Axalapasco (vasija de agua con arena). El tamaño de estos puede ser de uno a tres kilómetros de diámetro y la profundidad de varios cientos de metros con paredes abruptas en forma de vaso. Los más típicos en México son sin duda el Nevado de Toluca y el de Alchichica, Puebla. Su intensa erosión ha ocasionado que muchos se encuentren en forma de grandes lagos a raíz del suelo o se siembre en ellos.

Fig. 126

En México se les llama Xalapasco cuando no contienen agua y Axalapasco cuando tienen agua.



Calderas. El origen de los volcanes es realmente desconocido como también lo es la profundidad a que se originan. Algunos teóricos consideran que éstos se pueden producir a profundidades que van hasta los 50 kilómetros, pero otros piensan que se originan a menor profundidad. En algunos casos pueden existir bolsas magmáticas relativamente superficiales, o sea a poca profun-

didad, que son las causantes de la formación de las calderas. El mecanismo es el siguiente: se supone que el volcán se produce por la existencia de una bolsa magmática a poca profundidad, no más de 5 kilómetros, que arroja enormes cantidades de magma (lava), al exterior, y la presión de ésta en la superficie produce una enorme carga sobre el techo y el resultado será un gran hundimiento, en donde todo el material se irá al fondo produciendo grandes explosiones. En ocasiones en el centro de dicha caldera se llegan a levantar pequeños volcanes o conos que se llaman sommas y la zona que le rodea se llama atrio. Como ejemplo de calderas tenemos la existente a la salida de la ciudad de México hacia Puebla y como sommas tenemos el Vesubio.

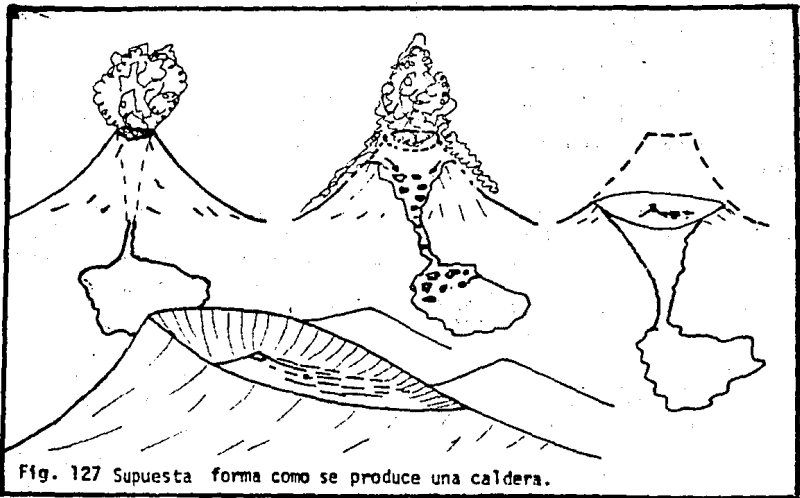


Fig. 127 Supuesta forma como se produce una caldera.

Volcanes parásitos o adventicios. En algunos volcanes existen ramificaciones de la chimenea principal hacia sus lados por donde salen lavas, cenizas u otros materiales; estos producen pequeños conos a los que se les conoce como volcanes parásitos o adventicios, como sucede en el volcán Etna en Sicilia.

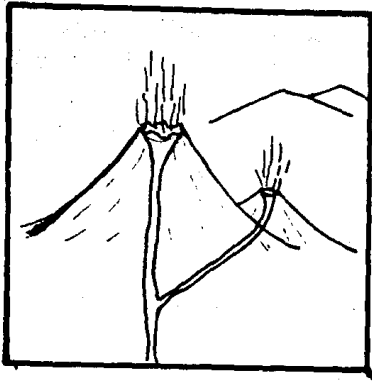


Fig. 128

Muchos volcanes tienen ramificaciones, por donde sale la lava, llamandosele a estos volcanes parásitos o adventicios.

Aguas calientes. Después que los volcanes han hecho erupción por mucho tiempo viene una etapa de disminución de su actividad, es entonces cuando el volcán arroja gas y vapores en vez de lava.

Fumarolas. Son emisiones de gas a elevada temperatura, de más de 700°C , que llevan en solución hierro, cobre, plomo y otros metales; se les llama secos si tienen una temperatura superior a los 500°C , ácidos si ésta es menor, y alcalinas, llamadas también Solfataras, si es menor de 100°C . Cuando son fríos se llaman Mofetas y están formados por anhídrido carbónico.

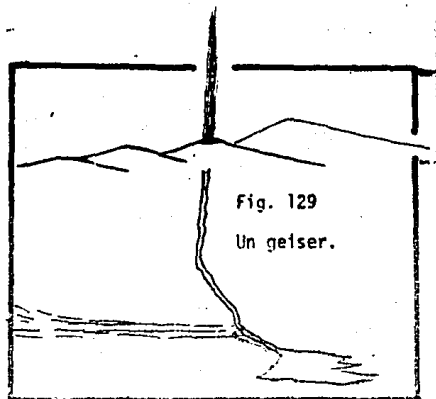
Manantiales termales y geiseres. Cuando la actividad es ya muy reducida queda como elemento secundario la formación de las aguas termales o Geiseres.

Al pasar el agua subterránea por zonas de antiguo volcanismo, el calor existente en esas zonas ya no es tal como para que ésta sea evaporada violentamente, entonces el agua al pasar por estas regiones se calienta hasta llegar a temperaturas cercanas al de ebullición, así que al salir a la superficie en forma de manantial las aguas son termales; muchas de éstas contienen en solución minerales como azufre, anhídrido carbónico, ácido sulfúrico metano, sales, calcita y sílice, por lo que son utilizadas como aguas medicinales; algunas de ellas presentan hasta cierto grado de radiactividad. Las aguas termales producen metamorfismo, disolución y precipitación formando capas de calcita o filones metalíferos, venas de origen hidrotermal en donde la barita, calcita, fluorita,

galena y carbonatos son predominantes.

En el trabajo sobre Aguas Subterráneas en México de la Dra. Maderrey es posible observar la enorme cantidad de manantiales de aguas termales, mencionaremos aquí sólo los que tienen más alta temperatura como son: Cerro Prieto y Laguna Salada en Mexicali, B. California, la Puerta en la Sierra Cucupah en Baja California Norte, San Buenaventura en Chihuahua, Ojo Caliente en Durango, Santiago Maravatfo, Comanjilla en Guanajuato, La Caldera en Abasolo, Guanajuato, Pathé en Hidalgo, La Laja y La Soledad en Jalisco, Ixtapan de la Sal en México, El Platanar en Jiquilpan, Hervideros de Huingo, Ixtlán de los Hervores y San Andrés Ciudad Hidalgo, Michoacán, Topo Chico en Nuevo León, Tequisquiapan en Querétaro, Tlaltenango, Puebla, Potrillo, Sinaloa y muchísimos más; todos estos tienen en general, una temperatura superior a los 75°C.

Geiseros. Se producen siguiendo el mismo mecanismo que las aguas termales, salvo que dentro de la corteza deberá existir un lugar en donde el agua se caliente llegando a más temperatura que el punto de ebullición para que el agua se evapore y origine una presión que obligue a salir a los gases a la superficie violentamente en forma de chorros. La mayoría de los geiseros son intermitentes, lo que explica que deberá existir un tiempo para que el agua se caliente, llegue al punto de ebullición, se evapore y los gases acumulados salgan.



Entre los geiseros más famosos del mundo tenemos los existentes en el parque de Yellowstone que lanzan una columna de vapor a más de 45 metros de altura y a una temperatura de 95°C; igualmente el Gran Geiser de Islandia cuyos chorros son de más de 30 metros, y aquí en México existen los de Pathé, Hidalgo, que se han captado para generar energía eléctrica.

Volcanes de lodo. Se les llama de esta manera a unos mon-

tículos en forma de diminutos conos que se forman de barro (lodo) y que suelen arrojar gases, agua caliente y lodos por una abertura en la parte alta como si fuera un volcán. Se producen en zonas con aguas termales en donde empujan a estos lodos que salen de manera lenta borboteando como si hirviera y se derrama por todo el cono agrandándolo. La efusión de los lodos generalmente es lenta pero suele haber algunos que arrojan muchos gases. Estos volcancitos no se encuentran aislados sino que siempre forman grupos. Se localizan en zonas en donde ya el volcanismo se ha reducido a sólo morfetas, solfataras o volcancitos, como un fenómeno secundario del volcanismo. Es por eso que tienen temperatura alta y, como vimos antes, arrojan gases como vapor de agua, ácido sulfhídrico y azufre. En México es posible encontrarlos en la laguna de los Volcanes y el Morro de Azufre en Mexicali, B. California Norte.

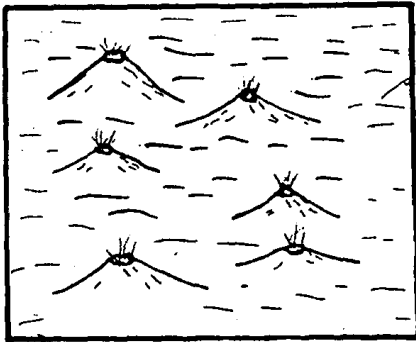


Fig. 130

Volcancitos de lodo que se llegan a formar en zonas de aguas termales'

Algunos volcanes de lodo no sólo se encuentran en zonas de volcanismo secundario sino también en zonas con influencia petrolera, saliendo de ellos ese material lodoso junto con aguas turbias que se derraman a su alrededor para originar lodazales, y los gases que salen son hidrocarburos, pero generalmente con una temperatura más baja.

Según estudios sobre su origen parece ser que éstos deben formarse en zonas en donde existan gases, agua y lodos, además de fracturas para que los lodos sean empujados y salgan por esos volcanes. Se relacionan algunos con la existencia de petróleo en pliegues diapíricos.

Fenómenos eléctricos. En algunas ocasiones se presentan fenómenos eléctricos que se manifiestan en forma de descargas y truenos semejantes a los que se producen inmediatamente después que cae un rayo. Se originan en esas nubes gigantescas en forma de coliflor que se establecen directamente del cráter hasta alturas de más de 1 000 metros. Estas nubes son de color gris oscuro en forma de cúmulos. Algunas están tan cargadas de arena que hasta se precipitan en forma de lluvia.

Sismos volcánicos. Cuando se presenta el nacimiento y extinción de un volcán, viene acompañado por una serie de movimientos sísmicos cuyo foco no queda muy lejos del volcán; de los estudios y observaciones del Parícutín se registraron 83 movimientos cuyos focos se encontraron a una profundidad media de 39.6 km y cuyo origen fue orogénico. La mayoría de los sismos fueron de poca intensidad y de corta duración, con carácter trepidatorio aunque también los hubo oscilatorios.

Distribución de los volcanes. En nuestros días la cantidad de volcanes existentes es muy extensa, se conocen más de 600 y se distribuyen en el mundo en dos amplias regiones. La primera es la faja llamada Cinturón del Fuego y la segunda es la zona o Cinturón del Mediterráneo.

La faja del cinturón del Fuego contiene más del 70 % de los volcanes del mundo. Los volcanes activos que se encuentran en la tierra son:

a) Volcanes de América. Yendo de Alaska hacia el sur del continente encontraremos que en esta parte existen aproximadamente unos 15 volcanes de los cuales el Katmai, Pavlov, Triden, Spurr, todavía están en actividad; más al sur en territorio norteamericano existen muchos conos de volcanes ya apagados como el Baker, Rainier; en México, tierra de volcanes, solamente existe hoy en día el Volcán de Fuego de Colima en actividad, pero aquí se pueden contar más de una centena de volcanes la mayoría ya apagados aunque recientemente haya habido acción en el año de 1952 en el volcán Bárcenas, en las islas Revillagigedo. Siguiendo al sur es posible apreciar el Tacaná en la frontera de México con Guatemala, el Tajumulco, Acateñango y Volcán del Fuego en Guatemala, todavía en actividad. En el Salvador existen muchos volcanes, aproximadamente unos 12, pero se destaca solamente el Conchagua y el Izalco.

En Nicaragua existe un buen número de ellos pero actual-

mente sólo el Cerro Negro y el Concepción están en actividad.

En Costa Rica se distinguen unos 7, pero solo 3 son los más importantes: el Poas, el Arenal y el Irazú, este último con erupciones constantes.

En la zona de las Antillas, aunque ya no existen volcanes muy activos, si los hay que todavía lanzan solfataras y fumarolas como: el Gran Azufrera de la Isla Guadalupe y de la Dominicana y el Mont Pelé de la Martinica.

En Colombia se destacan el Cumbal, Galeras y Tolima, en Ecuador está el Cotopaxi, el Chimborazo, el Pichincha y el Reventado, siendo el Cotopaxi el más activo.

En la isla Galápagos, existe solamente el Alcedo en actividad, de tres volcanes existentes.

Chile es sin duda una de las regiones del mundo con más volcanes y muchos todavía en actividad como: el Osorno, Caulle, Calbuco, Puyehue, Llaima y Villarica.

b) Volcanes del Oeste del Pacífico. La mayor parte de los volcanes de Rusia se localizan en la Península de Kamchatka, en donde existen más de 30 de ellos, siendo los más importantes: el Klyuchevskaya, Bezymianny, Karimski y el Avatchia.

En las islas Curiles, que se prolongan de la Península de Kamchatka existe buen número de volcanes, muchos de ellos activos, donde el Alaid, Severghin y Goriashchia son claros ejemplos.

En las islas del Japón se encuentran más de 20 volcanes como el Asosam, Komaga, Meakan, Minami, Fujiyama, Mihará, en las islas del sur como Kyushu y Ryukyu, existen muchos volcanes como el Aso y el Sakurashima.

En las islas Filipinas la cantidad de volcanes casi sobrepasa a los existentes en el Japón, aquí se distinguen: el Babuyan, Smith, Mayón, el Taal en la isla de Luzón, Bulusan, el Catarman en la isla de Mindanao.

En las islas Célebes el Tongkoko, el Sopotán y el Una-Una.

En Indonesia existen más de 70 volcanes en donde Sumatra contiene más de 30, siendo notables: el Sori Marapi, el Kava y el Pematang Bata; entre Sumatra y Java está el Krakatoa que ha sido uno de los volcanes más famosos por su grado de erupción y que actualmente, en su parte media, se eleva un cráter submarino con el mismo nombre, en Java se distinguen: el Gede, Slamet, Merapi, Kelut, Smeru, Lamongan.

En la isla de Bali se encuentra el Agung.

Se localizan volcanes en las islas de Melanesia, Nueva Guinea, Almirantazgo, Salomón, Santa Cruz y Nuevas Hébridias.

En las islas Samoa y hasta Nueva Zelandia existe gran cantidad de volcanes, mencionándose el Tarawera y el Ruapehu en esta última isla.

c) Volcanes del Océano Indico.

La mayor parte de los volcanes se localizan al norte de la isla de Madagascar, en las islas Comoras, Mauricio y de la Reunión.

d) Volcanes de Africa

En este continente los volcanes se localizan en Camerún y en Zaire y, aunque ya apagados, el Kenia y el Kilimanjaro, en Etiopía.

e) Volcanes en el Mediterráneo y Asia Menor.

En una de las zonas con gran volcanismo activo se localiza el Estrómboli, Etna y Vesubio en Italia, el Santorín en Grecia y más adelante está el Elbruz en el Cáucaso.

f) Volcanes del Atlántico Central

En la isla de Juan Mayen se localiza un volcán del mismo nombre, en Islandia más de 10 como el Hekla, Katla, Vatna y enorme cantidad de geysers.

En las islas Azores se pueden contar hasta más de cinco volcanes, en donde el Pico, Terceira, San Jorge y Fayal son los más importantes.

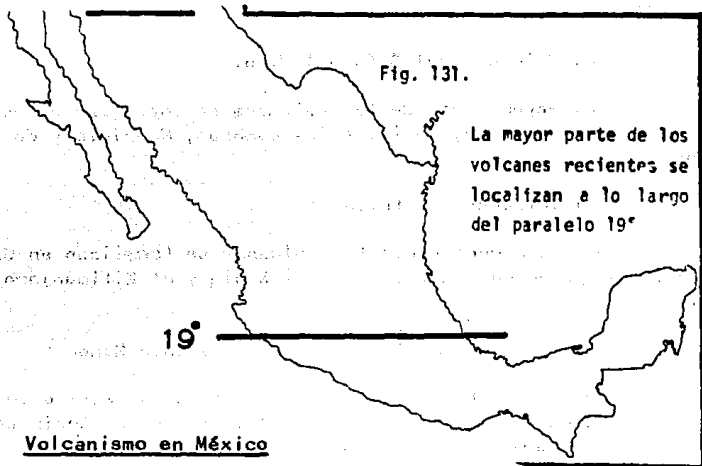
En las Islas Canarias se distinguen el Lanzarote, Tenerife y Palma.

En las islas de Cabo Verde el Pic de Fogo y más al sur, en las islas de Ascensión, Santa Elena y Tristán de Acuña.

g) Volcanes del Centro del Océano Pacífico

Los volcanes más importantes se localizan en las islas Hawaii con el Mauna Loa y el Kilauea, además en las islas Salomón, Fidji, Samoa, Tahiti, Marquesas y Tonga.

Como se podrá apreciar los volcanes se localizan a lo largo de los principales sistemas montañosos en regiones de fracturas y en donde los movimientos sísmicos son frecuentes.



La influencia más activa en el aspecto volcánico, que sin duda dejó grandes rasgos fue la presentada en el país en la era Cenozoica, si bien anteriormente en el Cenozoico Superior la hubo a lo largo de la Sierra Madre Occidental, en la parte media del país, para dar origen al Sistema Volcánico Transversal a lo largo de la falla del paralelo 19. La actividad volcánica del Terciario dió origen a la existencia de rocas andesitas y riolitas, pero el volcanismo del plioceno trajo consigo las rocas basálticas. La mayoría de los volcanes de México se localizan a lo

largo del Sistema Volcánico Transversal, yendo esta zona desde el Cofre de Perote y Pico de Orizaba hasta el Volcán de Colima. A lo largo de esta región se localizan: el Pico de Orizaba, Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Malintzin, Xinantecatli, Xictli, Paricutín, Pico de Quinceo, Tancítaro, San Andrés, Jorullo y Bárcenas.

SISMOS

Los sismos son movimientos vibratorios de la corteza de la Tierra. En los últimos años la presencia de los sismos ha constituido ya un hecho común; sin embargo, hemos de suponer que en este planeta se han dejado sentir desde el primer día de su formación. Actualmente no hay año sin que los diarios señalen la presencia de un terremoto, desde simples temblores hasta grandes movimientos destructores que acaban en unos cuantos segundos con la existencia de miles de seres.

Si revisamos las estadísticas de los sismos más violentos en los últimos años veremos que en el temblor de San Francisco California en Estados Unidos, registrado en el año de 1906, se llegaron a producir más de 600 muertes y grandes pérdidas materiales; en estas mismas zonas ha estado temblando de tal forma que se han registrado movimientos fuertes en los años de 1922 y 1946 y muchos más recientemente. Esta zona debe sus movimientos a la existencia de una gran falla llamada Falla de San Andrés que corre al oeste de los Estados Unidos. Posteriormente, en el año de 1908, en Italia se produce otro gran terremoto en la provincia de Messina (Sicilia) que destruyó casi toda la ciudad originándose más de 100 000 muertes, pero no solo se afectó esta zona sino que con el temblor se produjeron olas de más de 10 metros que arrasaron muchas partes y produjeron inundaciones y destrozos.

