

Algunas notas sobre el objetivo específico de la geología y el desarrollo histórico de algunas de sus ramas

Por: Ingeniero Geólogo Edgar José Vásquez A.

OBJETIVOS

Al tratar de organizar el amplio volumen de información geológica de una manera acorde a sus ramas y al mismo tiempo la ubicación temporal de la mayor parte de las contribuciones que han dado nuevos giros al desarrollo de la geología, pretendo como objetivos básicos los siguientes:

1. Señalar brevemente el fin de la geología y sus inicios como ciencia.
2. Citar los nombres de los personajes que han avivado y promovido el desarrollo de nuestra ciencia.
3. Repasar algunos conceptos generales.
4. Información general.

La geología en su naturaleza misma es la conjugación simultánea de varias ciencias cada una de ellas con cuerpo propio. Conjugación porque convergen en su estructura disciplinas como la química, la física, la biología, la astronomía, etc. Esta se ha ido tejiendo desde tiempos pretéritos, si bien la conjugación de ésta como ciencia no se inició hasta bien entrado el siglo XVII con Wagner y Hutton que le dieron gran vivacidad a su desarrollo.

Las observaciones de los griegos y romanos sobre algunos hechos, aunados a la curiosidad intrínseca por un lado y las necesidades prácticas por el otro, son quizás el impulso infalible a la posterior estructuración de la geología como ciencia, puesto que en las cosmogonías de los antiguos pesaban más los conceptos de orden filosófico y teológico que los puramente científicos. La misma línea sigue, de una manera no menos vaga, el carácter de las observaciones que dominaron la atención en la edad media, que resaltaron más por lo extraordinario y curioso que por el valor real de la observación específica. Posteriormente daré algunas referencias al respecto con el mérito de la apreciación y cualidad que un espíritu precientífico le asigna a un objeto de estudio.

La curiosidad ha inquietado por siempre al hombre por fisgar aquello que le rodea: la curiosidad por comprender su origen, el mundo, los cambios bruscos que se verifican en la faz de la tierra tales como las erupciones volcánicas, los terremotos, las inundaciones; la presencia de conchas marinas en las montañas, etc.

Ya Aristóteles se percató de algunos fenómenos de carácter geológico tales como la formación de los deltas, la conversión de mar en tierra y la tierra en mar. El geógrafo Estrabón (año 1 D.C.) rechazó la hipótesis de la disminución y achicamiento de los mares que había adelantado Janto de Lidia para explicar la existencia de conchas fósiles a grandes alturas y a distancias considerables de los mares, atribuyéndolas a elevaciones y descensos de los mismos continentes. Lucrecio (40 años antes de J.C.) anotó que el hombre y los animales habían sido precedidos por seres extraordinarios y vegetales de colosales dimensiones. Estrabón explica las erupciones del Etna por la presión de los vientos, según él a la evaporación del mar. Plinio El Viejo murió queriendo observar de cerca la erupción del Vesubio (año 79 A.C.).

Como puede verse, dentro del prolífico número de especulaciones generadas por los antiguos, se esbozan evidentemente algunos destellos de consonancia que fueron, posteriormente, elementos conformadores para suposiciones y teorías más elaboradas como es apenas lógico esperar por el advenimiento de instrumentos de trabajo propios y observaciones más profundas y menos estrañarias que desvanecieron paulatinamente la sarta de supersticiones que pervivieron por tantos siglos. Las especulaciones lentamente cedieron su lugar a las observaciones cuidadosas y a correlaciones e interpretaciones más científicas.

Antes de la "Theory of the Earth" de James Hutton que apareció en 1788, la filosofía natural estaba basada más en la especulación que en la observación. El uniformitarianismo de Hutton hizo posible la explicación de los rasgos terrestres como resultado de los procesos largamente continuados opuestos a las fuerzas extraordinarias o cataclismos. Sin embargo, no fue sino hasta

la publicación de los "Principles of Geology" de Lyell en 1830 que la revolución de esta ciencia se hizo amplia y efectiva.