En el año de 1915 se vuelve a sentir otro gran temblor en Italia, principalmente en el centro, causando más de 30 000 muertes. En ese mismo año también se ve afectada Nevada en Estados Unidos. En el año de 1920 en China se origina un gran temblor y con ello se mueren más de 190 000 personas y se producen grandes destrozos e incendios en la provincia de Kansu; en esta misma zona vuelve a temblar en el año de 1932 y de nuevo las pérdidas fueron enormes muriéndose más de 80 000 personas.

Sin duda uno de los grandes temblores de la historia fue en el año de 1923 en el Japón, este temblor se presentó al mediodía en una provincia llamada Sagami cerca de Yokohama. Se cuenta

que antes del temblor se inició un gran ruido profundo que fué creciendo de intensidad hasta alcanzar una gran fuerza, en ese momento, se presentó una gran sacudida, los sismólogos que observaban el movimiento pensaron que era uno más de esos cientos de temblores que se registran en el Japón, pero este movimiento fue creciendo hasta alcanzar una gran magnitud que hizo que se cayeran muchas construcciones; este temblor originó enorme cantidad de incendios que rápidamente se extendieron por la ciudad causando innumerables destrozos, según datos, casi el 75 % de la ciudad de Tokio desapareció bajo las llamas e igualmente Yokohama. Por este temblor perecieron más de 100 000 personas.

Posteriormente en el año de 1930 vuelve a temblar intensamente en Italia causando más de 2 000 víctimas en Nápoles.

En el año de 1935 en la India y Pakistán mueren más de 55 000 personas y hubo grandes pérdidas materiales. En 1950 se registró un sismo de más de 8.6 grados ocasionando muchas muertes y destrozos.

En el año de 1939 se presenta un gran terremoto en Chile produciendo más de 40,000 víctimas y grandes destrozos y de nuevo en el año de 1960. Puede decirse que no existe año en que ese país no sufra un gran temblor como ha sucedido con el último, registrado en el año 1978.

Turquía ha sido una de las zonas más devastadas por sismos en el Mundo, en el registrado en el año de 1939 se perdieron más de 25 000 personas; en 1975 se presenta otro en que murieron más de 3 000 y de nuevo tiembla en el año de 1976 originándose más de 4 000 muertes.

En Grecia también son frecuentes los temblores y en 1953 se presenta un gran sismo que produjo la destrucción de gran cantidad de construcciones en las islas de Cefalonia, Itaca y Zante.

En el año de 1957 sentimos aquí en México en carne propia lo que es un gran sismo produciéndose destrozos e incendios, afortunadamente de poca consideración.

En el año de 1960, una mañana se cimbró terriblemente la ciudad de Agadir en donde un temblor ocasionó la muerte de más de 20 000 personas originando destrozos tales que la mayor parte de la población se quedó sin hogares.

Posteriormente, en el año de 1964, en tierras de Alaska

se siente un gran temblor que levanta las calles, casas y produce tales pérdidas que es difícil de imaginar, en este temblor afortunadamente se presentan pocas víctimas pero su intensidad fué casi de 10 grados en la escala de Mercalli.

En las tierras del Perú, país que al igual que otros se ve frecuentemente afectado por sismos, en el año de 1970 se presentó uno de gran intensidad que produjo una enorme cantidad de pérdidas materiales y más de 50 000 muertes así como un gran número de damnificados.

En Nicaragua, un día de diciembre de 1972, se presentó un gran temblor que produjo la muerte de más de 11 000 personas.

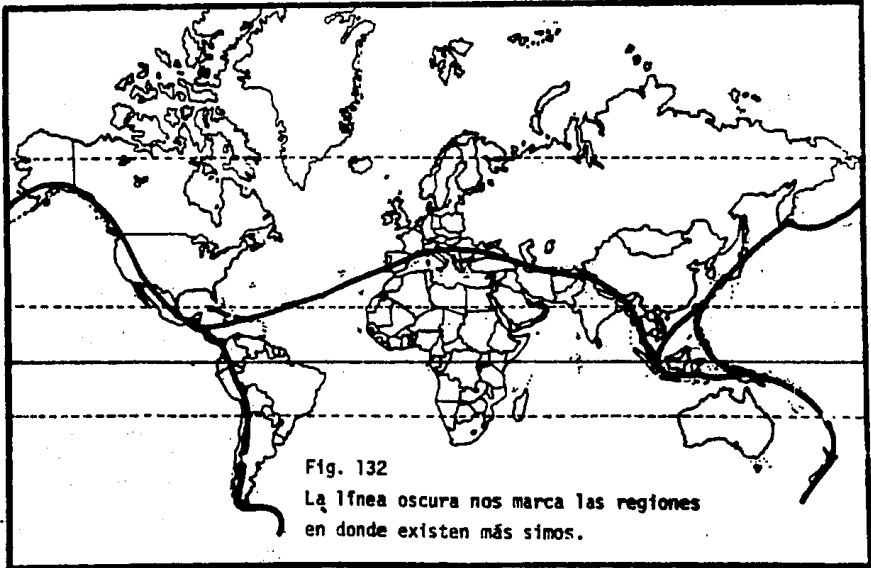
Posteriormente, en Guatemala en el año de 1976, se sintió un gran temblor produciéndose más de 25 000 muertes y una gran cantidad de destrozos materiales que hacen que muchos países se vean obligados a socorrer a éste.

Uno de los últimos grandes temblores ha sido el de China en la provincia de Tangshan en donde murieron más de 500,000 personas y se produjeron grandes destrozos, esto fue en el año de 1976.

Origen de los sismos. Desde épocas remotas el hombre ha buscado el origen de los sismos sin encontrar una respuesta correcta; desde la lejana etapa de Aristóteles y mucho más atrás, el ser humano se ha preocupado por ellos, las ideas han corrido, algunas verdaderamente fantasiosas y otras con gran contenido científico, sin embargo no se sabe mucho de ello. En nuestros días la mayor parte de los geólogos se inclinan a pensar que la mayoría de ellos se originan a lo largo de zonas de fallas. En observaciones hechas de la falla de San Andrés encontraron que las regiones que se encontraban a un lado de ésta se movieron hacia el sur, en cambio la otra se movió hacia el norte. Se ha tratado de explicar diciendo que en una zona determinada a lo largo de una falla, se llega a acumular energía elástica debido a la compresión de uno de los bloques, que va creciendo conforme el bloque ejerce más presión hasta que un esfuerzo del bloque rompe y libera la energía y al igual que un resorte los bloques recuperan violentamente su posición. Cuando se origina el sismo, a lo largo de la falla y de la fractura se produce un movimiento y como lo vimos anteriormente una se desplaza hacia un lado y el otro hacia otro; a este movimiento se le llama deformación en cizalladura. Indudablemente la existencia de fallas predispone a una zona a la sismicidad, ya que la mayoría de las partes del Mundo donde se encuentran éstas

Algunos han querido demostrar que cuando un planeta está más cerca del nuestro, puede producir atracción y ocasionar temblores y que cuando la presión varía sobre la Tierra pueden suceder también.

Zona del foco. El lugar en donde se origina un sismo dentro de la corteza o a mayor profundidad se llama foco o hipocentro. La mayoría de ellos se llegan a localizar dentro de los límites de 5 a 60 kilómetros como promedio, es por eso que decimos que se originan casi exclusivamente dentro de la corteza, sin embargo, se han registrado algunos a más profundidad hasta los 750 a 800 kilómetros (Batisismos) y en casos muy especiales a más de esta profundidad, pero como dijimos antes son muy raros y sólo se han registrado en zonas como en la cordillera de los Andes, en el Himalaya, en el oeste del Océano Pacífico y mar Mediterráneo. Si observamos un mapa de focos sísmicos, veremos que la mayoría de éstos se presentan generalmente al oeste del Océano Pacífico que es la región más inestable del planeta, siguiéndole a ésta, la región del Mediterráneo-Himalayo y por último está la zona costera occidental de América. Por todo esto veremos que más del 80 % de los temblores tienen su origen en el Océano Pacífico, un 15 % se localiza en Europa y Asia y el resto (un 5 %) se distribuye en el resto del Mundo.



El epicentro es un punto de la superficie terrestre que queda verticalmente opuesto al foco o sea que es el lugar más cercano en la superficie de la Tierra al lugar del sismo por tal forma en este lugar se llegan a registrar primero el temblor y con una intensidad mayor que en cualquier parte del planeta; a partir del epicentro se propagan las ondas superficiales.

Ondas sísmicas. Cuando se produce un sismo se originan tres tipos de ondas; primarias, secundarias y superficiales.

Las primarias llamadas también ondas P, son longitudinales, de compresión y expansión igual a las ondas de sonido por ese motivo se les llama ondas sonoras, éstas se pueden transmitir por todo medio tanto sólido, líquido o gaseoso. Como consecuencia de que éstas se mueven en dirección de su movimiento, el material en su trayectoria, se mueve comprimiéndose y expandiéndose de manera alternativa, estas ondas se propagan en toda dirección a partir del foco y en muchos casos producen sonidos que pueden ser percibidos por el ser humano.

Las ondas secundarias, llamadas también transversales o S, sólo pueden propagarse en cuerpos sólidos, se mueven con menos rapidez que las primeras sacudiendo a las partículas, o sea que las partículas oscilan en dirección perpendicular a la de su movimiento, estas ondas llegan después que las primarias a la superficie terrestre.

Las ondas superficiales u ondas L, tienen la particularidad de poder transmitirse en cualquier dirección, se conocen dos clases: las ondas Love que se efectúan en sólidos uniformes y ondas Raleigh que se producen en sólidos no uniformes. Estas ondas superficiales se les conoce como ondas de sacudida que independientemente de su intensidad pueden ser trepidatorias o de empuje y provienen de abajo verticalmente del hipocentro y las oscilatorias que son de empuje que se comunican oblicuamente, son de propagación lenta (de unos 3.8 kilómetros por segundo) como las ondas que se producen en un estanque del centro hacia la periferia. Se les llama también ondas largas por tener mayor amplitud. Tienen la particularidad de que conforme se alejan del epicentro disminuyen sensiblemente de velocidad, pero son tan peligrosas o más que las ondas P y S.

Velocidad de las ondas. Las ondas primarias y secundarias viajan desde el foco a través del interior de la Tierra hasta la estación, pero las primarias llegan primero debido a que és-

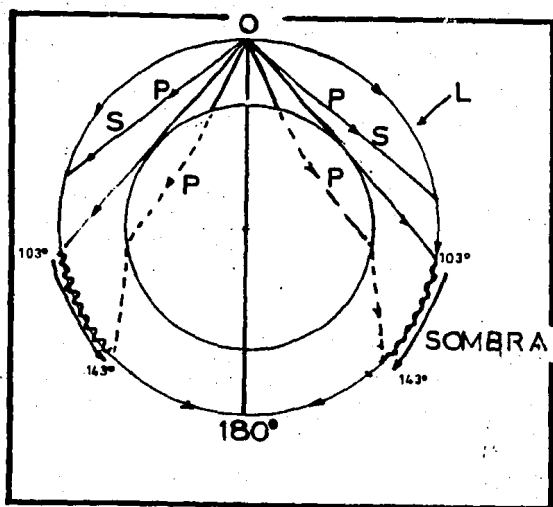


Fig. 133

Figura en donde se muestra la zona de sombra dentro de nuestro planeta.

tas son más rápidas yendo a una velocidad en la corteza de 6.3 Km/seg y las transversales de 3.7 km/seg, más abajo de la capa basáltica y de granito, la velocidad aumenta para ser de 8.0 km/seg en las longitudinales y 4.3 km/seg en las transversales. Las ondas que penetran a mayor profundidad como los temblores muy lejanos, debido a la más alta densidad del manto (sima), en ella las ondas alcanzan para las longitudinales hasta 7.5 km/seg y para las transversales 4.7 km/seg, de los 1 500 kilómetros hasta los 2 900, que es el límite del manto la velocidad para las longitudinales es de 13.0 km/seg y para las transversales de 7.3 km/seg. Cuando las ondas penetran más allá de los 2 900 kilómetros, parecen entrar a una zona donde el material retarda a las ondas P y hace desaparecer a las transversales, por este motivo muchos piensan que esa parte del núcleo está líquida, más que gaseosa. A una profundidad de 4 056 km de repente aumenta la velocidad de la onda P y continúa hasta la parte contraria del epicentro. A esta zona de los

2 900 hasta los 4 056, se le llama Zona de Sombra en donde definitivamente no se propagan las ondas secundarias. El hecho de que las primarias aumenten de velocidad en el núcleo hasta alcanzar más de 11.2 km/seg, nos hace suponer que esa capa está formada principalmente de hierro con mezcla de níquel y algo de cobalto, obteniéndose la densidad en esta parte de 15.0.

Es importante mencionar que las ondas sísmicas no sólo sufren modificaciones a los 2 900 kilómetros, sino que conforme se introducen, a los 33, 1000, 1,800, 2,900, 4,056 y 5 000 se presentan serias modificaciones que corresponden a las discontinuidades terrestres, lo que nos indica la diferente densidad del interior del planeta.

Las ondas L, o superficiales, van a una velocidad de 3.8 km/seg, pero se han registrado algunas que son verdaderamente lentas, de 0.25 km/seg. Estas ondas son muy amplias con movimientos mayores y frecuencia menor por lo tanto son causantes de la mayor parte de los daños producidos por los sismos.

Intensidad de los temblores. La intensidad de un temblor se registra con un aparato llamado Sismógrafo y se registra en un sismograma; las escalas más usadas para conocer la intensidad de los temblores es la de Mercalli, Righter y Rossi Forel.

La escala de carácter científico más usada es la de Righter que se basa en la comparación de los registros gráficos de los sismógrafos, sin embargo, la carencia de un sismógrafo o aparato adecuado hace utilizar con mayor frecuencia la escala de Mercalli que se basa en la intensidad, impresión y destrozos que ocasionan.

La escala consiste en 12 grados:

De 1 a 2 grados, el movimiento es leve y puede ser confundido con un simple mareo y sólo ser registrado por un sismógrafo.

De 2 a 4 grados, el movimiento ya es fuerte, registrándose por medio de rechinos de puertas o paredes y por lo tanto ya es percibido por las personas.

De 4 a 5 grados, es un movimiento fuerte que asusta a la gente y produce pequeños agrietamientos en los muros y oscila-

ciones de los muebles.

De 5 grados en adelante hasta 7 el movimiento es fuerte y se presentan grandes grietas, derrumbes, contacto con cables eléctricos, pequeños incendios y actos de terror.

De 7 a 9 el temblor es bastante fuerte con grandes daños tanto por derrumbes de casas y edificios como grandes grietas en las calles acompañadas por incendios y salida de agua de cañerías. El temblor es tan fuerte que pocas cosas llegan a continuar en pie, ocasionando grandes destrozos de materiales y pérdidas de vida.

De 9 en adelante se produce la destrucción casi completa, existen grandes hundimientos, dislocaciones, corrimientos horizontales y verticales del terreno y en general una completa destrucción.

La mayor parte de los sismos registrados en el Mundo suelen ser de menos de 7 grados de Mercalli; afortunadamente, sin embargo muchos lugares han sufrido movimientos más fuertes (de 8°) y aún sobrepasándolos como ha sucedido en Alaska en 1964 y en Portugal en 1975, en este último se llegó a registrar hasta 8.7 grados.

La escala de Rossi Forel es de diez grados derivada de medición física pero que se consideraba muy arbitraria, de tal manera que a mediados de la década de los treinta se comenzó a utilizar una escala que se basaba en la magnitud de los temblores registrados en el sismómetro y que eliminaba errores, esta escala es la de Richter, tratándose de una escala logarítmica dividida en grados del 0 al 10, de tal manera que el 1.5 indica el menor grado de sismicidad que puede ser detectado y como cada grado siguiente es diez veces mayor al que le precede de tal manera que el de 3.0 ya es un gran temblor y cuando se llegue a 7 tendrá que ser un verdadero terremoto sin embargo, nunca se ha registrado uno que llegue a 9.0.

Cuando se producen temblores, éstos van acompañados por ciertos ruidos, algunos de gran intensidad comparados a los trenes al pasar, golpes o explosiones, o aves al volar, se cree que se deban a vibraciones de las ondas longitudinales que se propagan a través de las capas de aire.

También se registran luces brillantes como si estuviera

incendiándose algo a lo lejos en el horizonte, esta luminosidad se debe al rozamiento de las ondas produciéndose una ionización en las capas en contacto con el suelo.

Si la intensidad de un sismo es menor de 5 grados Richter, entonces es un microsismo y si es mayor de 5 será un macrosismo.

Según el área donde se registren los sismos éstas se dividen en: Zonas Sísmicas o Hipersísmicas en donde tiembla frecuentemente durante todo el año y que en México se localiza en la región suroeste del país.

Zona Penisísmica o Hiposísmica en donde rara vez tiembla, localizándose a lo largo de la Sierra Madre Occidental, norte del centro de México y norte de Baja California.

Zona Asísmica es donde no se producen sismos generalmente en: Yucatán, noreste de México y Baja California Sur.

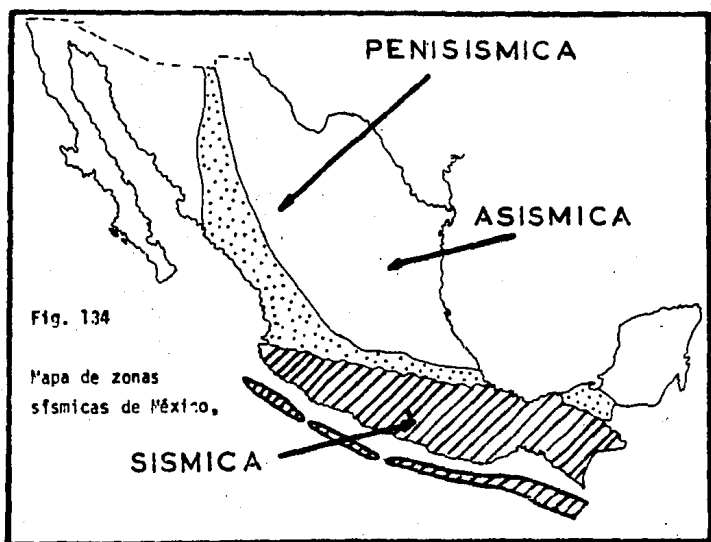
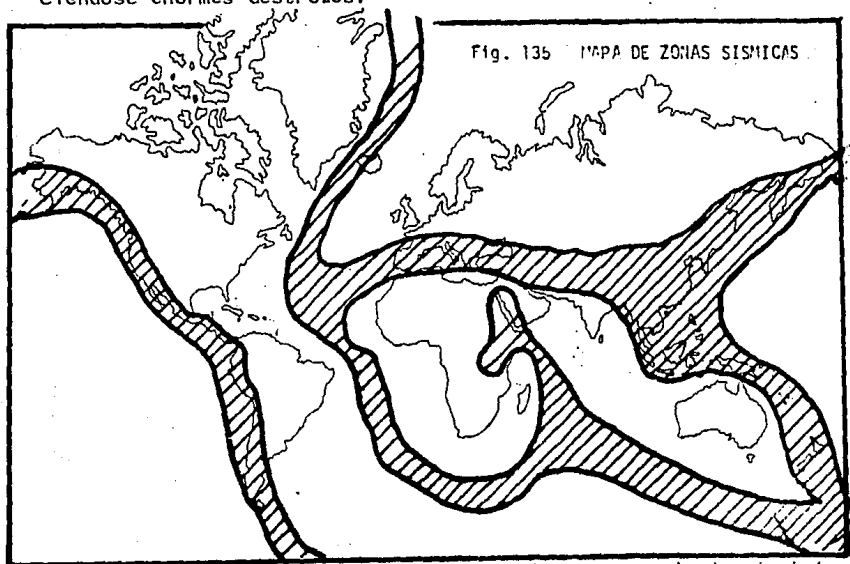


Fig. 134

Mapa de zonas
sísmicas de México.