La idea del cambio y evolución progresiva con el tiempo ha madurado con el crecimiento de la geología moderna. Cuando Hutton expresó que no observaba signos de un comienzo o de un fin, comprendió que era necesario el tiempo para producir muchos fenómenos geológicos. La idea del tiempo geológico habilitó a Darwin para idear su teoría de la evolución sobre una base científica. La idea del tiempo geológico, quizás la contribución más grande de la geología al pensamiento general, ha sido comparada en importancia con la verificación de los astrónomos relativa a la vastedad del espacio y con los conceptos de los físicos de la relación entre materia y energía. De este modo la geología hizo la mayor contribución tanto a la ciencia como a la filosofía al introducir en aquella la idea de la historia. No fue sino hasta que los geólogos introdujeron el concepto de que la tierra tenía una historia cuando fue posible desarrollar un conocimiento sistemático del pasado remoto. La geología demostró la posibilidad de estudiar el pasado por métodos científicos.

Al discutir la naturaleza de la geología, Chamberlin (1904) (citado por Claude Albritton en "Filosofía de la Geología"), observó que gran parte consiste en generalizaciones conforme a datos incompletos, de inferencias que se apoyan en cadenas de lógica incierta, de interpretaciones discutibles, de hipótesis no completamente verificadas y de especulaciones de las cuales ninguna es demasiado importante. Una parte de la masa es verdadera ciencia, otra es filosofía, una parte es especulación y otra todavía es material desorganizado. A menudo, las explicaciones de los geólogos dependen del criterio para seleccionar las hipótesis de trabajo y revisarlas a medida que se acumulan los datos.

La geología se diferencia de las otras ciencias principalmente en su interés por el tiempo. Los procesos y reacciones que al verificarse de manera tan lenta son prácticamente inobservables en el laboratorio, pueden ser de gran importancia cuando operan a través de muchos millones de años. Otra diferencia principal entre el punto de vista del geólogo y de otros científicos, es que para aquél es una necesidad predecir el pasado, es decir, que la geología no sólo debe explicar la situación contemporánea por medio de los fenómenos contemporáneos, sino que también debe observar y señalar una génesis, un proceso que se verifica en el tiempo y del cual no nos es posible apreciar sus diferentes etapas mediante la observación inmediata. Puesto que muchos fenómenos terrestres no pueden ser verificados experimentalmente y por lo general, el geólogo no puede "descubrir el problema",

es necesario que utilice varios métodos indirectos de análisis; estos métodos de razonamiento y explicación son necesarios debido a que el geólogo trata con los factores tiempo y escala que están más allá de la experiencia humana. La escala de la geología varía de lo microscópico a lo planetario y desde la estructura de los cristales hasta la estructura de la tierra.

Hemos visto que la geología bajo las más diversas derivaciones que la componen, no estuvo exenta, al igual que otras ciencias, a elucubraciones fatuas y logomaquias de todo género que se dieron inicialmente al intentar explicar algunos hechos. Sirve como base para mostrar la oquedad del pensamiento precientífico el profundo interés que le dio a los objetos al asignarles un valor intuitivo, lívido, clarividente y hasta pretencioso. Véase por ejemplo el caso particular de la alquimia como antesala al futuro desarrollo de la química.

Proclive a las especulaciones más sutiles y sin ningún fundamento racional, "el espíritu precientífico centra sobre un objeto todos los conocimientos en los que ese objeto desempeñe un papel sin preocuparse por las jerarquías de orden empírico. Une directamente a la sustancia las distintas cualidades, ya sea una cualidad profunda como una cualidad superficial, ya sea una cualidad manifiesta como una cualidad superficial, ya sea una cualidad manifiesta como una cualidad oculta" (Gaston Bachelar, la formación del espíritu científico, p. 115). "Puesto que el geólogo utiliza datos fragmentarios —que son resultados incompletos de experimentos cuya terminación es a largo plazo—, debe emplear en muchos casos el razonamiento inductivo para reconstruir el todo a partir de las partes. La virtud del razonamiento inductivo ha sido enaltecid a y aprovechada con efectividad por muchos. Quienes han hallado los mismos caminos han sido igualmente elocuentes al señalar los peligros inherentes a la utilización de este método de razonamiento que, a no dudar, es valioso y necesario. Pero el geólogo no debe olvidarse que cuanto menos debe apoyar un pie sobre la tierra tangible de la que se esfuerza por ser su intérprete". (Albritton Claude, "Filosofía de la Geología"). No se puede confundir aquí la imaginación con la tendencia a convocar sin fundamento alguno y sin motivos claros cosas fantásticas e irreales sin limitación alguna como pretende el espíritu precientífico —un pasatiempo o un escape de la realidad—.

Para llegar a un nivel de madurez y de abstracción capaz de establecer la relación de las partes para crear el todo, según una coordinación y ordenación sistemática de dichas partes, es necesario pues pasar de una serie de etapas que incluyen una observación constante del objeto de estudio, diferenciación e integración de los elementos (fenómenos) observados partiendo de lo sencillo a lo

complicado, elevándose del examen de los hechos al de relaciones para posteriormente construir teorías.

De un modo muy general se podría decir que la labor secuencial del geólogo se circunscribe en los siguientes tópicos:

- Observa el terreno.
- Recoge datos.
- Estudia la topografía.
- Establece relaciones.
- Se vale del auxilio de la litología y de la paleontología para identificar los ejemplares tales como minerales y fósiles.
- Levanta planos en los que indica la posición y relaciones que guardan las rocas.

Los mapas geológicos tienen como fin condensar la mayor información posible observada a una escala conveniente de los grandes rasgos que conforman un área de estudio determinada. La integración de las partes para formar un todo, la capacidad de enfocar en tres dimensiones y en perspectiva los procesos geológicos que se han llevado a cabo y que probablemente aún continúan operando la reconstrucción de los acontecimientos del pasado, son entre otros, elementos de juicio que debe considerar el geólogo.

Veamos a modo de ejemplo algunas de las vagas generalizaciones respecto a las primeras apreciaciones de los minerales consideradas por el pensamiento precientífico el cual pretendía explicar las propiedades de algunas sustancias minerales a partir de una idea sustancialista, en este sentido se quiere significar el hecho de que las sustancias "tienen un interior" y que a partir de ese interior íntimo y cerrado se expresan las propiedades que dicha sustancia pudiese tener.

Siendo la mineralogía la rama de la geología que se ocupa del estudio de los minerales, en particular de su composición química, estructura interna, propiedades físicas, etc. Tiene una estrecha relación con la química y la física. Si pretendemos determinar el carácter sustancialista que perennemente acompañó y ocupó la atención del espíritu humano por muchas décadas, veamos cómo particularmente los alquimistas con base en una serie de teorías incoherentes sin ningún respaldo científico, la mayoría de las veces muy filosóficas e impregnadas de misticismo, trataban de indagar "las cualidades íntimas de la materia". Las cualidades sustanciales eran pensadas como cualidades íntimas; así, haciendo alusión al cobre consideraban que "su propiedad luminosa y brillante como propiedad íntima e interior se ve perturbada por ese corrosivo que es necesario eliminar a fin de que

pueda así manifestar su alma viviente y resucitante". En cuanto al oro opinaban: "aparece y es exteriormente fijo, pero interiormente es volátil" y en cuanto al mercurio "aunque blanco por fuera... es rojo por dentro, el tinte rojo aparece cuando se le precipita y se le calcina al fuego".