La forma como se presentan las ondas sísmicas puede ser oscilatoria si se presenta en forma de movimientos horizontales y trepidatoria si vienen en forma de movimientos verticales.

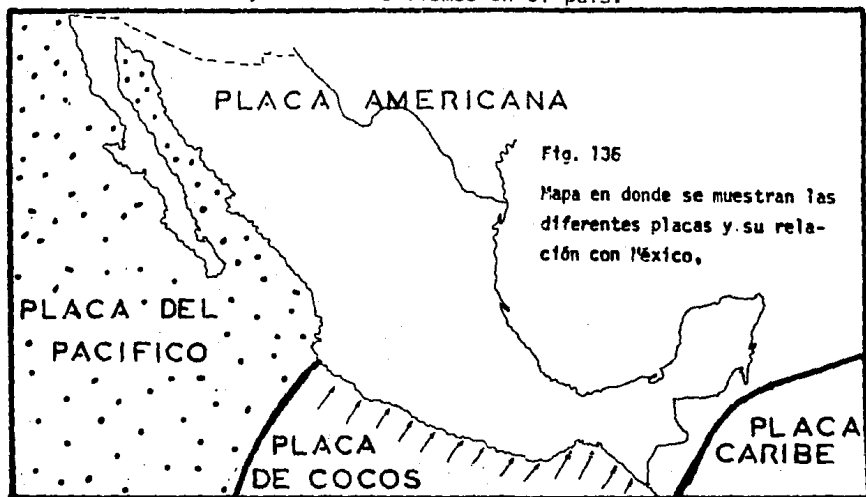
Zonas sísmicas del Mundo. El origen de un temblor se detecta dentro de la corteza de la Tierra a una profundidad variable. Un temblor se puede producir en cualquier parte de la Tierra, sin embargo, éstos se producen en aquellas zonas tectónicas en donde existan condiciones orogénicas; en el Mundo las zonas de mayor frecuencia sísmica son la zona Circumpacífica o llamada también Cinturón del Fuego que va de Chile hasta Japón a lo largo de las costas occidentales de América, en esta parte se registra el 65 % de los temblores del Mundo, zona Alpino Mediterránea o Alpino Himalaya-Indonesio, que va desde Cabo Verde hasta Insulindia en donde se registra el 23 % y una rama, la oriental hacia China produciéndose en ésta el 12 % de ellos. Los temblores más recientes se han efectuado en Italia, Yugoslavia, Irán, Rusia y Japón produciéndose enormes destrozos.



En el caso de México, la zona de mayor grado de sismicidad, como lo vimos anteriormente, se localiza en el Suroeste del país, abarcando toda una gran área que va desde el sur del Estado

de Nayarit hasta el sur de Chiapas, los Estados que se ven afectados son : Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, México, Puebla, Distrito Federal, Morelos, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Veracruz y parte de Tabasco.

En los Estados de Guerrero y Oaxaca se presentan la mayor parte de los sismos, cuyos focos, la mayor parte de las veces se localizan al noroeste de Oaxaca límite con el Estado de Guerrero, esta zona es la más afectada por ellos, registrándose casi el 80 % de los temblores, la otra zona también de gran sismicidad queda comprendida a lo largo de las costas desde la altura de la Bahía de Bandera hasta el sur de Chiapas, en ésta se localiza una gran depresión llamada Trinchera de Mesoamérica, que corresponde a una enorme falla, límite de la Placa de Cocos, que está ejerciendo gran presión con la placa continental mexicana, por lo tanto en esa zona se presentan deslizamientos horizontales que están produciendo la mayoría de los sismos en el país.



Maremotos. Cuando se originan sismos en regiones marinas, se llegan a producir olas gigantes de más de 15 metros de altura sobre el nivel normal de las aguas, y con desplazamientos de más de 500 km/hora, a estas gigantes olas también se les llama Tsunamis. En alta mar, estas suelen ser pequeñas, de más o

menos uno o dos metros de altura, pero cuando llegan a las costas, es cuando se levantan violentamente y se han registrado maremotos de más de 16 metros de altura en Hawaii. Estas olas recorren cientos de kilómetros en las aguas tanto del Océano Pacífico como del Atlántico y aún en el Indico.

Cuando se acerca una de estas olas a la costa, se observa como el agua comienza a retirarse hasta quedar muy lejos de la playa, pero no se retira aún cuando de repente se deja venir una gran masa de agua color verdoso que rápidamente se desborda por la playa arrastrando todo a su paso, en muchos casos, cuando esto sucede en zonas pobladas causa tales destrozos como los que pudiera causar una bomba, miles de personas han perecido por su causa, unas de estas olas azotan frecuentemente las costas mexicanas por el Océano Pacífico conociéndoseles como ola verde en Cuyutlán.

GEOLOGIA HISTORICA

7

Los métodos conocidos anteriormente, indudablemente nos sirven para darnos una idea general sobre la edad de nuestro planeta, sin embargo, no nos sirven para conocer el cambio gradual de la existencia de la vida de, o en nuestro planeta, así que es ahora la Paleogeografía o sea el estudio antiguo de la Tierra la que nos permitirá conocer nuestro pasado remoto y no sólo sabremos de la existencia de los seres vivos, sino también la transformación de ésta junto con grandes movimientos terrestres de continentes, climas, mares y movimientos tectónicos en general que analizados por la presencia de restos orgánicos nos enseñará su transformación.

Muchos lugares de la Tierra se han encontrado frecuentemente sujetos a emersiones y sumersiones, pues la existencia de restos fósiles nos han permitido conocer el tiempo de cada uno de estos cambios, la existencia de diversas capas sedimentarias nos hacen pensar que no todos los periodos geológicos tuvieron las mismas características climáticas, pero sin duda lo más importante que nos deja la Paleogeografía es la indicación de grandes regresiones y transformaciones marinas indicadoras de cambios del relieve continental tanto en lo físico como en lo biológico.

Es pues, la Paleontología la que se ocupa del estudio de los seres biológicos que vivieron en épocas muy antiguas. Estudios que se refieren desde su origen hasta la evolución en cada uno de los periodos hasta la actualidad, no se suscriben sólo a su evolución sino también a los elementos que influyeron sobre éstos, para esto se utilizan los FÓSILES que son restos de plantas y animales que se encuentran en las rocas, la palabra fósil viene del latín fossilis, fossum, fodere, que significa extraer, o excavado, la palabra fósil no sólo es para restos de animales o vegetales, sino también se usa para las impresiones, moldes o vaciados de sus cuerpos, esqueletos o caparazones.

Los tejidos blandos y carnosos se descomponen de tal manera que desaparecen dejando solo la parte dura o la impresión de sus restos entre las rocas, es por eso que, dientes, huesos, escamas o corteza es solo lo que queda y en algunos remotos casos excremento.

Cuando llegan a existir rastros de tejidos blandos sólo se efectúan en rocas calizas por impresión o en grandes bloques de hielo en zonas frías, en donde ha sido posible encontrar restos de elefantes como en Siberia en tal grado de conservación que parte de la carne todavía podía utilizarse como alimento y no solo eso, sino que dentro de sus intestinos se han encontrado restos de alimentos relativamente frescos.

¿ Dónde se localizan la mayor parte de los fósiles ? La mayor parte de los fósiles se localizan dentro de rocas sedimentarias de origen marino, es posible que la existencia de grandes cantidades de animales y plantas en los fondos oceánicos, corales, braquiópodos, crinóides, equinodermos, erizos y estrellas de mar, cefalópodos pueda indicar que cuando estos perecen se establezcan en el fondo junto con arenas, lodos y otros materiales hasta cementarse y formar grandes camas horizontales de rocas sedimentarias, o en otros casos las crecidas de los ríos pudieran llevarse gran cantidad de animales que se sobrepusieron en alguna hondonada, o la caída de manera accidental de algún animal en regiones pantanosas o la muerte súbita en cavernas por accidente o por falta de oxígeno, o quedar cubierto por material calizo en un derrumbe, o en el caso de quedar aprisionado por nieves y hielos que les conservan así por muchos siglos, y todavía más, en casos muy especiales cuando llegan a quedar aprisionados en resinas de ámbar, que es una resina de pinos y abetos que captan a hormigas, arañas o abejas.

Materiales que ayudan a la fosilización. Los materiales que en dado caso pueden influir para la fosilización son muy diversos, el silice, calcita, pirita, resinas, etc. u otros como la malaquita, fluorita, dolomita, yeso o azufre. La mayoría de ellos sustituye el material existente por éste a través de las partes sólidas cambiándose molécula a molécula, de tal manera que la estructura original queda completamente transformada produciendo excelente petrificación.

En chapopoterías se han llegado a encontrar animales casi completos y bien preservados ya que antes han actuado como trampas en donde los animales al caer se sepultaron rápidamente.

En muchas turberas se han llegado a encontrar seres muy bien conservados tanto animales como vegetales y hasta seres humanos momificados. En una estratificación normal, los fósiles más modernos generalmente quedan sobre las capas más superficiales, en cambio, los más antiguos en las capas más profundas, indicando

por lo tanto, los fósiles típicos de cada una de las eras o periodos, así como la ley de la superposición que nos dará las características en cada una de las capas y en algunos casos hasta nos permitirá datar las capas sedimentarias por la existencia de los restos y hasta el tiempo que tardaron en formarse.

Es de notar que los fósiles también se llegan a encontrar sepultados por enormes cantidades de cenizas volcánicas y como claro ejemplo tenemos los árboles petrificados del parque Yellowstone o los seres petrificados que se encontraron en Pompeya.

No solamente se entiende por fósil a los restos que se llegan a encontrar dentro de las rocas, sino también se les considera como tales a huellas o fenómenos que evidencian la existencia de esto.

Métodos de fosilización

Petrificación. Cuando los restos de animales o plantas se han transformado en roca, es cuando se dice que un cuerpo está petrificado, se puede producir cuando las aguas que contienen muchos minerales se infiltran a través del cuerpo y se deposita el material en las oquedades porosas, de tal manera que esto se produce en conchas y esponjas sin alterar mayormente el elemento original, en este caso los elementos minerales van penetrando hasta las partes más internas produciendo una PERMINERALIZACIÓN de la parte tratada que se hace resistente.

Quando el material original es cambiado por el elemento mineral que se está introduciendo, es cuando se produce un REMPLAZAMIENTO o sea que el material se ha disuelto o ha sido cambiado por otro y en su lugar se encuentra hierro, carbonato de calcio o sílice.

Son numerosas las regiones en donde es posible apreciar grandes troncos fosilizados y conservados por permineralización, en cambio la existencia de conchas, moluscos u otros, se localizan mayormente dentro de cuerpos calizos como en el Este de México, siendo abundantes en la región de San Miguel Raya en Tehuacán, Puebla.

Destilación. El material orgánico al quedar sepultado, puede hacer que el producto graso al sufrir pequeños calentamientos por descomposición impregne las regiones circundantes quedando grabada en la roca la figura o figuras que tenía dicho objeto,

es así como se han descubierto rocas en donde ha quedado impregnado la forma de hojas o animales quedando como una bella impresión al carbón aletas o dorsales bien grabadas y en muchos casos existen verdaderas muestras de peces casi completos como una película que se han preservado por la carbonatación.

Moldes. Los restos de cuerpos duros como conchas o huesos pueden quedar empotrados dentro de las rocas, pero con el tiempo, las aguas subterráneas pueden disolver a éstos quedando la oquedad donde estaba la concha o hueso; esta parte es el MOLDE, cuando posteriormente la oquedad se rellena de algún otro material es entonces que se forma un VACIADO o COLADO; si en la figura se muestra la parte exterior del objeto, será un molde externo pero si muestra la parte interna será un molde interno.

En algunos casos se han llegado a encontrar moldes de hojas de helecho que quedan como finas laminitas o moldes de insectos o pequeños animales que al rellenarse y formarse un vaciado quedan bellamente preservados como sucede en el ámbar, esa resina que se endurece proveniente de pinos y abetos y que en Chiapas constituye la "piedra" de la región.

Huellas y rastros. Rastros de pisadas dejadas por los animales en rocas sedimentarias han quedado preservadas hasta nuestros días, estas huellas nos permiten conocer el tipo de animal, tamaño y hasta las condiciones en que vivían; en muchos casos no sólo se refieren estas huellas a patas, sino que son verdaderos surcos de invertebrados. La realidad es que las huellas y rastros permiten conocer como fue el animal, su tamaño, costumbres y sus medios de locomoción.

Coprolitos. El análisis de los excrementos fósiles de los animales nos puede dar una idea de las costumbres alimenticias así como el tamaño de éste.

Condiciones que favorecen a la fosilización. Animales y plantas de épocas antiguas. Muchos o muchas de ellas fueron alimento de animales o se descompusieron para convertirse en simple polvo, pero otros quedaron sepultados bajo grandes capas de material sedimentario para quedar preservados hasta nuestros días, si bien sabemos que las cantidades de material pudieron ser considerables, la mayor de las veces estos se han convertido en rocas compactas habiéndose perdido sus características, sin embargo y afortunadamente, en algunas rocas principalmente en las calizas de origen marino, es donde se encuentra la mayoría de restos que todavía po-

en ellas por gran cantidad de tiempo. Las cenizas y arenas volcánicas también han influido en ello ya que muchos fósiles vegetales se han encontrado enterrados bajo toneladas de éstas.

Y por último diremos que en zonas frías polares o de tundra se han encontrado gran cantidad de animales dentro de los hielos en perfecto estado de conservación, como sucede con los Mamut y mastodontes de Siberia y Alaska, algunos de ellos tan bien conservados que aún la carne podría utilizarse como alimento. Es por esto que las partes blandas así conservadas indudablemente sólo se han llegado a encontrar dentro del hielo o en depósitos de aceite o ámbar.

Importancia de los fósiles. Sin duda los fósiles son de gran importancia porque por medio de ellos, conocemos el pasado histórico viviente de la tierra, desde los más remotos días hasta los más recientes, por medio de ellos conocemos como eran y en donde vivían.

El uso de los fósiles nos permite conocer si el animal era marino o terrestre y por lo tanto también la región en donde nos encontremos, pero no solamente eso, sino que nos permite saber la evolución histórica de éstos.

Muchos vivieron exclusivamente dentro de las aguas como los erizos, braquiópodos, cefalópodos, corales y cuando se observan éstos como rocas en el exterior es lícito pensar que aquellos lugares en donde pisamos, antes fueron regiones que se encontraron bajo las aguas de los mares como sucede en el este de México, en donde encontramos numerosos fósiles, además no sólo nos indica la existencia de mar sino que, si existiesen corales hasta podríamos suponer que las condiciones en esa parte fueron tropicales, pero su inexistencia nos indicará que las aguas fueron frías.

La existencia de animales o plantas terrestres en cambio, puede determinar la consideración de que estas regiones fueron terrestres e indicar una diferenciación entre las tierras y mares, pero no sólo esto sino que la existencia de vegetales y animales puede determinar para el paleontólogo, una explicación de cómo eran éstos; los climas, suelos y costumbres, pero sin duda de gran importancia la evolución desde grupos primitivos hasta los complicados actuales.

En otros casos la existencia de éstos ha permitido co-

TIEMPO GEOLOGICO

8

Sin duda el estudio de la Tierra y principalmente su historia, constituye uno de los problemas más complejos en el conocimiento del planeta; desde Hutton y posiblemente más atrás, el deseo de saber más sobre éste, hicieron que el hombre investigara más y más hasta que por fin fue conociendo algo, así nace la Geo-cronología que es el estudio de los procesos evolutivos de los fenómenos de nuestro planeta desde la época de su formación.

Con esto también nace la Estratigrafía que se ocupa del estudio de los estratos sedimentarios, la Paleontología de los restos fósiles, la Paleoclimatología, Paleobotánica y Paleoedafología que son ciencias que han venido estudiando el aspecto original de la Tierra.

Sin duda el estudio de las Rocas Sedimentarias y los fósiles fué el primer método que se inició originándose con esto el estudio de la escala del Tiempo geológico, así Lavoisier en 1782 pudo explicar la concordancia de los estratos sedimentarios, posteriormente Cuvier estudió los fósiles dándose cuenta que cada estrato contenía fósiles diferentes; en los años siguientes muchos científicos fueron interesándose en su estudio descubriendo que los fósiles no sólo se encontraban en esas regiones, sino que coincidían con otros muy lejanos en otras partes, así se utilizan los fósiles para datar a las rocas y con esto se inicia la Ley de la Superposición que dice que un estrato superior o superficial es más moderno que otro y la más antigua es la que sirve de base a los demás, o sea que conforme pasó el tiempo, los estratos o capas se fueron sobreponiendo sobre otras capas como consecuencia de la misma sedimentación y si hicieramos un corte profundo y analizaramos cada una de las capas nos daríamos cuenta de la historia de la Tierra, sin embargo, dentro de este sistema se presentan fenómenos de discordancia o sea interrupciones de una sedimentación con otra, existiendo intervalos entre los cambios de materiales de origen marino o continentales de origen volcánico, por lo tanto las discordancias son lagunas en la serie estratigráfica, presentándose rocas sedimentarias sobre rocas metamórficas, suponiéndose que los materiales sedimentarios se produjeron después que las rocas metamórficas; otro es cuando los fósiles se presentan entre dos capas de sedimentos, y existe otra forma

de discordancia también cuando se presenta un plegamiento y erosión sobre las cuales se origina otra sedimentación, a esta forma se le llama discordancia angular, porque las rocas sedimentarias no son paralelas.

El aspecto importante de las rocas sedimentarias es su colocación en capas estratigráficas. Si en una zona determinada caen materiales, los más gruesos o pesados caerán con más rapidez que los finos, de tal manera que se encontrarán materiales más gruesos en el fondo y sobre ellos se encontrará el material más fino, o sea estratificación de abajo hacia arriba.