El mercurio, según se creía, poseía la propiedad de tomar todas las formas, lo mismo que la cera atrae todo color, porque el mercurio todo lo blanquea y atrae el alma de todos los cuerpos, y porque después de transformarlos, subsiste contenido en ellos. El origen de esta singular opinión puede provenir de que Platón designaba con el nombre de agua a todos los cuerpos líquidos y los que estaban fluidos, en particular el oro y el cobre en ese estado. Siendo el mercurio el metal líquido por excelencia, cuyo aspecto y caracteres pueden confundirse con los de los metales fundidos, se creyó que éstos se derivaban de aquél. Según esta doctrina, para obtener un cuerpo determinado, por ejemplo el oro, es preciso tomar cuerpos análogos que se diferencien del oro sólo en alguna cualidad y mediante algún procedimiento se elimina tal cualidad con el fin de obtener así el preciado metal. "Este puede extraerse del mercurio, primero quitando su agua, su elemento fluido y móvil; después hay que fijarlo, para lo cual hay que quitarle su aire o elemento volátil, y todavía después, hay que extraerle su elemento grosero que es una escoria de tierra que le impide alcanzar su perfección, o sea convertirse en oro". (Véase "La Alquimia". Encyclopedie Universal Ilustrada Europeo-Americana. Madrid - Barcelona).

Por otra parte, las primeras concepciones acerca del origen del universo parecen deducirse de algunos pasajes algo oscuros de la biblia en el que se hace alusión a un origen divino; se da pues una explicación mística simbólica. Además, las ideas de Empédocles sobre los cuatro elementos constitutivos del universo son más tarde la base de las teorías alquimistas hasta fines del siglo XVIII, quienes de otra parte atribuyeron a los elementos la formación de los metales. Estos cuatro elementos representaban los estados de la materia: la tierra era el símbolo del estado sólido y de la sequedad; el agua simbolizaba el estado líquido, la humedad y algunas veces el frío; el aire representaba lo volátil y el estado gaseoso y el fuego que era considerado como el más sutil de los cuatro elementos respondía a la idea de una sustancia fluida y etérea, origen simbólico de la luz, el calor y del movimiento de las partículas de los cuerpos. Esta teoría estaba completada por la de la materia prima de Platón que constituía el fondo común de todas las sustancias y que sin tener alguna forma determinada era capaz de contenerlas a todas. Por sí misma no es tierra, ni aire, ni agua ni fuego pero recibe la forma de estos cuatro elementos con los cuales Dios compuso al mundo, ya sea con el fuego sin el cual nada visible puede existir, o con la tierra

sin la cual nada puede haber sólido o tangible, y para ligar estos dos elementos coloca el aire y el agua a los que da una forma geométrica que sólo permite que se unan en determinadas proporciones. Suponía además esta concepción que los corpúsculos del fuego son los más pequeños, los más móviles y ligeros, poseyendo en menor grado los del aire estas cualidades y menos todavía los del agua. Por condensación del agua se forman las piedras y la tierra, y si se divide y vaporiza se transforma en aire, que a su vez al inflamarse se convierte en fuego, y de estas transformaciones periódicas provienen la gran diversidad de materias que constituyen el mundo. Los pitagóricos que tenían una idea tan justa del sistema solar (sol inamovible, tierra animada por un movimiento doble de rotación) profesaban la idea de un fuego central.

No sobra, por último, soslayar de una manera muy breve la explicación que dan los antiguos a los fósiles hallados en el interior de la tierra en donde se ilustra una vez más el amplio espectro de especulaciones que prevaleció en la mentalidad precientífica y la gran zanja que la separa de un verdadero espíritu científico que no se satisface ligando pura y simplemente los elementos descriptivos de un fenómeno sin esfuerzo alguno de jerarquías, sin determinación precisa y detallada de las relaciones con los demás objetos.

Tertuliano y San Agustín veían en las conchas fósiles halladas en las más altas montañas la prueba irrefutable del diluvio bíblico. Por el contrario, Voltaire se tenía por muy espiritual y sobre todo muy sensato afirmando que las conchas fósiles eran de viejos peregrinos. Aristóteles suponía que estos peces vivían sin movimiento en la tierra o que estaban extraviados en el interior de ella. Heródoto se sirvió de la existencia de conchas marinas en las montañas de Egipto para demostrar que éste había sido un golfo marino. Estrabón explica el mismo fenómeno a partir de una emersión debida a algunas convulsiones internas de la tierra y Erastótenes veía éstos como un simple relleno del mar.