En los ríos sucede lo mismo, los materiales más pesados quedarán abajo y cuando la corriente pierda fuerza, los materiales finos quedarán sobre éstos, formando una capa, los cambios de sedimentación están indicados por un cambio de color, composición y textura de los materiales. A veces pueden estar señalados por planos de discontinuidad a lo largo del cual la roca puede separarse. El espesor de los materiales puede ir desde unos cuantos centímetros hasta llegar a centenares de metros. Cuando los estratos se localizan de manera paralela se dice que son concordantes, pero cuando los estratos se encuentran inclinados u oblicuos se dice que son discordantes, en este último fenómeno, oblicuo, transversal o falso, generalmente se presentan corrientes impetuosas en barras, playas o deltas.

También se puede hablar de estratificación eólica o sea la formada por el viento que produce depósitos de arena o materiales más finos como los loess.

Correlación. Cuando se estudia un estrato con respecto a otro, se analiza el aspecto fósil y se establece la equivalencia de los estratos próximos entre sí, o en otro caso, se analizan los materiales característicos de una zona y otra a la manera como están dispuestos los estratos, por este método es posible fijar la continuidad de un estrato con otro, indicando los fósiles que los estratos son de la misma edad, por este motivo se toma un determinado tipo de fósil llamándosele a éste Fósil Guía o Índice por lo tanto este será más abundante en todos los medios, en realidad son pocos los fósiles que se utilizan y en las únicas rocas en que se presentan son en las calizas de origen marino pero ni aún en ellas suele haber suficientes animales para determinar la edad.

Método petrográfico. Se basa en la identificación de rocas por su semejanza, composición u origen, pero este sistema sólo es usado en áreas muy reducidas y puede tener error porque las rocas se forman por diversa naturaleza y pueden tener cambios de textura de un afloramiento a otro, bajo este mismo sistema las rocas ígneas son más modernas que las intrusivas, aplicándose tanto a los diques y pliocolitos como a los batolitos, esto nos hace pensar que los granates son más antiguos que el basalto.

La datación de las rocas ígneas y metamórficas es todavía más difícil por no contener fósiles. Se debe determinar con relación a las rocas que contienen fósiles. Las rocas volcánicas se datan basándose en la existencia de rocas fosilíferas supra e infrayacentes o en el material sedimentario que contengan, de tal manera que el material ígneo deberá ser más moderno que las rocas en que penetran.

En el caso de las rocas metamórficas, es más difícil llegar a una datación porque primero hay que conocer la edad de la roca original y cuándo se produjo el metamorfismo.

Método paleontológico. Se basa en la existencia de plantas o animales en las rocas, principalmente sedimentarias,

suponiéndose que estos materiales o restos orgánicos se formaron en el lugar o época en que las rocas se consolidaron, por este medio sabremos que los vegetales y animales serán diferentes ya que no son iguales en cada periodo o era geológica, sino que se han ido formando unos y desapareciendo otros, o transformándose de tal manera, que una capa que contenga los mismos fósiles será de la misma edad. Así las rocas más antiguas tendrán restos más primitivos y las rocas modernas tendrán formas más recientes o de vida avanzada.

El estudio de los vegetales y animales en las rocas de manera mancomunada se hace por el método de facies o conjunto de características petrográficas y paleontológicas de una formación rocosa.

Así que a través del tiempo, los seres humanos han ideado diversas formas para conocer la edad de la Tierra, Herodoto, utilizó en el año 450 A.C. el método de la superposición, posteriormente nace la teoría de la salinidad en donde se suponía que

si se calculaba la cantidad de sal que contenían las aguas de los mares nos podrían dar la edad de la Tierra, suponiendo que fueron estos los que iniciaron la vida en la Tierra, por este método se llegó a considerar una edad de 100 000 000 de años, pero esta teoría está sujeta a error ya que no se sabe si los primeros mares fueron salados.

Actualmente el problema de la datación de las rocas se ha resuelto un poco por el nacimiento de los métodos radio-activos que nos dan una edad absoluta de la Tierra, estos métodos modernos todavía no tienen plena comprobación de la edad de la Tierra.

Este método se basa en un estudio de los elementos radio-activos contenidos en un mineral.

Como sabemos un elemento se transforma en otro por emisión espontánea de energía, en este caso la velocidad de desintegración no se afecta por la temperatura ni por la presión, de aquí, que si conocemos la velocidad de la formación de los productos resultantes, sólo se necesitará encontrar la proporción del elemento original con el producto derivado de él para estar en condiciones de calcular el tiempo de cristalización del mineral que contiene el elemento radiactivo original.

A la velocidad de desintegración de un elemento radiactivo se le llama Vida Media o periodo medio de vida; es el tiempo que se necesita para que la mitad del elemento original se transforme en los productos derivados.

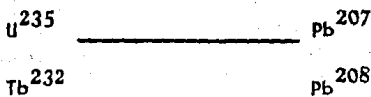
En la datación de las rocas se usan varios tipos de elementos radiactivos:

Algunos minerales contienen torio y uranio que tienen el mismo tamaño atómico, estos minerales son raros, encontrándose en venas de pegmatita en los batolitos, debido a que estas venas son las últimas en recristalizar.

Estos minerales contienen dos isótopos radiactivos del uranio así como de torio. Cada uno de estos produce una serie de productos radiactivos hasta llegar a la formación de plomo.

U^{238}

Pb^{206}



Uno de los problemas más difíciles en el desarrollo de estos métodos fué la determinación exacta del semiperiodo del elemento primario, de tal manera que aún no han sido fijados los valores de las constantes de desintegración, sin embargo existe cierta coincidencia de las edades determinadas en los mismos minerales y los valores deben ser aproximadamente correctos.

En el método Plomo-Uranio es necesario que las edades obtenidas mediante las tres diferentes proporciones, $\text{Pb}^{206}/\text{U}^{238}$, $\text{Pb}^{207}/\text{U}^{235}$ y $\text{Pb}^{207}/\text{Pb}^{206}$ coincidan antes de que cada determinación pueda ser considerada.

Con frecuencia se presenta mineral de Torio y con esto se obtiene otra proporción: la razón $\text{Pb}^{208}/\text{Tb}^{232}$.

Otro método es el uso del rubidio que se transforma en un sólo paso en Estroncio ($\text{R}^{87} \xrightarrow{\hspace{1cm}} \text{Sr}^{87}$). Como los minerales potásicos que contienen rubidio son frecuentes (feldespato y mica) o sólo interviene una desintegración radiactiva y por ser el método más sensible es posible que sea el que más se utilice.

El potasio también se utiliza frecuentemente por ser bastante común:

El potasio se desintegra formando dos productos hijos:



Como el argón es el más fácil de medir, en éste se debe obtener el índice potasio 40 con respecto al argón 40 , sin

embargo, existe el problema de encontrar minerales que retengan el gas argón ya que éste es un gas que se desaparece o desprende de muchos minerales.

Por los sistemas anteriores se ha calculado que la edad de la Tierra oscila entre los 4 500 millones a los 5 000 millones o sea cuando la Tierra tuvo una corteza más o menos estable y anterior a la consolidación, o sea a un período pregeológico, se supone que la edad de la Tierra es de 6 000 a 6 500 millones de años dándole por lo tanto una edad al Universo de 15 000 millones de años.

Carbono 14. Un método que se utiliza para datar cuerpos más recientes vegetales y animales o sea para aquellos que contengan carbono, como la madera y el carbón es el carbono 14 pero sólo para menos de 50 mil años, ya que no da más edad. Este método se basa en que toda materia viva contiene una proporción fija de carbono 12 ordinario y carbono 14 radiactivo, los rayos cósmicos reaccionan con el nitrógeno de la atmósfera formando carbono 14 que se incorpora a la materia viva mediante la alimentación. El carbono 14 se desintegra y de nuevo se transforma en nitrógeno, por tal motivo la proporción de carbono 12 y carbono 14 se puede usar para calcular el tiempo que lleva muerto un organismo, ya que una vez muerto no vuelve a incorporar más carbono 14, usándose este método por lo tanto en la antropología y arqueología.

El mecanismo del carbono 14 es el siguiente:

El carbono 14 emite una partícula beta con una energía de 0.15 Mev y tiene un semi periodo de 5 600 años. En la alta atmósfera los neutrones son liberados por radiación cósmica y estos intervienen en la formación del carbono 14 a partir del nitrógeno de tal manera que la velocidad de desintegración es igual a la velocidad con que se producen los neutrones. El carbono 14 se oxida y forma CO₂ y entra en el ciclo del carbono con una velocidad $2,4 \times 10^8 / 8,3 = 17.2$ desintegraciones por gramo de carbono y por minuto. Cuando un ser vivo perece, cesa el ciclo vital y no se producen adiciones de carbono 14, éste comienza a desintegrarse a razón de una vida media de 5 600 años. El método del carbono 14 depende de la formación continua, mediante un proceso nuclear que origina un elemento radiactivo de vida corta.

región con calificación adecuada de acuerdo a la altura y estado
abundancia o escasez de las plantas de cada una de las especies.

En la actualidad se ha establecido un sistema de clasificación de las
plantas que se basa en el grado de desarrollo de las partes de la
flor y en el tipo de fruto que se produce. Este sistema se divide en
cuatro grandes grupos: **ERAS** y **PERIodos**.
Las eras se dividen en tres: Arcaica, Paleozoica y Cenozoica.
Los periodos se dividen en: Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno,
Plioceno y Cuaternario.

Y

9

PERIodos

La historia de nuestro planeta es difícil de determinar, de tal manera que para poderla estudiar se le ha dividido en cinco grandes eras que a la vez se dividen en periodos. Las eras están separadas por grandes acontecimientos geológicos y por grandes transformaciones, tanto en la vida vegetal como animal.

Esta historia de nuestro planeta se remonta a más de 4 600 millones de años, pero solo vagamente se conocen unos 600 millones de años. Actualmente se divide a toda esa gran etapa de la Tierra en: Era Arqueozoica, Proterozoica, Paleozoica, Mesozoica y Cenozoica; sin embargo nosotros agregaremos la era Arcaica como una etapa más antigua de la Tierra desde que se inició del Sol o de una nebulosa o protoestrella, o sea desde hace 4 600 millones de años, hasta hace unos 2 000 millones de años.

ERA	PERIODO	EPOCA	DURACION	EDAD	OROGENESIS	VIDA	
Cenozoica		Holoceno	10 000 años			Hombre	
		Pleistoceno	2	2	Alpina	Glaciaciones	
		Plioceno	3	5		Desdentados, búfalos	
		Mioceno	18	23	Cascadiana	Coníferas, rinocerontes	
		Oligoceno	15	38			
		Eoceno	17	55		Perro, Elefante	
		Paleozeno	15	70	Pirenaico	Mamíferos	
Mesozoico		Cretácico	70	140	Laramidiana	Desaparecen los reptiles	
		Jurásico	70	210	Nevadiano	Predominio de reptiles	
		Triásico	40	250		Amonitas criptógamas	
Paleozoico		Pérmico	60	310	Herciniana	Reptiles	
		Carbonífero	Pensilvánico	70	380		Insectos, anfibios
			Misisipico				
		Devónico	40	420	Acadiano	Tiburón, psilofitas	
		Silúrico	50	470	Caledoniano	Escorpiones, plantas terrestres	
	Ordovícico	60	530	Tacónica	Gasterópodos, corales		
	Cámbrico	70	600		Braquiópodos, foraminíferos		
Proterozoico		Superior	400	1000	Huroniano	Gusanos, algas, esponjas, hongos, diatomeas.	
Arqueozoico	Pre Cámbrico	Medio	1000	2000	Laurentino	Se forma el agua y algunas formas de vida	
Arcaica		Inferior	2600	4600		Enfriamiento del planeta	

Paleozoico: Del griego palaios "antiguo; zoéin, vida. Mesozoico, meses "medio", Cenozoico, cenos "reciente", Cámbrico, de Cambria Gales. Ordovícico: ordovices, antigua tribu del norte de Gales. Silúrico, siluros, antigua tribu de la frontera galesa. Devónico, del Devonshire. Carbónífero, que contiene carbón, Pérmico, de la provincia rusa de Perm. Triásico, terreno alemán compuesto de tres tipos de rocas. Jurásico, de los Juras en Europa. Cretácico, del latín creta "Yeso". Eoceno, de eos "aurora" cenos reciente. Oligoceno, de oligos "poco" reciente. Mioceno de griego meion "menos". Plioceno, del griego pleion "más" Pleistoceno del griego pleiston "muchísimo nuevo".

ERA ARCAICA.

Suponiendo que en un principio la Tierra era una masa incandescente, ésta comenzó con el devenir del tiempo a enfriarse por una pérdida de calor por radiación, originando una corteza sólida y una espesa atmósfera que le rodeaba. Conforme se enfriaba, los elementos más pesados se fueron estableciendo hacia el centro en orden de densidad quedando los más ligeros sobre la superficie.

Según se enfriaba la Tierra, al disminuir de temperatura, se iba concentrando el núcleo y perdiendo calor por la presión, de tal manera que ese calor fluía hacia el exterior o hacia las capas vecinas en el manto, se continuó esto por millones de años, condensándose también el manto, de tal forma que el calor de éste se iba hasta la corteza para ser la última en enfriarse.

La costra superficial de (Sial) al principio era como un iceberg que flotaba sobre el manto líquido, pero al enfriarse el manto ésta fue quedando como una espuma irregular quebradiza.

El origen de la atmósfera y océanos se debió a que, como consecuencia de la desgasificación, los gases se fueron concentrando alrededor de esa masa en enfriamiento. En un principio los gases estaban formados por hidrógeno y helio, gases que escaparon hacia el espacio pero sólo el hidrógeno se retenía por cierta afinidad química con los óxidos metálicos, mientras que el oxígeno de los mismos metales formaba el vapor de agua.

Este vapor de agua dió origen a una atmósfera de hidrocarburos en donde existían en gran proporción metano, amoníaco, acetileno, o sea una atmósfera primitiva como la existente en gran parte de los planetas de nuestro sistema solar, y cuando la atmósfera alcanza la temperatura de 370° , temperatura crítica del vapor de agua, se condensa gran parte de ésta cubriéndose el planeta de espesas masas de nubes, de las cuales se precipitaron enormes cantidades de agua hacia la superficie; en un principio el agua difícilmente tocaba el suelo cuando ya era regresada en forma de vapor. Así, durante muchos años verdaderos diluvios se presentaron hasta que por fin las aguas comienzan a deslizarse sobre la superficie rugosa para que el enfriamiento del planeta se hiciera más rápido y aquellas aguas se comenzaron a establecer en hondonadas o grandes oquedades para formar los mares u océanos.

Las aguas primitivas no eran iguales a las actuales, se supone que fueron ácidas además de que, como el planeta estaba en

una intensa radiación y bombardeo de rayos ultravioleta del Sol, producían por combinación anhídrido carbónico y otros elementos tanto en la atmósfera como en el agua.

Se supone que cuando ya se produce la capa de ozono por POLERIMIZACION debido a los rayos ultravioleta, estos mismos gases (ozono) impiden la introducción de los rayos ultravioleta, originándose en las aguas la formación de substancias gelatinosas carbonatadas y coloides para que, posteriormente, con ellas, se produzca la vida en este planeta.

Las aguas al escurrir sobre la superficie, fueron arrasando enormes cantidades de materiales sueltos que más tarde, al depositarse, formaron las rocas sedimentarias, y así en el periodo arcaico o pregeológico comienzan las apariciones de continentes y océanos, pero sin duda el aspecto de aquella superficie terrestre es el de una zona desolada en donde enormes cantidades de volcanes vierten su líquido espeso sobre la superficie que difícilmente podremos encontrar hoy día, solo podemos localizar de aquellas remotísimas épocas, rocas metamórficas o granitos cubiertos por rocas sedimentarias más jóvenes en pequeñas regiones en donde parecen aflorar en forma de escudos: el escudo Canadiense, de las Guayanas, Amazónico, Platiano, Australiano, de Angara, Báltico y Etiópico.

Los escudos están formados por granitos y gneis y alrededor de ellos sedimentos posteriores; es importante mencionar que estos escudos son ricos en minerales de hierro, níquel, cobre, oro y plata, pero además, es de considerar que los escudos son intrusiones en los sedimentos adyacentes, pero existen rocas cristalinas que constituyen los núcleos de las montañas o plegamientos, siendo más extensos los escudos que alcanzan más de 5 millones de kilómetros cuadrados de extensión.

Se les llama escudos por la forma convexa parecida a un escudo de un guerrero, en ellos se presentan estructuras volcánicas, plegamientos y fallas indicando un tectonismo intenso.

Arqueozoica. Supuestamente se inició hace 2 000 millones de años, ya el planeta contiene enormes áreas cubiertas de agua formando mares y océanos de agua cálida.

Los primeros compuestos que se formaron fueron siliciuros, hidruros y carburos en alta temperatura, luego los metales fueron oxidados y se fijó el oxígeno, el nitrógeno existente se combina con nitruros, azufre y fósforo y se forman los sulfuros, el hidróge-

no redujo los óxidos férricos a ferrosos y así se forma el agua y el vapor.

En este período la atmósfera estaba compuesta de nitrógeno, gases raros y vapor de agua, amoníaco, hidrocarburos, sulfuros y siliciuros, siendo por lo tanto parecida, como vimos antes, a la atmósfera actual de los planetas y por lo tanto no existía el oxígeno pero sí el nitrógeno y vapor de agua.

Bajo las anteriores condiciones se pudo establecer un equilibrio y formación de sustancias orgánicas no vivientes que se fueron depositando en las aguas, como en un principio no existía oxígeno pero al ir aumentando éste fueron creciendo las sustancias orgánicas, y en el seno de estas masas de sustancias bien pudo aparecer la vida; se dice que no se sabe cuándo ni cómo apareció la vida, pero sí se considera que fue en las aguas en donde aparecieron las primeras moléculas con autosíntesis de multiplicación a expensas de materia orgánica; pero aún éstas, cuando realmente se inició el avance real a la aparición de autotrofos capaces de la fotosíntesis que produjeron mayor enriquecimiento de oxígeno, además de que en la atmósfera, como vimos antes, aumentó el ozono y así se presentaron las condiciones para el desarrollo de la vida.

Los primeros animales fueron sin duda de cuerpo blando, pero con el tiempo construyeron sus caparazones y esqueletos con el carbonato de calcio y cloruro de sodio que existía disuelto en el agua. Un fenómeno que se presentó en este periodo es la enorme cantidad de carbonato de calcio, suponiéndose se debió a la exis-

tencia de grandes cantidades de animales que al morir fueron depositándose en el fondo de los mares u océanos y que, al descomponerse, dieron origen al carbonato de amonio que al reaccionar con sales de calcio dió origen al carbonato de calcio que fue aumentando y por lo tanto crearon los animales sus partes duras.

Esta teoría no es única para indicar la existencia tan abundante de carbonato de calcio en las aguas, ya que otras teorías suponen que al elevarse los continentes las aguas llevaron el carbonato de calcio, haciendo que los animales incluyan abundante calcio en su alimentación.

En el Arqueozoico, la gran cantidad de ascensos de magma fluida no llegan a la superficie quedando debajo de ella; estudios sobre estas masas, que han dado origen al granito, suponen se debieron a tres intrusiones sucesivas: granitos LAURENTINOS, ALGOMANIANOS y KILLARNEYANOS.

Como se observó en los escudos, sobre éstos afloran rocas sedimentarias y otras antiguas metamórficas que se transformaron en esquistos algunas sedimentarias son rocas precámbricas.

Siguiendo el orden geológico debemos suponer que en un principio se depositaron enormes capas de rocas sedimentarias con material ígneo, etapa del KEEWATINIANO; posteriormente movimientos orogénicos plegaron, rompieron y cambiaron las capas sedimentarias formándose con esto el episodio LAURENTINO en donde se forman los primeros plegamientos y por lo tanto montañas más antiguas de que se tengan datos. Le sigue a este episodio o revolución geológica una gran etapa de relativa calma orogénica en donde la ya levantada se ha nivelado, formando enormes planicies en donde la erosión ha dejado al descubierto los mantos de granito. Lo más importante es que los sedimentos, conglomerados y areniscas son los estratos predominantes, formándose el sistema TIMISKAMIANO, sigue a éste el periodo orogénico ALGOMANENSE o ALGOMIANO que con sus movimientos plegó y granitizó al TIMISCANIANO y a todas las rocas más antiguas, posteriormente a éste viene otro periodo o episodio geológico de nivelación y sumersión.

Es pues de señalarse que en este periodo geológico del Arqueozoico, se producen cuatro episodios tectónicos que suelen llamárseles también revoluciones geológicas, siendo éstas: episodio KEWATINIANO
LAURENTINO
TIMISCAMIANO
ALGOMANIANO

Proterozoico. Las nivelaciones y sumersiones que se producen después del ALGOMANIANO son verdaderamente grandes, existiendo enormes cantidades de yacimientos sedimentarios de conglomerados, cuarcita, calizas, pizarras y mineral de hierro con apreciable cantidad de óxido férrico de más de 30 %, presentándose con esto el HURONIANO, nombre que proviene de los sedimentos localizados al norte del lago Hurón. Los enormes estratos sedimentarios al hundirse propiciaron que después del Huroniano se presentaran fenómenos orogénicos para dar origen a los primeros plegamientos y sierras al norte de Estados Unidos, del lago Hurón, Escocia, Escandinavia, Finlandia, Guayanas y macizo del Brasil, de tal manera que estas montañas son las más viejas del mundo hoy en día.

Con esto viene el episodio KEWEENAWAN que es el penúltimo, quedando representado por lavas, areniscas, lutitas y conglomerados, se presentan intrusiones de grandes plácicos de magma básico y levantamientos y por último diremos que a este le siguen enormes etapas de erosión para dar origen al PENOKEANO.

El paisaje era desolador, sin el menor rastro de vida, el clima era cálido y seco, las tierras que se encontraban sobre el nivel del mar se localizaban hacia el este actual, formando las tierras asiáticas, escandinavas, Groenlandia y Norteamérica a manera de un inmenso continente que los geólogos denominaron Megagea o Pangea; algunas rocas de este periodo se llegan a localizar al Oeste de México, a lo largo de las costas por el Océano Pacífico en forma de lajas, en la parte alta de la sierra de Baja California, Sonora, Sinaloa, Durango, o sea, por toda la costa occidental de México desde Sonora hasta Chiapas, empero se han encontrado también algunos afloramientos de rocas antiguas en Colima, Hidalgo, Puebla, Guanajuato, San Luis Potosí, Zacatecas y Veracruz, generalmente estas rocas son gneises, filitas y esquistos cristalinos.

Estudios sobre el proterozoico acerca de la existencia de la VIDA parecen indicar la existencia de ESTA en forma de gusanos, estructuras laminares concéntricas o celenterados, o sea parecido a los actuales corales; es muy difícil considerar la existencia de seres y cómo eran, pero se han encontrado algunos restos y es posible que hayan sido esponjas radiolarias de cuerpo blando, diatomeas y protozoarios.

En realidad los estudios sobre el precámbrico (Proterozoico), han observado la existencia de enormes capas de sedimentos que sin duda tuvieron que formarse a expensas de seres vivos; exis-

ten estratos de grafito y depósitos de rocas calizas y dolomitas y en otros casos másas esféricas de unos cuantos centímetros, por lo cual nos demuestran que es posible que la vida haya existido en forma de algas, hongos y gusanos dentro de las aguas con un tejido suave, o sea, cuerpos blandos sin esqueleto estructural, por lo que al parecer no se conservaron fácilmente y no podían dejar restos de fósiles en las capas de terreno pero sí huellas, impresiones o rastros.

A finales del Proterozoico, se va presentando un descenso de temperatura que originó la primera de las GLACIACIONES sobre el planeta, debido a movimientos orogénicos, y con esto se cierra este capítulo de la historia, quedando como muestra de esta glaciación algunos restos de grauvaca, brechas, areniscas y rocas.

Era Paleozoica (Vida antigua). Esta era, sin duda de gran importancia para el estudio de la vida en el planeta, se inició hace 550 millones de años y terminó hace 230 millones de años, durando por lo tanto 320 millones de años; se le subdivide para su mejor estudio en: a) Paleozoico Inferior con una duración aproximada de 175 millones de años, incluye los periodos CAMBRICO, ORDOVICICO Y SILURICO, y b) Paleozoico Superior con los periodos DEVONICO, CARBONIFERO Y PERMICO.

El Paleozoico Inferior es clásico por la gran cantidad de emersiones y sumersiones, o sea en éste se presentaron avances y retrocesos graduales de los mares a través de millones de años.

Cámbrico (De Cambria Gales). La acción erosiva que se presentó antes del cámbrico (para algunos autores en el penokeyano), disminuyó de altura considerable a las tierras emergidas transformándoles en enormes planicies, de tal manera que el Cámbrico se inicia con una transgresión marina en donde ésta va invadiendo las tierras bajas, extendiéndose esto sin cesar, de tal forma que más del 35 % de las tierras continentales para este periodo se localizan bajo las aguas y como resultado de esto se forman extensos mantos sedimentarios de gran espesor, en donde se llegan a encontrar gran cantidad de fósiles de origen marino. Se dice que fueron tales los sedimentos acumulados que estos dieron origen a la formación de Geosinclinales; la cordillera al Oeste y los Apalaches formados por rocas cristalinas precámbricas, quedando al centro una enorme planicie en donde se depositaron más de 70 metros de sedimentos.

A finales del Cámbrico las aguas comenzaron a avanzar len-

tamente, como lo vimos antes, ocupando gran parte de las tierras emergidas, además de que por la erosión habían disminuído de altura las montañas quedando éstas ahora como simples islas o manchones.

En el Cámbrico las tierras en el Mundo se encontraban distribuídas de la siguiente manera: un gran continente Nor-Atlántico en donde quedaba América del Norte, otro continente formaba a Europa y Asia y existía un tercer continente de forma alargada formando parte de América del Sur, África y Oceanía (Continente del Gondwana).

Vida del Cámbrico. Los climas en general eran menos calientes y en algunas regiones hasta fríos como lo demuestra la inexistencia de rocas calizas, pero en general se acepta que los climas más bien eran templados.

El paisaje exterior era desolado, sin un ser que le alegrara, sólo existían éstos dentro de las aguas de mares y océanos. Se considera que la vida en las aguas era enorme y variada, formada la mayoría por seres invertebrados, los más predominantes eran los BRAQUIÓPODOS, FORAMINIFEROS (globigerinias y fusolinas), ESPONJAS, ALGAS, CISTIDEOS, GASTERÓPODOS; pero sin duda el más importante para nosotros porque por medio de éste nos permitimos reconocer a la era es la TRILOBITA, molusco cefalópodo, nautiloides y gusanos (anélidos) complementan la fauna de este periodo.

Los TRILOBITAS alcanzaron todo su apogeo en el Ordovícico en donde casi representan el 55 % de la fauna, posteriormente viene un decaimiento de éstos, para desaparecer en el Pérmico. Se les llama Trilobita por estar formado por tres lóbulos, cabeza, tórax y abdomen o cola, pertenecen a los crustáceos, siendo estos de cuerpo plano pero tenían la particularidad de que podían enrollarse hasta formar una bola como la cochinilla. El tamaño de este animal fue primero de unos cuantos centímetros, 3 cm, pero se han llegado a encontrar fósiles de más de 50 cm; los había ciegos o con grandes ojos, se alimentaba de carroña o eran carnívoros y se cree que algunos eran omnívoros.

Le seguían a éstos en importancia los braquiópodos que existían en gran número y formas, primero de manera primitiva con caparazón córneo hasta alcanzar una estructura calcárea.

Les siguen a éstos los gusanos, lombrices, esponjas, corales, gasterópodos y, al final de este periodo, posiblemente ya la existencia de caracoles, estrellas de mar (Asteroideos) y erizos

(Equinoideos).

Ordovícico (Antigua tribu de la frontera Galesa). La gran transgresión de finales del Cámbrico se continúa aquí, dejando bajo las aguas a enormes zonas continentales tanto en América como en Europa y Asia, por esto se produjeron capas sedimentarias de conglomerados, areniscas, pizarras silíceas, esquistos y calizas; sin embargo, a finales del periodo la quietud se ve trastornada por la aparición de actividad volcánica depositándose por lo tanto sobre los sedimentos existentes capas de cenizas y lava, algunas de gran espesor. Las capas al ser comprimidas comenzaron a plegarse produciéndose un trastorno geológico conocido con el nombre de Orogenia taconica, produciéndose las montañas de Terranova.

La vida en el Ordovícico sigue confinada dentro de las aguas, los trilobitas tienen su apogeo con un sinnúmero de especies y tamaños, aumenta el contenido de braquiópodos, gasterópodos, cefalópodos, corales y, en este periodo, aunque ya habían aparecido antes, son muy abundantes los GRAPTOLITES que formaban colonias de tal manera que su fósil se correlaciona con este periodo; según clasificación estos graptolites pertenecen a los celenterados.

Sin duda otro animal que viene a enriquecer a la fauna y a la historia misma, es el PEZ que apareció en este periodo y que vivía en agua dulce; con éste se inicia el periodo de los invertebrados ostracodermos.

La fauna sigue siendo de Trilobitas, corales, medusas, estrellas de mar, erizos, moluscos (ostracodermos, gasterópodos), cefalópodos (pulpo, nautilus), caracoles, ostras.

Las plantas está representadas posiblemente por algas calcáreas.

Silúrico. (Siluros antigua tribu de la frontera galesa) En este periodo se producen regresiones y transgresiones pequeñas con intensa sedimentación de material marino calcáreo y lentejones de sal, lo que indica que las aguas eran muy saladas debido a una intensa evaporación de cuencas o mares de poca profundidad; las tierras continentales eran bajas sin grandes elevaciones ni trastornos tectónicos, salvo reducidos volcanes que de vez en cuando hacían explosión rociando con sus cenizas y lava a algunos valles, los sedimentos están formados preferentemente por areniscas, esquistos, calizas. A finales del periodo se producen alzamientos, plegamientos y con esto la orogénesis CALEDONIANA, la formación de

montañas en Escandinavia, Escocia, Sudetes, Ardenes y Andes. Con este episodio tectónico se cierra el Silúrico pero se abre un próximo periodo de grandes movimientos terrestres pues los movimientos caledonianos se prolongan en el Devónico.

Las temperaturas eran templadas en la mayor parte del planeta como lo demuestra la existencia de corales, calizas y dolomitas; pero a finales el clima templado se fué haciendo más seco hasta llegar a ser propiamente desértico y por lo tanto se registran temperaturas muy altas que producían intensa evaporación, de eso son los yacimientos de sal y yeso que se localizan actualmente.

Por la sequedad del ambiente se desarrollan los Euripteridos o Escorpiones de agua, parecidos a los peces con robusta placa ósea, estos animales eran peligrosos. La vida continúa dentro de las aguas, los graptolites son más numerosos, los trilobitas siguen existiendo pero ya no en el mismo número, siguen los corales, braquiópodos, equinodermos, en donde los crinoides y blastoides son más numerosos, esponjas, moluscos, gasteropodos, pteropodos, laminobranquios, cefalópodos, ostracodos y peces. Es muy posible que a finales de este periodo hayan aparecido ya los primeros animales anfíbios, siendo los escorpiones los que inauguraron las tierras.

La existencia de plantas terrestres es de dudarse, aunque tal vez existieron algunas licopodeaceas.

Devónico. (Del Devonshire en Gran Bretaña) En este periodo la mayor parte de las tierras se localizan bajo las aguas, sin embargo, los movimientos caledonianos se siguen sintiendo, en esta era la mayor parte de las tierras sufren regresiones y transgresiones produciéndose intensa sedimentación, encontrándose esquistos, calizas, pizarras, conglomerados y areniscas; de este periodo son las areniscas rojas, suponiéndose que se deben a depósitos de aluviones de grandes sistemas fluviales que se depositaron entre las montañas de las cordilleras caledonianas.

En América, a finales del periodo se comenzaron a presentar movimientos tectónicos que levantaron cadenas montañosas, junto con cierta actividad volcánica, a estos movimientos se les llaman movimientos arcadianos que en realidad son continuación de los caledonianos.

El continente Nor Atlántico y Europa se unen con el continente del Gondwana quedando solo Asia como una enorme isla hacia

el este.

Uno de los periodos con más riqueza fosilífera es sin duda el Devónico, en éste se localizan extensos depósitos de materiales diversos. Los trilobitas y graptolites, que fueron abundantes en periodos anteriores, aquí casi desaparecen para dar lugar a los peces que dejan de ser ostracodermos para constituirse en placodermos, estos ya con mandíbula y dientes; los peces ya están en evolución teniendo la forma de un tiburón, otros tienen escamas y es de suponerse que algunos son peces pulmonados, lo que les permitía vivir tanto en las aguas como fuera de ellas, originando con esto posiblemente los vertebrados terrestres.

Los braquiópodos alcanzan gran desarrollo, siguen existiendo los corales, laminobranquios y gasterópodos.

Es de suponerse que la vegetación todavía reina en las aguas, pero ya en este periodo comienza a invadir las tierras emergidas cercanas a los pantanos. La vegetación está muy diversificada, existiendo plantas herbáceas hasta árboles de más de 20 metros de altura en donde se distingue la raíz y el tronco, las plantas más típicas son las Psilofitas pero es hasta el final del periodo cuando aparecen árboles con hojas vascularizadas o sea helechos primitivos y también las pteridospermas y las gimnospermas (fanerógamas, plantas muy primitivas con flor).

Carbonífero. La transgresión alcanza su máximo apogeo de tal manera que numerosas regiones se encontraron bajo las aguas, enormes cuencas marinas son rellenadas por sedimentos, sobre estratos sedimentarios profundos suelen encontrarse capas de carbón y sobre éstas, capas de pizarras, areniscas o arcillas y luego otra vez capas de carbón.

Parece ser que la capa de carbón se debe a la existencia de material vegetal, bosques, luego alguna transgresión cubrió estos horizontes boscosos para que sobre ellos se depositasen materiales sedimentarios, posteriormente movimientos de regresión hacen que aquél lugar quede al descubierto y sobre él se pueble de la nueva foresta, pero otra transgresión vuelve a cubrir el lugar sepultando el material vegetal para dar origen al carbón; es de notar que no solamente existía una vegetación sino que en las aguas de mares, lagos, existía una fauna abundante y variada de corales, braquiópodos, algas calcáreas, crinoides, peces, laminobranquios, etc.

Los constantes movimientos terrestres hicieron que las

aguas inundaran frecuentemente a las tierras para cubrir la vegetación y presentarse condiciones propicias para la formación de carbón.

A finales del Carbonífero, que en América suele llamarse Pensilvánico al carbonífero superior y Misisípico al carbonífero inferior, la vegetación que se extendía sobre las tierras emergidas del periodo Pensilvánico era verdaderamente inmensa, de tal forma que estudios paleontológicos consideran que no ha habido periodo alguno en la vida de la Tierra en que se haya encontrado tanta vegetación como en este periodo, esta vegetación fue de todo tamaño, formando verdaderas selvas cerradas de Criptógamas y Gimnospermas. Los grandes bosques tenían árboles de más de 20 metros de altura (Pterodofitas, Lepidodendros, Helechos arborescentes, Esquistos), que al existir en zonas pantanosas, sus troncos y ramas dieron origen al carbón.

Al igual que la flora, la fauna era abundante, existiendo ésta tanto en las aguas como sobre las tierras (Anfibias), aparecen los primeros insectos, parecidos a las actuales cucarachas e insectos alados gigantes que se parecen a las actuales libélulas, alcanzando éstas más de 0.50 m de largo, arañas, escorpiones, termitas, langostas, saltamontes y grillos completaban la fauna de insectos.

Los anfibios eran también numerosos, siendo del tamaño de un renacuajo fueron alcanzando gran tamaño, de tal forma que en éste llegan a ser de más de un metro y posiblemente éstos dieron origen a los reptiles que a finales ya aparecen.

El clima es en general tropical con influencia oceánica, las lluvias son intensas y por lo tanto existe una humedad igualmente muy alta y se podría decir que este clima estaría de polo a polo; actualmente se han encontrado yacimientos de carbón en todas las latitudes, y no sólo carbón, sino que también petróleo y gas.

Los continentes ya no tenían la misma forma, el continente Nor Atlántico ya se encontraba subdividido en dos masas, la del Nor Atlántico y América del Norte, Asia seguía como una masa hacia el Este y al Sur ese enorme continente alargado que era el Gondwana.

Pérmico. (Ciudad Rusa de Perm). El nombre de Pérmico, se debe a los estudios sobre rocas sedimentarias que contienen fósiles de origen marino y continental pero más de carácter marino en

la provincia de Perm cerca de los montes Urales en Rusia.

Los estratos sedimentarios que se fueron acumulando en el Carbonífero (Misisipico y Pensilvánico), fueron de gran consideración, relleno de los grandes geosinclinales, esto sin duda originó que como consecuencia del peso de estos se fueran produciendo movimientos de ascenso continental, primero los levantamientos fueron de poca importancia pero conforme avanzaban, los movimientos fueron aumentando de violencia de tal forma que se produjeron plegamientos y fallas y con ello formación de cadenas montañosas, esto se presentó a finales del Cámbrico con la orogenia que se llamó Revolución Herciniana nombre que viene de las montañas de Harz pero que también se les conoce como Variscano en Sajonia, Apalachiano en Estados Unidos y Armoricano en Inglaterra.

Las cadenas montañosas así formadas se extendieron en Irlanda, Gran Bretaña, Francia, Alemania y Estados Unidos.

El Pérmico en México está representado por arenas, calizas, margas, pizarras y material de origen volcánico, localizándose en el Sur de Coahuila y Oeste de Tamaulipas.

Si bien el clima en el periodo anterior era tropical, en este periodo ya las condiciones climáticas no son iguales, se presenta en este un clima más seco y frío, se supone que ante la existencia de montañas éstas en muchas partes actúan como cortinas rompe vientos, además de que las aguas ya no cubren con tanta extensión a las tierras, debido a la regresión presentada ante la formación del episodio Herciniano, sin embargo, es de notar que había cierta diferenciación climática, pues si bien en el sur las temperaturas eran bajas (frías) en el norte eran cálidas con existencia de zonas secas desérticas como lo demuestran los yacimientos de sal en Estados Unidos y Rusia.