No obstante esta corriente de especulaciones empiezan a florecer ideas más elaboradas y afines con la realidad. Así es como en el año de 1575 Bernardo de Palissy dejó por sentado que las conchas marinas no podían haber sido trasladadas a los lugares en que se encuentran atendiendo a la conservación que presentan sus espinas y apéndices más frágiles, por lo que las tierras que las guardan tenían que haber estado depositadas en el océano. A Leonardo de Vinci o a Bernardo de Palissy se les ha atribuido el reconocimiento de la verdadera naturaleza de los fósiles, pero el primero que afirmó que los fósiles de los vegetales eran restos de plantas que habían vivido en otras épocas fue el dinamarqués Stenon (1670) quien además reveló que en los Apeninos los terrenos es-

tán constituidos por capas sucesivas, las más antiguas de las cuales son las más profundas.

El refinamiento de las ideas y de las hipótesis se hizo por supuesto más notable con nuevos descubrimientos y con el advenimiento y posterior perfeccionamiento de los métodos de exploración de los objetos geológicos y, ante todo, con la introducción del microscopio, instrumento excepcional capaz de acrecentar el alcance de nuestros sentidos y afinar la observación, pasándose así de la observación trivial que no se había dejado de practicar hasta entonces, a una observación que se hace científica por el recurso al instrumento. No obstante lo anterior, han perdurado grandes interrogantes que aún quedan por resolver y que han llevado a grandes controversias por las diferentes hipótesis propuestas. Así por ejemplo, cuando se escribe la historia de la geología se comenta calurosamente la querella entre los neptunianos y los plutonianos, es decir, de Werner, el célebre profesor de Freiberg, Sajonia, y de Hutton, el famoso sabio escocés; querella que parece comparable para la geología lo que ha sido en la literatura entre los clásicos y los románticos; de los glauquistas o de los puccinistas en la música: de los admiradores de Ingres o de Delacroix en la pintura, etc.

La siguiente es una revista somera y parcial en la cual se mencionan los logros más importantes en algunas ramas de la geología y sus principales artífices cuyos trabajos han elevado a esta ciencia al puesto que hoy ocupa.

MINERALOGIA

1609.- Boodt (1550-1632) holandés, propone la primera escala de dureza para comparar "las piedras" (piedras endurecidas, pedras blandas, piedras atacadas con la lima, con el esmeril, con el diamante) en su tratado de las "Piedras preciosas".

1669.- Thomas Bartholin (1616-1680) danés, descubrió la doble refracción en el espato de Islandia (calcita) y del plano de exfoliación de este cristal.

1690.- Christian Huygens (1629-1695) holandés, descubrió la doble refracción con el cuarzo y planteó la hipótesis sobre la estructura en forma de red de la calcita.

1696.- Sir Robert Boyle (1627-1691), angloirlandés. Fue el primero en utilizar el término mineralogía en su sentido actual.

1780 - Romé de l'Isle (Jean-Baptiste) (Gray, 1736-París, 1790), confirma experimentalmente la primera ley fundamental de la cristalografía (ley de la constancia de los ángulos). En 1669 Nicolás Steno indicó que los ángulos entre caras correspondientes en cristales de cuarzo eran siempre los mismos. Esta observación se ha generalizado hoy día como la ley de Steno de la constancia de los ángulos interfaciales, que dice: los ángulos entre las caras equivalentes de los cristales de la misma sustancia medidos a la misma temperatura, son constantes. La segunda ley fundamental de la cristalografía fue enunciada en 1784 por René Just Haüy la cual expresa que toda especie cristalina tiene su forma primitiva, su malla. Describió los siete sistemas posibles de simetría de los cristales.

1819 - Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) químico sueco, descubrió el isomorfismo de las formas cristalinas. Valga mencionar además que a este sabio se le debe la notación química moderna, la elaboración de las nociones de alotropía, isomería y polimería.

1830 - Johann Friedrich Christian Hessel (1796-1872). Alemán, describió 32 casos de simetría de las formas exteriores de los cristales.

1851 - Auguste Bravais (francés), propuso la teoría de las redes cristalinas y sus clases de simetría.