Estudios paleoclimáticos han considerado que en el Hemisferio Sur en las tierras del Gondwana se presentó una glaciación que cubrió de hielo a toda esa región, o sea a la actual Sur América, Sur Africa, Australia e islas vecinas y a la India. Sin embargo, algunos consideran que no fué tanto, sino que antiguamente estas tierras estuvieron unidas con la Antártida alrededor del Polo Sur.

Es pues en el Pérmico, el último de los periodos del paleozoico, que si bien era más frío y seco también se formaron yacimientos de carbón aunque no de tanta importancia como en el Pen-

silvánico lo que demuestra la diferenciación climática.

La vida se ha enriquecido, los Anfibios que estaban confinados a las zonas pantanosas, se transforman en verdaderos reptiles, los cuales existen en diversas variedades, unos pesados, otros ligeros como lagartijas y algunos, los más carnívoros con sangre fría, el ERYPS y el DIMETREDON fueron los reptiles más clásicos, el primero llegó a tener el tamaño de 2 metros, parecido a un caimán y el segundo se caracterizaba por una aleta dorsal.

La mayoría de los insectos actuales son parecidos a los existentes en ese periodo o al menos ya hicieron su aparición.

Definitivamente han desaparecido los trilobitas, pero subsisten además de que se enriquecen en formas y tamaños los corales, briozoos, gasterópodos, cefalópodos; de estos últimos comienzan a desarrollarse los Ammonitas diferentes a los caracoles que también existen por su concha tabicada en cámaras y cuya parte carnosa del animal ocupa la última cámara. Aunque la ammonita pertenecía a los nautiloides, se diferenciaba de éstos porque los nautiloides tenían tabiques sencillos separando a las cámaras.

Ante el cambio climático de la tierra que como ya vimos era más frío y seco, naturalmente la vegetación tuvo que adaptarse a estas nuevas condiciones, primero con tronco de corteza escamosa adaptada a regiones húmedas pero aquí ya aparecen las primeras coníferas y helechos de la familia de las Glossopteris y Calamites, sin embargo, no desaparecieron los Lepidodendros ni las Sigillaria que van aumentando a principio del Mesozoico junto con las Cicadoidneas.

La era Mesozoica que también suele llamársele era Secundaria, es una etapa de relativa tranquilidad a lo largo de 140 millones de años en donde rara vez podían verse volcanes en erupción o movimientos orogénicos formadores de montañas, es por eso que esta era es la más tranquila de todas. Si bien en la era anterior se formaron violentamente montañas, esta fué una etapa conformadora horizontal de las tierras por una intensa erosión y formación de estratos sedimentarios, de tal manera que muchas montañas ya formadas desaparecen quedando como simples mesetas.

La vida sigue aquí lentamente, si bien al principio aparecen ya reptiles, éstos todavía no son predominantes, lo son los moluscos; laminobranquios, gasterópodos y cefalópodos, además bran-

quiópodos y briozoos, pero es en la mitad de la era cuando si lo son alcanzando como nunca su más grande esplendor, luego aparecen las aves y por último los mamíferos.

Los trilobitas ya no existen, ahora la importancia es para los erizos de mar y las estrellas (equinoideos y asteroideos), los corales tetracorales son sustituidos por hexacorales y de briozoos, la amonita alcanza enorme importancia, especies y tamaño, es por eso que se le llama a esta era la edad de las ammonitas, para la fauna marina; como edad de los reptiles, para la fauna terrestre.

Los anfibios desaparecen, solo quedan ranas y sapos, debido a que muchos reptiles son resultado de éstos, muchos de ellos llegaron a tener tamaños de más de 20 metros y 45 toneladas de peso.

La vegetación que estaba formada por criptógamas va perdiendo importancia así como la desaparición de Lycopodiales. Los licopodendros, sigillarias y helechos son sustituidos por árboles de menor tamaño predominando ahora las Gimnospermas, Cicadales, Gingkoales y Coníferas, o sea que los helechos dieron origen a las plantas fanerogamas gimnospermas, posteriormente aparecen las angiospermas que representan con la Di y Monocotiledoneas a la flora dominante y diríamos que a finales del mesozoico muchas plantas que aparecen en esta era, perduran hoy en día como son: los álamos, robles, olmos, laureles, higueras, sauces, etc.

La era se divide en tres periodos: Triásico, Jurásico y Cretácico, el primero recibe este nombre porque en Europa consta de tres pisos diferentes, el segundo por haberse estudiado en las montañas de Francia los JURAS que contienen abundante carbonato de calcio (calizas) de origen coralífero y el tercero se debe a la CRETA o sea carbonato de calcio que forma el piso superior.

Triásico. Como indicamos anteriormente, en esta era los movimientos tectónicos no son de consideración, de tal manera que no existen grandes levantamientos, salvo un movimiento general ascendente por lo que trae el predominio de tierras continentales, algunas cubiertas por arenas eólicas, lechos rojos o corrientes de lava y en algunas zonas de Europa y Rusia depósitos de sal y yeso que se presume se deban a la desecación de lagos o mares debido al clima seco e intensa evaporación, algunos yacimientos de sal gema tienen colores diversos; azul, violeta o verde.

En otros casos se han encontrado estratos de carbón (lignito y hasta petróleo).

Las tierras aumentan en extensión, en general uniéndose el continente Nor-Atlántico con el de América del Norte, crece Asia de tamaño e igualmente el continente del Gondwana, entre el continente del Gondwana y el Nor-Atlántico existía un enorme mar (mar de Tethis) que les separaba, en este mar fué en donde se efectuó el desarrollo faunístico y vegetal por las mejores condiciones que tenía ese mar cálido.

Estudios sobre el Triásico, hacen saber que este período termina con una amplia transgresión de algunos océanos existentes en donde se depositaron margas, esquistos, calizas y depósitos de osamentas.

El clima predominante en el Triásico fué sin duda el seco pero bien pudieron existir zonas templadas y hasta tropicales en donde vivían la mayor parte de los reptiles, ya que estos no pudieron vivir en zonas frías. La mayor parte de la fauna del Pérmico subsiste en el Triásico aunque no todos los tipos, existen pocos anfibios, gran cantidad de foraminíferos, radiolarios y equinodermos, los braquiópodos y los moluscos aumentan en género y tamaño, los ammonitas son más numerosos así como también los placodermos, laminobránquios y crustáceos, aparecen ranas y salamandras, pero indudablemente los reptiles van aumentando y apoderándose del medio. La existencia de invertebrados, moluscos, corales y crinoides siguen existiendo en las aguas pero como dijimos antes el predominante fué el Ammonite que junto con Belemnites constituyen los fósiles gúfas de la era.

El Belemnite era parecido a un calamar que se impulsaba hacia atrás, existieron en toda la era, pero se extinguieron al llegar al Cretácico.

Los ammonites son los invertebrados más importantes del Mesozoico porque por medio de ellos podemos determinar la era, se les llamó amonites por su apariencia con los cuernos de Ammon, el tamaño de éstos varía desde unos cuantos centímetros hasta los de gran tamaño de más de un metro; fué tal la cantidad de éstos, que existen rocas con millares de fósiles distribuidos en áreas geográficas muy amplias.

Los primeros reptiles, realmente aparecen a finales del período Triásico, éstos fueron pequeños de menos de 3 metros; posi-

blemente los primeros dinosaurios (terribles lagartos).

La vida de los reptiles se presentaba en tres dimensiones, en el agua los Ichthiosaurios, en la tierra los Dinosaurios y en el aire los Pterodaptilos.

Los ictiosaurios llamados peces lagartos eran reptiles marinos de cuello corto parecidos a los actuales peces (delfines) del tamaño de 5 metros o más posiblemente.

De este mismo período es el Atlantosauro y el Gigantosauro animales más grandes que han existido en la Tierra, de más de 40 metros de longitud y 30 toneladas de peso, junto con éstos existe también el Diplodocus.

El Plesiosauro también existía, era parecido a una gigantesca tortuga con aletas como paletas y cola, además de un cuello largo.

En un principio estos animales vivieron dentro de las aguas y se alimentaban de plantas pero posteriormente se volvieron carnívoros alimentándose de peces principalmente.

Las rocas del Triásico en México son calizas, conglomerados, areniscas, pizarras, margas y esquistos, localizándose estas en la Sierra Madre de Chiapas, en Oaxaca, Puebla y regiones de Zcatecas y sur de Coahuila.

Jurásico. El cambio del Triásico al Jurásico quedó señalado por un avance del mar (Transgresión) desde el mar Rheatico que avanzó desde el Tethis sobre todas las tierras del continente Nor Atlántico produciéndose en Europa margas, pizarras y calizas de poco espesor pero ampliamente establecidas en forma de estratos sedimentarios que se iban haciendo más arenosas, estas calizas están constituidas por pequeñas partículas de cal del tamaño de la cabeza de un alfiler o de hueva de pez conocidas como (oolitos) del griego con huevo, como se les conoce y que rodean a los granos de arena. En Europa dividen al Jurásico en dos: el Lías que son arcillas marinas y el Oolítico en que son arcillas y calizas oolíticas.

Las rocas del Jurásico en México consisten en pizarras, areniscas y conglomerados, localizándose éstas en Hidalgo, Puebla, en la Mixteca Alta de Oaxaca y parte de Guerrero.

Las rocas del Jurásico superior se encuentran ampliamen-

te localizadas en Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León, Puebla, Querétaro, Zacatecas y San Luis Potosí. Estas rocas contienen numerosos fósiles en calizas, areniscas y pizarras margosas.

El periodo Jurásico termina con una regresión unida con algunos levantamientos por plegamiento.

El clima seco sigue predominando, sin embargo, este es más húmedo que el anterior y por lo tanto tiene sedimentación.

Se presentó una reducción de las temperaturas por lo que también los climas son fríos, pero no tanto como para producir glaciaciones, más bien fueron templados con períodos fríos, de este período se han encontrado troncos de árboles con sus anillos bien diferenciados lo que indica la existencia de estaciones del año.

Los ammonites siguen existiendo en gran número alcanzando aquí su máximo desarrollo, existen abundantes braquiópodos y es de considerar que es el período geológico en donde más abundan.

Los insectos son variados y muy numerosos, siguen existiendo cucarachas, libélulas, gusanos, escorpiones, grillos y pilla.

Los reptiles son los animales característicos y predominantes, los ya existentes siguen evolucionando, pero en este período aparecen otros como el Brontosaurus y el Diplodocus con más de 20 metros de longitud, además existen los Notosaurios, Mesosaurios Arcosaurios, Filosaurios este último se parece al cocodrilo, existe el Iguanodonte que se alimentaba de peces y vegetales. Sin duda a finales del Triásico, aparece el animal más carnívoro de todos, el Allosaurus que más tarde daría origen al Tiranosaurus rex animal de una altura de más de 20 metros que se levantaba sobre sus miembros posteriores, era un animal de presa con enormes mandíbulas armada con filosos dientes.

Aparece en este período también el Estegosaurus de más de 7 metros de largo, caracterizándose por sus placas dérmicas dorsales y un peso de 15 toneladas y el Edmontosaurus que es un dinosaurio con pico de pato.

Los Pterosaurios son los reptiles voladores que se encontraban en zonas costeras o lejos de ellas, anidaban en zonas rocosas costeras, se dedicaban a la caza de peces, contaban con una boca llena de dientes, cola larga y un cuerpo desnudo o con poca ve-

llocidad parecido al murciélago. En un principio esta ave era parecida a un simple pájaro, pero alcanzó a tener un tamaño de más de 120 cm.

A finales del periodo es cuando aparecen el Archeopterix, siendo este ya una verdadera ave en donde los dientes no han desaparecido, cuenta con pico y plumas, tiene cola, alas y una mano con tres dedos libres armados con uñas.

En este mismo periodo existen unas aves parecidas a los avestruces de más de un metro de altura con dientes en el pico y patas palmípedas (Hisperonis) y otras buenas para volar como las gaviotas también con pico y armadas de dientes (Ichthyornis).

Posiblemente en el Jurásico se hayan originado los mamíferos cuya característica es que se alimentaban de leche materna y tiene sangre caliente, además de una capa protectora de vellos. No se sabe de donde se derivaron, pero se cree que provengan de algún reptil, éstos fueron realmente muy raros en el Jurásico del tamaño de un conejo y dientes insectívoros, de tal forma que posiblemente los primeros mamíferos ponían huevos. Los más antiguos mamíferos fueron: Triconodontes, Multituberculados y Simetrodotes de los cuales no quedaron descendientes.

Los corales siguen existiendo, formando en aguas cálidas enormes arrecifes, los belemnites son los cefalópodos más característicos, las ostras adquieren enorme desarrollo y forman con los Hippurites y Radiolites, los gasterópodos, caracoles, conchas, etc., adquieren como el Nerinea una forma enrollada en espiral, abundan los crustáceos, cefalópodos, (calamares, pulpos, nautiloides, amonoides), equinodermos (equinoideos, asteroideos), esponjas, arácnidos, etc.

Los ammonitas siguen predominando pero ya se observa una disminución de ellas, son organismos flotantes y nectónicos por lo que se extienden ampliamente, algunos son ya de forma discoidal plana que se alargan con caparazón grueso para arrastrarse en los fondos en busca de alimento.

La vegetación está formada por helechos, Lycopodeaceas y Coníferas, pero sin duda las gimnospermas fueron las más numerosas, formadas por un tronco no ramificado terminado con un penacho de hojas grandes como la palmera, se completaba la vegetación con cedros, araucarias, secuoyas y ginkgoales.

Los cambios geológicos que se experimentaron fueron intensos, Europa queda reducida a una serie de islas, Asia se agranda hacia el sureste, África comienza a tener forma así como América y la India por el alargamiento de las tierras del Gondwana, se produce un mar Etiópico, el Indico y se unen las aguas del mar Tethis con el Pacífico. La actividad volcánica origina riolitas y porfirinitas.

Cretácico. Una gran transgresión hace que las tierras existentes se vuelvan a cubrir de agua de mar, a esta transgresión se le llama Cenomaniana, que sin duda ha sido una de las invasiones más grande de agua en la historia de la Tierra; como resultado de esto se depositaron en los fondos marinos enormes cantidades de carbonato de calcio (Creta) que dió nombre al periodo Cretácico debido a que se estudiaron por primera vez en los acantilados, en el estrecho de Dover Inglaterra. La Creta consiste en un fino material (polvo blanco) de cal que se formó por pequeñísimas partículas de conchas Globigerineas y Foraminíferos, mezclados con algas calcáreas, que debieron acumularse en aguas someras rodeadas por regiones secas; alguna creta llega a contener granos de arena, lo que hace pensar que las arenas de desiertos vecinos eran llevadas por el viento hasta las aguas, además en la creta existen erizos, lomelibranchios y braquiópodos y pedernales que son concreciones nodulares de sílice, procedente de la disolución de la sílice de esponjas u otros organismos.

En este periodo la influencia tectónica fué más intensa en el oeste que en el este, la enorme cantidad de sedimentos originó que desde el Jurásico se establecieran presiones que dieron origen a la formación violenta del Nevadiano o sea de los movimientos que formaron a la sierra Nevada. Durante el periodo cretácico se forma un gran mar desde Alaska hasta México formando un gran geosinclinal en donde se formaron grandes acumulaciones sedimentarias que se vieron sujetas a plegamientos y fallamientos, o sea que los sedimentos se arquearon, se plegaron acompañados por actividad volcánica y con esto se produjo la Revolución Geológica Laramida dando origen a esa gran cordillera occidental de los Estados Unidos que son Las Rocallosas.

Del Cretácico medio es la gran mayoría de las sierras de México, las rocas de este periodo se localizan ampliamente extendidas por el país, algunas rocas del cretácico inferior se hallan sobre rocas del precámbrico y otras sobre el Jurásico. Estas rocas del Cretácico medio están formadas por calizas compactas, calizas magnésicas, formando a la Sierra Madre Oriental, algunas sierritas

de la Sierra Madre Occidental, pero en general este tipo de rocas se encuentran ampliamente distribuidas en el país.

Los climas en el cretácico bien pudieron ser templados y en ocasiones fríos, de tal manera que las glaciaciones se presentaron en zonas cercanas a los polos como Australia, pero aún así existían zonas cálidas tropicales en Europa y México, se cree que a finales del periodo el clima se fue haciendo más moderado.

En este periodo aparecen realmente las Angiospermas, fanerógamas con óvulos encerradas y protegidas por hojas y luego con semillas encerradas en los frutos, mucha de la vegetación de este periodo es ya como ahora, como los sauces, álamos, hayas, robles, olmos, laureles, higueras sequoias, siguen existiendo además las cicadeoideas, plátanos, palmeras, magnolias, eucaliptos y aguacates.

Sin duda la aparición de las angiospermas constituyó el aspecto más importante en el nivel evolutivo de la vegetación dado que éstas más tarde llegaron a dominar sobre la tierra y van a servir de alimento a la fauna.

La vida vegetal se desarrollaba cerca de los mares cálidos y someros, junto con los animales, tanto en la vegetación como los animales eran verdaderamente abundantes, los invertebrados llenaban las aguas, sin embargo, estos fueron evolucionando rápidamente hacia la formación de conchas de caracol, los moluscos predominaron, los foraminíferos fueron abundantes, así como los gastrópodos y cefalópodos, principalmente la ammonita con gran variedad y tamaño, existían también erizos y estrellas de mar.

Los reptiles seguían dominando tanto en el agua como en el aire y en las tierras, existe en este periodo el Anatosauro y Ankylosauro que son formas cuadrúpedas herbívoras, Ceratopios que son dinosaurios cornados parecidos al rinoceronte, el Triceratops, que era el más grande de este grupo, era muy pesado, cuadrúpedo y herbívoro, el Stegosauro, se ha extinguido sólo quedó como descendiente el Ankylosauro, siguen existiendo los ictiosauros, los plesiosauros y los Mososauros, gigantescos animales nadadores junto con el Archelon, que es una gigantesca tortuga de más de 3 metros.

En el aire siguen existiendo el Pteranodon que fué el más grande de los reptiles de más de 5 metros de largo de ala a ala, se alimentaba de peces y tenía la facilidad de asirse con sus garras al igual que los murciélagos en las ramas.

Un fenómeno importante que debemos mencionar es la desaparición de los grandes reptiles, no se sabe a ciencia cierta cual fué el factor o factores que hicieron que estos animales desaparecieran de la vida terrestre; existen muchas teorías que opinan de diversa manera de la extinción, algunos suponen que como consecuencia de los movimientos tectónicos, principalmente de la Laramidiana, se fueron originando grandes levantamientos en todo el planeta y como consecuencia de esto grandes regresiones marinas; los animales que estaban adaptados a vivir en las aguas o zonas pantanosas, al disminuir la humedad, éstos tuvieron que emigrar y en su caminar tuvieron que adaptarse a condiciones de mayor sequedad y por lo tanto a la falta de alimentación, así que las generaciones que vinieron posteriormente tuvieron que adaptarse a este fenómeno climático y a la falta de alimentación con animales de menor tamaño, pero no sólo influyó la falta de alimentación sino que los climas se hicieron más fríos y secos, así que los animales no sólo emigraron, sino que posiblemente muchos perecieron entre los hielos y nieves, sin embargo, creemos que más que esto el aspecto de los cambios climáticos fueron los que influyeron sobre el cambio de los animales, más adaptados, como son los actuales: lagartijas, iguanas, caimanes, cachorones y serpientes.

Otro aspecto que se cree pueda haber sido causante de la extinción, es alguna enfermedad epidémica que hubiera atacado a los animales y producido alta mortalidad, esta teoría no es muy aceptada pero en dado caso puede ser.

Otra teoría es la aparición de los mamíferos con sangre caliente que comienzan a poblar a las tierras y junto con ellos una vegetación de frutos y flores que no servían de alimento a los grandes animales, de tal forma, que ante el hambre comenzaron a constituirse en carnívoros y a comerse unos a otros hasta que se extinguieron.

Otra teoría es que los animales alcanzaron su vejez racial y habiendo terminado su tiempo comenzó su extinción.

Para este autor más que cambios geográficos, levantamientos de montañas, regresiones, cambios climáticos, supone que la causa de todo esto, se inicia desde el principio de la vida en la que los animales vivían en las aguas, posteriormente, inician su vida en las tierras, aquí alcanzan un gran desarrollo, comienzan a aparecer reptiles, pero éstos indudablemente adaptados a nuevos medios, pero creo, que lo que pasó es que cuando las plantas y animales iniciaron su poblamiento en las tierras, la radiación solar era inten-

sa, además de que el Sol seguramente tenía otra temperatura y por lo tanto otro tipo de radiación. Al salir los animales y plantas, fueron seriamente afectados, pero su transformación fué lenta, no violenta como podría pensarse, hasta alcanzar tamaños gigantescos tanto en fauna como en flora, al ir cambiando el Sol en su aspecto evolutivo de una estrella a otro tipo de estrella, la influencia de ésta sobre la vida de la Tierra se fué reduciendo y con ello también fué cambiando la fauna y flora, adaptándose ésta a una menor radiación y claro, muchos animales cambiaron adaptándose a nuevas condiciones climáticas, pues éstas estaban afectadas por el Sol y así aparecen los mamíferos y plantas con fruto y claro que los animales o grandes reptiles no es que hallan perecido, sino que los hijos de éstos fueron evolucionando hasta llegar a los mamíferos. Si en nuestros días el Sol pasase de un tipo de estrella a otra, seguramente cambiarían las condiciones de radiación solar modificando seriamente las características bióticas del planeta y veríamos al cabo de millones de años otros tipos de seres muy diferentes a los actuales, indudablemente adaptados a nuevas condiciones de radiación y si volteamos la cara y vemos como eran hace 2 millones de años, también observaríamos que nosotros mismos hemos cambiado y nos preguntaríamos cómo seríamos dentro de algunos 3 millones de años, la respuesta es difícil, pero de seguro no iguales.

CENOZOICO

Sin duda una de las eras geológicas con más intensos movimientos tectónicos fué el Cenozoico, igualado solo por la primera era, la Azoica donde los movimientos fueron verdaderamente intensos y gran parte del relieve actual se formó en ésta. A la Cenozoica le corresponden los últimos 60 millones de años, dividiéndose como lo vimos antes en Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno, en muchos casos suele dividirse primero en Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno. A su vez en Cenozoico Inferior y Cenozoico Superior, de tal forma que en el Cenozoico Inferior se incluye el Paleoceno, Eoceno y Oligoceno (Paleogeno) y en el Cenozoico Superior al Mioceno y al Plioceno (Neogeno)

Eoceno y Oligoceno (Paleogeno). Las características del Cretácico se continúan en estos períodos, existen enormes áreas cubiertas de agua debido a una gran transgresión, pero a finales de ésta, debido a los movimientos de tectonismo que se han dejado sentir y a la formación de montañas las aguas han ido y regresado constantemente, sin embargo ya están en periodo propio de regresión y las tierras comienzan a predominar. Como las tierras estuvieron bajo las aguas existen sobre terrenos cretácicos grandes depósitos de calizas Numulíticas y depósitos marinos de poca profundidad como arcillas, areniscas y margas.

En estos periodos Asia se encontraba como un gran continente al este, separado de Africa por un corredor marino, el continente Nor-Atlántico estaba unido con Norteamérica por un ligero brazo y ya existía el Océano Atlántico que separaba América de Africa. Uno de los episodios tectónicos más importantes fue el Pirenaico que formó a los Pirineos en España.

Se presenta cierta actividad volcánica aunque no muy intensa; pero es sin duda de gran importancia por los enormes volúmenes de lava que salieron.

A finales del Oligoceno, una pequeña transgresión cubre de nuevo algunas tierras formando grandes lagos y mares siguiéndose

en este periodo los movimientos formadores de los Pirineos.

En el Cenozoico Inferior se observó una declinación de la temperatura de tal forma, que seguramente se producen las zonas térmicas, tropicales en el centro o parte media de la Tierra, templadas y secas en las zonas intermedias y frías en los polos, de tal manera que tanto los animales como la floresta ha tenido que adaptarse.

Los amonitas muy abundantes en la era anterior casi han desaparecido junto con los belemnites, los cefalópodos y branquiópodos que también predominaron anteriormente han ido disminuyendo también dando su lugar a los Laminibranquios (ostras, mejillones, etc.) igualmente son numerosos los gasterópodos (caracoles, conchas).

En realidad la era Cenozoica se caracteriza por su gran riqueza en Foraminíferos como los Nummulites que sólo duraron en esta parte media y desaparecieron, éstos estaban formados por una concha en forma de espiral con una serie de cavidades que se comunicaban entre sí, eran tan pequeños como un botón y se localizaban en aguas templadas. También existieron los mamíferos que fueron los animales más adaptables a los constantes cambios de temperatura, se supone que los primeros fueron muy pequeños como la zaragüaya y posteriormente alcanzaron un gran tamaño como el hipopótamo (Diprotón). Así que los marsupiales mamíferos fueron estableciéndose y actualmente los encontramos en Australia y Sur América como una forma completa de adaptación.

Los insectívoros estuvieron representados por la Musaraña y el Erizo, estos animales eran pequeños y caminaban sobre las plantas de sus patas.

El mamífero más característico del Eoceno fue el Phenacodus, era un primitivo ungulado (con dedos envueltos en extremidad por pezuña) que vivió en Europa y Norteamérica.

Es también del Eoceno el Coryphodon, animal de patas gruesas y cuerpo robusto, su pata tenía cinco dedos con uñas, los dientes como colmillos y los molares pequeños, tenía el tamaño de un rinoceronte pequeño que fué aumentando hasta alcanzar el de un grande, Uintatherium a finales del Eoceno fué el animal más grande que existió tenía cuatro cuernos, un par nasal y un par frontal, de este mismo tipo es el Arsinoitherium del Oligoceno que era un ungulado como el rinoceronte con cinco dedos y enormes cuernos nasales.

De este mismo periodo es el Clyptodon que fué un armadi-

llo gigante con caparazón en forma de tortuga y el Megatherium de más de 5 metros de longitud.

Se inicia también en este periodo el Eohippus (Hyracotherium) o sea el ancestro más antiguo del actual caballo, se cree que fué nativo de Norteamérica y tenía el tamaño de un perro. Fue creciendo hasta tener el tamaño de un borrego (Mesohippus) con pezuñas de tres dedos, posteriormente aumenta de tamaño nuevamente hasta ser como un pony; le sigue a este el Pliohippus que fué el primer caballo de un sólo dedo.

Se cree que algunos de estos animales pasaron a Asia por el estrecho de Bering.

El Pateotherium fué el primer tapir debido a la trompa corta y su tamaño, sin embargo, por su dentición se parecía más al rinoceronte, tenía tres dedos, de los cuales el central era más grande. Algunos creen que éste era más bien un caballo primitivo que un tapir, por tal motivo consideran al tapir como un Protapirus en el Oligoceno, Miotapirus en el Mioceno y Tapirus en el Plioceno, quedando como el actual. Es un animal que evolucionó pues su trompa actualmente es más pequeña siendo uno de los ungulados más antiguos que viven en zonas tropicales.

Los rinocerontes también fueron originarios de América, en un principio no tenían esa forma y carecían de cuerno sobre la nariz, tenía cuatro dedos (Acerotherium), posteriormente le sale el cuerno y tres dedos alcanzando su forma actual en el Plioceno, en este periodo aparecen rinocerontes con abundante pelo adaptados a los intensos fríos. Son parientes de la misma especie los Tintanoterias parecidos a los rinocerontes, del cuál el Brontotherium fué el más grande alcanzando más de 2.50 m.

Los carnívoros también se desarrollaron en el Eoceno con el Pterodon que tiene la forma parecida a un perro feroz y a un gato de patas con garras; descendiente de estos es el Dientes de Sable (Smilodon), que tenía el tamaño de un león con una mandíbula fuerte y colmillos como dagas, también existieron en este periodo el Canis Dirus que era un lobo y el Felis Leo que era un león que vivió en Europa. Los carnívoros son animales cazadores ágiles, sus miembros les permiten movimientos veloces y potentes tanto para correr como para saltar, las uñas son en forma de garra y en los felinos es retráctil, la dentadura es robusta y cortante. En el Oligoceno aparecen los Cinodutis que son antecesores de los perros actuales.

Los elefantes vivieron en Europa, Asia y América desde el Eoceno, siendo la especie más antigua el Moeritherium. Se cree que en un principio eran pequeños sin trompa ni colmillos y vivían cerca de lagos o zonas pantanosas, tenían la cabeza como un tapir; le siguió a este el Paleomastodon ya con una trompa no muy grande y cuatro incisivos centrales. Posteriormente en el Mioceno aparecen los Mastodontes con cuatro colmillos y trompa muy larga, pero cuando aparecen realmente los elefantes es en el Plioceno, siendo el Dinotherium el más grande con más de 5 m de altura, se caracterizaba por tener dos colmillos hacia abajo, no tenía colmillos en la parte alta, la trompa era pequeña y vivía en zonas pantanosas.

En el plioceno aparece el Elephas meridionalis con colmillos doblados hacia arriba y posteriormente, en el Pleistoceno, aparece el Mamut (Elephas primigenius) caracterizándose por sus colmillos encorvados hacia arriba y su piel cubierta de pelos. Estos tenían ya molares altamente especializados, vivieron en zonas frías de Asia y Norteamérica, pero existieron otros que vivieron en zonas cálidas.

Los insectos son ya numerosos: abejas, mariposas, moscas y cucarachas pueblan el mundo, las salamandras y galápagos viven en las orillas de los pantanos junto con caimanes, cocodrilos y lagartos.

Existen muchas aves: loros, grullas, perdices, pingüinos o sea que la fauna es casi igual que la actual.

La vegetación comienza a ser predominantemente de coníferas en las zonas del extremo norte y sur o sea en regiones frías y altas.

Mioceno y Plioceno (Neogeno). Si bien al comenzar el Mioceno existían en Europa grandes áreas cubiertas por lagos ya estaba formado el Océano Atlántico, el Pacífico y el Indico y gran parte de los continentes que figuran en los mapas. Los sedimentos que se habían establecido desde la última revolución (Laramida) del Cretácico están ahora ejerciendo tal presión que en el Mioceno producen movimientos orogénicos y epirogénicos formadores de montañas en América, en donde se producen: la revolución CASCADIANA que forma la Sierra Cascada a fines del Plioceno y Pleistoceno, en la parte del mar Mediterráneo, los estratos depositados ejercen presión en Asia y América, se producen en este periodo las montañas más grandes que conocemos. En Europa se produce el episodio geológico llamado Revolución Alpina que produce la cordillera Bética en el sur

de España, montes Atlas en el norte de Africa, las demás sierras del sur de Europa: Alpes, Pirineos, Balcanes, Cárpatos, Cáucaso, montes Tauro, Dináricos, Himalaya; forma las montañas de Indochina, India, Malasia, Java, Sumatra, Nueva Guinea, Nueva Zelanda y Japón.

Se forman las Antillas, surge el istmo de Panamá; en México se produce la Sierra Madre Occidental, el Eje Volcánico, la Península de Yucatán; la cordillera centroamericana y los Andes Sur Americanos.

En realidad los movimientos que se presentaron en la fase Nevadiana se continuaron en la Larámida y Alpina y se podría decir que todavía no se terminan; durante estas tres fases se produjeron la mayoría de las montañas del mundo.

Desde el Paleozoico, en ninguna era había existido la actividad que se presentó en el Cenozoico; la actividad volcánica fue verdaderamente impresionante ya que no hubo lugar en la Tierra que no fuese afectado por este volcanismo. Los volcanes se extendieron por todo el mundo y en México se presentó en la parte media a lo largo de la actual Sierra Volcánica Transversal en donde es posible observar más de 50 volcanes; la mayoría ya extinguidos, pero todavía queda el Volcán del Fuego en estado intermitente de erupción. Existen muchas islas en el mundo que se produjeron por la existencia de volcanes que nacieron en esta Era y con frecuencia hoy en día esos volcanes pleistocénicos hacen erupción lanzando enormes cantidades de basalto, traquita, andesitas y riolitas.

Es pues en el Cenozoico superior cuando se produce Australia al separarse de Africa, la isla de Madagascar, India, América, el Mar Mediterráneo, el mar Rojo, las Coast Ranges y muchas más.

Los sedimentos costeros fueron levantados en el Plioceno por fuerzas epirogénicas, de tal manera que actualmente podemos observar extensas costas calcáreas desde la Florida hasta Venezuela que se extienden hasta la Patagonia. En México la península de Yucatán es una enorme llanura que se levanta del nivel del mar y que se extiende debajo de las aguas del Golfo de México a poca profundidad, está formada por calizas del Pleistoceno. En su parte media se levanta una pequeña sierrita o loma de menos de 100 m. de altura sobre el nivel general de la llanura formada por calizas cretácicas plegadas.

Es de suponerse que la península sufrió movimientos de

ascenso y descenso en el Plioceno y Pleistoceno a los cuales debe su origen.

Al principio los climas eran en general templados pero existían zonas tropicales en las regiones ecuatoriales; se supone que los polos tuvieron un clima cálido como lo demuestra la existencia de conchas, pero a medida que se producían las montañas y se originaban regresiones, los climas comenzaron a modificarse hacia secos y fríos y el levantamiento final determinó la existencia de las zonas térmicas: Tórrida, Templada y Fría hasta llegar a las glaciaciones.

La vegetación está formada por coníferas pero son más abundantes las Fanerógamas Angiospermas que tienen flores, fruto y semillas; existían abetos, abedules, robles, álamos, sauces, cerezos, ciruelos, almendros, helechos, juncos, las palmeras sólo existían en zonas cálidas.

Siguen existiendo gasterópodos, cefalópodos, caracoles, los peces son más completos existiendo bacalo, anguilas, tiburones, carpas, atún, salmón, cocodrilos y caimanes.

Aparece ya el rinoceronte, los cerdos, los roedores, aves, gallináceas, gorriones, avestruces; evoluciona el mastodonte y el mamut imperial que alcanzó a tener más de cuatro metros de altura y por fin tomó su forma, a fines del Plioceno. Los búfalos, camellos y animales carnívoros son abundantes y existen muchas especies de: zorros, pumas, linceos, leones, lobos, coyotes, nutrias, osos, perezosos, desapareció el diente de sable y el lobo (*Canis Dirus*), y, en general existe la misma fauna actualmente.

Definitivamente los grandes reptiles han desaparecido, sólo quedan ahora iguanas, serpientes, camaleones, tortugas y caimanes.

Los pájaros son muy abundantes pero carecen de dientes y de garras, su piel está cubierta de plumas, los hay de muchos tipos desde pequeños como el chupamirto hasta los avestruces que ponían huevos de más de 30 cms y que vivieron en la isla de Madagascar; pero la más grande, sin duda, fué la que habitó en Nueva Zelandia (*Dinornis Maximus*) con más de tres metros.

En el Cenozoico cuando aparecen los rumiantes, ciervos y antílopes, éstos carecían de cuernos, pero después les aparecieron muy pequeños, con el tiempo les crecieron haciéndose complicados y alcanzaron su máximo tamaño con el Cervis Megacero que tenía pa-

tas esbeltas y gran aptitud para correr, como las actuales gacelas.

Es importante mencionar también la existencia de los desdentados como los armadillos, oso hormiguero y perezoso; en realidad el único que no tiene dientes es el oso hormiguero ya que el perezoso y el armadillo tienen dentadura con molares y premolares. El perezoso es un animal arborícola de lento movimiento, se alimenta de hojas; antiguamente existieron algunos que vivieron en el suelo pero que desaparecieron (*Megalonyx* y *Megaterium*) del tamaño de un buey y un elefante respectivamente.

Los primates existieron desde el Eoceno, es una orden rica en formas que van desde la musaraña y algunos Lemúridos hasta el hombre.

Los lemúridos son arborícolas y omnívoros que conservan características primitivas que los relacionan con los insectívoros, o sea de los primeros mamíferos Euterios, son cuadrúpedos, se trepan ya que se aferran a troncos con manos y patas, usan las manos para recoger y sostener lo que predispone el camino hacia el hombre. Los primeros primates se conocen desde el Eoceno, pero es difícil decir cuándo y cómo se apartan del tronco de los Homínoides. Es posible que la existencia de gran cantidad de árboles a principios del Cenozoico haya servido para que, al reproducirse estos seres, se adaptaran a colgarse de ellos, pero al disminuir, los monos tuvieron que caminar sobre el suelo y de ahí apareciera el Hombre. Los Lemur habitan en Madagascar desde fines del Eoceno y ahí se han conservado aislados.

El Tarsioides data desde el Eoceno, con algunas características evolucionadas que los acercan a los antropoides; no se explica cómo desaparecieron de América, salvo que hayan dado origen al grupo Ceboideo o monos americanos que son menos evolucionados que los del Viejo Mundo.

Los antropoides (Homínoides) emparentados entre sí con el hombre son el Orangután (*Pongo pigmaeus*), el Chimpancé (*Pan satyrus*) y el Gorila (*gorila africanus*). Algunos autores consideran estos tres, pero otros agregan al Gibón que es menos alto, decididamente arborícola, pero que puede tener una posición erecta.

Los cetáceos existen aquí adaptados ya a una vida marina, tienen un cuerpo hidrodinámico, cuello corto y se mueven mediante el golpe de la cola, tienen aletas que les sirven para equilibrarse, la piel es desnuda, el olfato es nulo, los ojos tienen un cristali-

no casi esférico pudiendo estar bajo el agua más de una hora, algunos cuentan con dientes como los delfines, orcas, toninas; sólo las ballenas no tienen dientes y se nutren de plancton a través de las barbas, no se sabe de dónde provienen pero se cree que vengan de Creodontes.

Los carnívoros han aparecido desde el Paleoceno y es común dividirlos en Cánidos, Ursidos, Procionidos, Mustélidos, Vivérridos, Hienidos, Félidos, Otandos, Odobénidos y Fécidos.

Los cánidos son los que aparecen primero con dieta carnívora.