1858 - Sorby (1826 - 1908). Inglés, observación de los cristales al microscopio.

1912 - Max Von Laue (1879 - 1960, alemán): difracción de los rayos X por los cristales, lo cual confirma la existencia de las redes cristalinas imaginadas por Haüy, proporcionando este hecho un medio extraordinariamente eficaz para la identificación de los minerales. Von Laue fue el primero en sugerir, 12 años después del descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Conrad Röntgen, en 1895, la aplicación de éstos al estudio de los cristales.

1914 - William Henry Bragg y William Lawrence Bragg, físicos ingleses, determinaron la estructura del primer compuesto, la halita, NaCl por el método de difracción de los rayos X.

TECTONICA.

1740 - El italiano Moro (1687 - 1764) propone una sección del globo terráqueo en el que distingue "un interior" duro de una capa exterior" constituida de cavidades llenas de fuego.

1769 - Needham (1713-1781) inglés, estudio de las capas plegadas, actualmente inclinadas y antaño horizontales.

1825 - Steele: Hipótesis de las fuerzas de empuje horizontales.

1858 - El holandés Snider presenta por primera vez la hipótesis de que los continentes pudieron derivar en épocas pasadas.

1873 - James Dwight Dana (1813-1895) norteamericano, "Los constituyentes de las cadenas montañosas se acumularon primeramente en vastas fosas, los geosinclinales.

1879 - Daubree: realiza plegamientos y fracturas experimentalmente.

1890 - Gilbert: Hace la distinción entre orogénesis y epirogénesis.

1910 - El alemán Alfred Wegener (1880-1930) propone la teoría de la deriva continental.

1934 - René Perrin y Roubault, franceses, proponen las hipótesis que explican los plegamientos por aumento de volumen debido al metamorfismo de las rocas.

1939 - Griggs, D.T. (norteamericano): explicación de los plegamientos por la existencia de corrientes de convección del manto. Griggs llevó a cabo varios estudios sobre la deformación de las rocas en el laboratorio señalando que el comportamiento dúctil de éstas es una función de la temperatura y de la velocidad de deformación. Además, la presencia de cantidades mínimas de impurezas, tales como los iones OH en la estructura cristalina de los silicatos, produce un efecto profundo en las propiedades mecánicas de las rocas.

DERIVA CONTINENTAL Y TECTONICA DE PLACAS

1620 - Francis Bacon discutió la posibilidad de que el hemisferio oeste había estado unido a Europa y África.

1668 - P. Placet escribió una memoria imaginada titulada "La corruption du grand et du petit monde, où il est montré que devant le déluge, l'Amérique n'était pas séparée des autres parties du monde" ("La corrupción del gran y pequeño mundo, donde se muestra que antes del diluvio, América no estaba separada de las otras partes del mundo").

1858 - El francés Antonio Snider consideró las similitudes entre las plantas fósiles de América y Europa del

período Carbonífero (hace unos 300 millones de años), y propuso que todos los continentes fueron una vez parte de una única masa de tierra. Su trabajo se llamó "La création et les mystères dévoilés" ("La creación y sus misterios").

Principios del siglo XX - El geólogo austriaco Eduard Suess agrupó todos los continentes en un supercontinente al que llamó Gondwana. Este supercontinente existió hace unos 150 millones de años. Antes de esto se puede suponer una larga historia de periódicos encuentros y separaciones de los distintos continentes.

1910 - Alfred Wegener propone la teoría de la deriva continental.

1930 - El geofísico holandés F.A. Vening Meinesz propuso que la convección térmica en el manto terrestre podría ser la causa de la deriva continental y la expansión del fondo oceánico. Sus ideas se basaron en sus mediciones de la gravedad en las profundas fosas oceánicas y los arcos insulares adyacentes del oeste del Pacífico.

1956 - Maurice Ewing y Bruce C. Heezen sugirieron que un sistema de cordilleras centro-oceánicas se extenderían continuamente a lo largo de 64.000 Km. a través de todos los océanos del mundo.