Los ursidos provienen de los cánidos en el Mioceno, son omnívoros.

Los procionidos son parecidos a los osos aunque más pequeños, omnívoros o herbívoros (panda).

Los mustélidos son pequeños carnívoros (martas, armiño, comadrejas, zorrillos, hurones, lobos y nutrias) adaptados a la vida acuática.

Los vivérridos y mangosta sustituyen a los mustélidos.

Los hienidos son ya grandes y fuertes.

Los félidos tienen uñas retráctiles y son carnívoros más especializados, en estos se reúnen los gatos, tigres, leones, leopardos, jaguares, panteras y pumas.

En los odobénidos la morsa es el más típico, con sus caninos muy desarrollados para cazar en el fondo de los mares crustáceos y moluscos.

Junto con los cetáceos aparecen también los Eirenios o vacas marinas que no van a la tierra, son herbívoros y como restos de estos tenemos a los Manatíes (*Halicore dugong*).

Es, pues, en el Cenozoico en donde aparecen los équidos representados por una serie de especies: caballos, asnos y cabras que se reúnen en el Equus; son formas bien adaptadas a las carreras y al pastoreo y, como vimos antes, pasaron de América a Asia y a Europa en el Pleistoceno. El primer ejemplar de este grupo fue el *Eohippus* que vivió ramoneando los arbustos, posteriormente está

el Orohippus del Eoceno, sigue el Epihippus y Mesohippus del Oligoceno, Miohippus, Parahippus y Meryehippus del Mioceno, Pliohippus del Plioceno y finalmente Equus del Pleistoceno.

Si bien la era Cenozoica llamada también terciaria termina en el Plioceno, la Era Reciente a la que podríamos llamar también Cuaternaria se inicia en el último millón de años, teniendo sólo dos periodos, el Pleistoceno o gran periodo de las Glaciaciones y el Holoceno o periodo Aluvial.

A finales del Plioceno las temperaturas de la Tierra comenzaron a disminuir gradualmente tanto en el Hemisferio Norte como en el Hemisferio Sur. Las condiciones de temperatura fueron llegando a un frío intenso y de esta manera se produce la primera glaciación hace un millón de años, teniendo una duración de aproximadamente 150 000 años y terminando hace 850 000 años; aquí se inicia un periodo interglaciar y de nuevo se produce otra glaciación, esto hace 700 000 años durando, por lo tanto, esta segunda glaciación 200 000 años; que terminó hace 500 000 años para vivir un periodo interglaciar; posteriormente hace 300 000 años se vuelve a producir otra glaciación que dura sobre la Tierra aproximadamente unos 150 000 años y de nuevo se entra a otro periodo interglaciar de 50 000 años; por último se presenta la más cercana de las glaciaciones, esto hace 100 000 años y dura un periodo de 75 000 años; estudios hechos sobre ésta suponen que terminó hace 25 000 años y por lo tanto en la actualidad vivimos en una etapa interglaciar.

Como podemos observar, se produjeron cuatro glaciaciones seguidas cada una de grandes periodos interglaciares en donde la nieve acumulada se retiraba y aumentaba la temperatura en la Tierra, mejorando las condiciones en la vida animal y vegetal; en algunos casos se piensa que estos periodos interglaciares fueron cálidos puesto que hasta los casquetes polares desaparecían. En cada retroceso las nieves dejaban sobre la superficie grandes bloques glaciales, morrenas, franjas de arena y gravas depositadas ahí por los hielos, así como se producían esos materiales ante el retroceso de los hielos, igualmente se producían en los periodos interglaciares acumulaciones de materiales sueltos, arenas, polvo y arcillas en donde crecían plantas hasta las zonas de tundra junto con árboles en donde vivían animales. Estudios sobre las glaciaciones en Suecia han

observado que cada vez que se producía un retroceso de las nieves se originaban depósitos de arcillas laminadas (varvas) en forma de capas alternas de fina arcilla oscura y limos, que sirvieron para poder datar a la región y comprender que Suecia quedó al descubierto hace diez mil años.

En las glaciaciones el espesor de los hielos fue considerable, ocupando América, todo el Canadá y llegando hasta el sur de los actuales Estados Unidos. En el Hemisferio Sur, gran parte de la Patagonia, mitad de Chile y Argentina se cubrieron de hielo. En Europa los hielos se extendieron ampliamente desde el norte hasta cubrir los Alpes, islas de Escocia e Inglaterra, pero principalmente la península Escandinava, norte de Alemania, Asia en toda su parte norte y Siberia tanto central como oriental.

Se considera que el espesor de estas enormes masas de hielo pudo ser de 3 000 m y extenderse por millones de kilómetros cuadrados, originando que las aguas de los océanos se redujeran en tal forma que descendieron como 80 metros; por otra parte el espesor de esas enormes masas de hielo materialmente aprisionaron a la tierra y hundieron a las capas donde se encontraban, produciendo peñascos, colinas morrénicas y sin duda esos numerosos lagos en Canadá y en la península Escandinava; muchos valles actuales son resultado de las glaciaciones, junto con playas y terrazas pluviales. Enormes áreas actualmente desprovistas de hielo guardan la influencia de las corrientes de éste al haber quedado completamente sin material orgánico, estando ahora sólo la roca desnuda.

Como vimos anteriormente, existieron cuatro glaciaciones, a la primera en Europa suele llamársele Glaciación Gunz y en Norteamérica Nebraskana (hace un millón de años); a la segunda se le llama Mindel en Europa y Kansana en América (hace 700 000); a la tercera Riss en Europa e Illinoisiana en América (hace 300 000) y por último la Wurm en Europa o Wisconsiniana (hace tan sólo 100 000 años). Todo hace suponer que esta última terminó hace 25 000 años aproximadamente.

		Inició	Terminó
Gunz	Nebraskana	1 000 000 años	850 000 años
Mindel	Kansana	700 000	500 000
Riss	Illinoisiana	300 000	150 000
Wurm	Wisconsiniana	100 000	25 000

Como consecuencia de estas glaciaciones los animales tuvieron que dirigirse hacia zonas más cálidas que sólo podían en-

contrarse en las partes medias ecuatoriales, sin embargo hubo algunos que se adaptaron a vivir a temperaturas bajas como el mamut, el reno, el megaterio, bisonte, osos y zorros; al regresar las condiciones templadas estos volvieron a sus antiguas tierras de pastoreo.

Podría decirse que por mucho tiempo en Europa pastaban elefantes, gacelas, ciervos, hipopótamos y rinocerontes, o sea especies que ahora sólo viven en la parte media de África. A medida que las temperaturas aumentaban iban surgiendo bosques y la vegetación se tornaba exuberante con un clima templado.

El origen de estas glaciaciones es difícil de considerar, muchas teorías opinan sobre su causa sin llegar a una demostración palpable.

Algunos geólogos consideran que como consecuencia de los levantamientos montañosos que se presentaron de manera abundante en el cenozoico, se modificó la circulación general de la atmósfera y con ello los climas. Estudios sobre la circulación general de la atmósfera hacen suponer que no tuvieron tanta influencia los movimientos de las montañas como para hacer descender tan bajo a las temperaturas.

Otra teoría es que, como sabemos, la mayor cantidad de actividad volcánica también se presenta en esta era, es de suponerse pues que tanto volcán existente arrojaba enormes cantidades de cenizas, humos y polvo que se fueron estableciendo en la atmósfera alrededor de la Tierra, actuando como una enorme pantalla que no dejaba pasar libremente los rayos solares lo que ocasionó una disminución gradual de las temperaturas o de radiación solar y por lo tanto el planeta fué enfriando hasta que este material junto con la actividad volcánica fue reduciéndose disminuyendo así el polvo y cenizas en la atmósfera, para volver a penetrar la radiación solar ocasionando así un aumento de temperatura y una reducción de las capas de hielo.

Otra causa que suponen los geofísicos es que el eje de la Tierra presentó otra posición y con ella los polos y la Tierra, sin embargo esta teoría no es muy convincente.

Se dice también que el Sol sufrió una disminución en su radiación hacia la Tierra, ya que al viajar en el espacio pasa por zonas con diferente densidad cósmica que reduce su poder hacia la Tierra. Esto puede suceder pues en el espacio existen enormes cantidades de materia dispersa o elementos de nebulosas que en caso dado podrían haber opacado al Sol reduciendo su radiación.

HOLOCENO.

Holoceno. Conocido también como periodo Aluvial, es el último de los periodos geológicos: los más cercanos 25 000 años; aquí se obtienen todas las características actuales del planeta tanto físicas como en flora y fauna, pero sin duda lo más importante es que es en ésta cuando la estructura anatómica del HOMBRE toma su forma actual después de muy variadas adaptaciones; muchos animales han desaparecido, otros se han adaptado hasta llegar a los actuales que nos parecen más perfectos, el hombre mismo parece tener su forma ideal; sin embargo ¿ será este el último periodo de la Tierra ? o ¿ tendremos en un futuro cercano grandes cambios ?, no lo sabemos pero sin duda en un futuro cercano no tendremos esta apariencia de que disfrutamos, seremos diferentes, no sólo nosotros sino también la vegetación y la fauna, pero no sabemos cuándo ni en dónde.

BIBLIOGRAFIA

- Adams 1970, Gamma Ray Spectrometry of Rocks.
- Adie 1964, Antarctic Geology
- Ager, D. 1975, Introducing Geology. New York, John Wiley
- Aguas Subterráneas 1965. Apuntes de curso intensivo Ingeniería UNAM.
- Albatros: Enciclopedia del Mar España Internacional 1974.
- Almanaque Mundial 1980.
- Allen, J. R. 1960, Physical Processes of Sedimentation. Londres. W. Haffer, Sons.
- Bancro, F. P. The Worlds 1973. Fines Minerales and Crystals.
- Bagnold, R. A. 1942, The Physics of blown sand and desert dunes. N. York. William Morrow.
- Bassols Batalla, A. 1976. Recursos Naturales de México. Nuestro Tiempo.
- Battery, M. P. Mineralogy for students 1975. W. Hoffer. Londres.
- Benítez, Alberto, 1963. Captación de aguas subterráneas. Madrid. Dossat
- Berry, L. G. Mineralogy 1959. W. Haffer, Sons.
- Bertin Le-n. The Earth. 1961. Inglaterra Larouse.
- Birch, F. Elasticity and constitution of the Earths interior 1952. N. York. John Wiley.
- Billings, M. P. 1972. Structural Geology. N. York, Prentice Hall.
- Boletín 7 y 8. 1964. Asociación Mexicana de Geólogos petroleros.
- Bowen, N. L. 1950. The Evolution of igneous rocks. USA. University.
- Bowen, D. O. 1972. Concise Physical Geography, N. York. John Wiley.
- Bowie, W. 1927. Isostasy. N. York, Dutton and Co.
- Branson, Tarr. 1970. Elementos de Geología. México Aguilar.
- Byerly, P. 1942. Sismology. N. York. Prentice Hall. Inc.
- Cailleux, André, 1968. Les Roches. France. Presses Universitaires de France.
- Chariguin, M. M. 1964. Geología General. España. Grijalvo.
- Colman, S. J. 1953. El Mar. Barcelona. Omega.
- COMACYT. 1980. Todo sobre terremotos. Boletín 111.
- Cotton, C. A. 1952. Geomorphology. N. York. John Wiley.
- Cyrit, S. Fox. 1953. El Agua. España. Omega.
- Daly, R. A. 1936. Our Mobile Earth. N. York. Charles Scribner's.
- Daly, R. A. 1933. Igneous rocks and the depths of the Earth. N. York, Hill. Book, Co.
- Davies, 1972. The conceptual Revolution in Geography. N. York. John Wiley.
- De la Cámara M. San Miguel, 1960. Manual de Geología. México. Continental.
- Dumbar, U. Carl, 1961. Geología Histórica. México. Continental.
- Dumbar, C. O., 1975. Principles of stratigraphy. N. York. John Wiley and Sons.

- Easterbrook, 1969. Principles of Geomorphology. London. W. Haffer Sons.
- Enzo Levi, 1965. Mecánica de los Fluidos. UNAM.
- Fallor, P. 1944. Tectonique Hercynienne et Tectonique Alpine. Bull. Soc. Geo. France.
- Fich y Trewartha, 1954, Geografía Física. México. Fondo de Cultura Económica.
- Flin, R. F. 1957. Glacial and Pleistocene Geology. N. York. John Wiley.
- Font Alba M. 1968. Atlas de Geología. Barcelona. Jover.
- Foster, J. R. Geología. México. Labor. 1973.
- Furon Raymond, 1967. El Agua en el Mundo. España. Alianza.
- Gamow, George, 1942. Biografía de la Tierra. Buenos Aires. Espasa Calpe.
- Geografía. Diccionario. 1972. España. Rfo Duero.
- Geología. 1972. Diccionario. España. Rfo Duero.
- Glaessner, F. 1947. Geosinclinales. Jour. Science.
- Gorky, M. M., 1962. URSS. Academia de Ciencias.
- Guilcher, André, 1957. Morfología Litoral y Submarina. Barcelona. Omega.
- Gurría Lacroix Jorge, 1979. El desagüe del valle de México durante la época novohispánica. UNAM.
- Hales, A. L. 1936. Convection currents in the Earth. Geoph. Suppl. Monthly No. 3.
- Hamlyn, Paul. 1961. The Earth. Barcelona. Larousse.
- Hatch, E. J. 1970. The petrology of the sedimentary rock. London. Allen and Unwin.
- Harrington, H., 1944. Volcanes y terremotos. Buenos Aires. Biblioteca de conocimientos.
- Heim, A., 1940. Geology of the Front Ranges of the Sierra Madre Oriental. N. York. Helvetiae.
- Hidrología, 1970. UNAM. México.
- Hills, E. S. 1953. Outlines of estructural geology. London. John Wiley and Sons.
- Holmes Artur, 1917. The age the Earth. London. Thomas Nelson and Sons.
- Holmes Arthur, 1952. Geología Física. España. Omega.
- Huley, M. Patrick. 1964. ¿ Qué edad tiene la Tierra. Argentina. EUDEBA.
- Instituto de Geología, 1946. Gufa del explorador minero. México.
- Jiménez, G. Luis. 1944. Los Carbones Minerales. México, UNAM.
- King, C. A., 1959. Beaches and Coast. London. E. Arnold.
- Kuenen, P. H. Marine Geology. N. York. John Wiley and Sons.
- Lahea, F. H., 1961. Field Geology. New York. Hill Book Co.
- Leet y Hudson, 1977. Geología Física. México. Limusa.
- Levorsen, A. I. 1956. Geology of Petroleum. San Francisco. W. H. Freeman and Co.

- Linsley and Franzini, 1964. Weather Resources Engineering. USA. International Student Edition.
- López Ramos, E. 1976. Geología General. México. Litográfica Universo, S.A.
- Lonwell y Flint. 1974. Geología Física. México. Limusa.
- Lorete, J. M. 1961. Meteorología. Argentina, Labor.
- Lotze. 1961. Geología. México. UTEHA.
- Lucas Nogra García. 1967. Hidrología. Barcelona. Bruguera.
- L. U. de Sitter. 1970. Geología Estructural. España. Omega.
- Lyell, Charles. 1950. Principles of Geology. London. John Murray.
- Macazaga Ordoño. 1979. Nombres geográficos de México. México. Cosmos.
- Maderez Rascón, Laura E. Aguas Subterráneas de México. México. UNAM. 1969.
- Macelwane, J. B. 1947. When the Earth quakes. Milwaukee. Bruce. Publishing Co.
- Masson B. 1958. Principles of Geochemistry. N. York. John Wiley.
- Matthews, H. William. 1971. Geología Simplificada. México. Minerva.
- Meizer, E. Oscar. 1942. Hidrology. New York. USA. Dover.
- Memoria. Sistema del drenaje profundo. México. Distrito Federal.
- Miller A. Austin. 1957. Climatología. España. Omega.
- Moore, W. E. 1965. A dictionary of Geography. USA. Penguin.
- National Academy of Sciences. 1974. More Water for arid Lands.
- Nieuwolt. 1970. Tropical Climatology. N. York. John Wiley.
- Nininger, M. 1974. La Tierra Tembla. Barcelona. James S. A.
- Ommabney, F. D. 1953. El Océano. México. Fondo de Cultura Económica.
- Ordoñez, E. 1905. Los Xalapascos del estado de Puebla. México. Instituto Geológico. Vol. 1 No. 9.
- Paricutín. 1945. UNAM.
- Pearl, M. Richard. 1979. Geología. México. Continental.
- Pekeris, C. L. 1935. Thermal Convection in the interior of the Earth. Monthly Geoph. Suppl. No. 3,
- Petti John, F. J. Sedimentary rocks. 1957. N. York. Harber and Bros
- Pomerol, Charles. 1963. Argentina. EIHDEBA
- Reiche, P. 1950. A survey of weathering processes and products. Albuquerque University of N. Mexico. Publication in Geology.
- Rioja, Enrique. 1904. La Vida en el Mar. México. Pormaca.
- Rocheftort, Michel. 1963. Les Fleuves. France. Press Universitaires de France.
- Rolano, Springall, G. 1970. Hidrología. México. UNAM.
- Roman, V. El Mar. 1963. Buenos Aires. Labor.
- R. G. Gilinck. 1954. La Tierra Inquieta. España. Labor.
- Rucor, K. 1954. The earth core trans. Geoph. Union.
- Séenz de la Calzada. 1974. Hidrología Médica General y del estado de Michoacán. I.M.R.N.

- S.A.G. 1976. Compendio de apuntes para la formación del personal meteorológico de la clase IV. Vol. 3.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. Cómo es México.
- Soto Mora, C. Vocabulario Geomorfológico. 1965. México, UNAM.
- Shepard, F. P. 1970. Submarine geology. N. York. Harper and Brothers S.R.H. Tomo IV, 1964. Hidrología de las Aguas Subterráneas. México.
- Strahler, Arthur, N. 1978. Modern Physical Geography. USA. Wiley.
- Tamayo, Jorge. 1976. Geografía Moderna de México. México. Trillas.
- Todd David, 1959. Ground Water Hidrology. N. York. Wiley.
- Thornbury, W. D. 1954. Principles of Geomorfology. N. York. John Wiley.
- Tricart, J. La epidermis de la Tierra. España Labor. 1969.
- Tyrrell, G. M. La Tierra y sus Misterios. Buenos Aires. Labor.
- Tyrrell G. M. 1931. Volcanoes. London. Thornton Butterworth
- V. Belousov, 1974. Geología Estructural. URSS. MIR.
- V. C. Finch y G. T. Trewartha, 1954. Geografía Física. México. Fondo de Cultura Económica.
- V. Romanovsky, 1960. El Mar. España. Labor.
- Vívo, Jorge, Cómo es México. México.
- Williams H., 1924. El Lago Cráter. San Francisco. Freeman and Co.
- Williams H., 1954. Petrography. San Francisco. Freeman and Co.
- Yarza de la Torre, 1971. Volcanes de México. México, Aguilar.
- Zim, S. H., 1957. Rocks and Minerals. N. York. Golden Press.
- Zumberge J, 1962. Elementos de Geología. México. Continental.