1960 - H.H. Hess propuso la teoría de que los suelos oceánicos se expanden a lo largo de la línea de cumbres de la cordillera centro-oceánica y que el nuevo suelo que allí se forma se desplaza a ambos lados de la cordillera. Revelle y Fisher sugirieron que al tiempo que el nuevo suelo oceánico se genera a lo largo de la cordillera centro-oceánica, el suelo más antiguo se sumerge en las fosas y debajo de los arcos insulares en donde está siendo reabsorbido por el manto.

1961 - 62. William E. Long de la Universidad Metodista de Alaska identificó dos especies de helechos fósiles en la parte central de la Antártida que proceden de la sucesión del Supercontinente primigenio, Gondwana, localizado hacia la era Mesozoica en el hemisferio sur.

1966 - En la reunión de la Sociedad Geológica de América, en San Francisco, se expusieron varios artículos que reafirmaban las teorías de la expansión del fondo oceánico y la deriva continental. Asimismo se dejó por sentado que el campo magnético terrestre no sólo había cambiado de dirección en el pasado, sino que también se había invertido frecuentemente.

- Allan Cox, G. Brent Dalrymple y Richard R. Doell del U.S. Geological Survey midieron el magnetismo de las rocas basálticas, cuya edad se determinó por la cantí-

dad de argón 40 formado por la desintegración del potasio 40 radiactivo. Notaron una serie de inversiones ocurridas en los últimos 3,6 m.a. Extrapolaciones diversas han señalado que se han llevado a cabo en los últimos 76 millones de años unas 171 inversiones.

- Ronald G. Mason y Arthur Raff de la institución oceanográfica Scripps comprobaron que el suelo marino estaba magnetizado en forma de franjas.

- Relacionando estas franjas, el descubrimiento de inversiones magnéticas y la idea de Hess de que las cordilleras y "rifts" oceánicos eran el lugar de elevación y expansión del material que forma el fondo oceánico, F.J. Vine de la Universidad de Princeton y D.H. Matthews de la Universidad de Cambridge, propusieron la hipótesis de la creación continua de nuevo suelo oceánico, que puede comprobarse examinando las muestras magnéticas a ambos lados de las cordilleras oceánicas.

PALEONTOLOGIA.

- El historiador griego Heródoto (484 a J.C. - 420 a J.C.) es el primero en mencionar fósiles.

- Los egipcios consideraban que Egipto había estado bajo las aguas marinas y por lo tanto las conchas fósiles tenían un origen marino.

- Aristóteles, Erastótenes (hacia 200 años a J.C.) y Estrabón (66 años a J.C.) conocen los fósiles y habían presentado su origen aunque de una manera vaga y poco precisa.

- Empédocles (450 años a de J.C.) indica la existencia de huesos de hipopótamo procedentes de Sicilia, como restos de un linaje gigantesco extinguido.

1517 - Frascatario es el primero en afirmar que los fósiles realmente vivieron.

- Lister (1638 - 1712) inglés, hizo notar la diversidad de los residuos en varias capas y su compatriota Hooke (1635 - 1703) indicó la oposición existente entre los fósiles hallados en Inglaterra y el clima actual en aquél país.

1668 - Hook defiende la hipótesis de la extinción de las formas fósiles.

1669 - Stenon, célebre anatomista dinamarqués que trabajó en Florencia, demostró la identidad de los dientes de los tiburones vivientes y fósiles. Descubre además la fauna fluvial.

- Buffon (1707 - 1788), rompió con la hipótesis del

Diluvio universal que por largos siglos dominó el pensamiento; atribuyó al mundo una edad mucho mayor que la bíblica.

1686 - Robert Hooke, descubrió los foraminíferos (protozoos rizópodos acuáticos, con seudópodos que se ramifican y juntan para formar extensas redes). Campini (italiano) descubre en el mismo año huesos fósiles de elefante cerca de Viterbo.

1695 - Woodward, inglés, fue el primero que hizo un estudio metódico de los fósiles en Inglaterra, estudió las rocas en que se encuentran, el orden de superposición de éstas. Hizo además una lista de fósiles característicos de cada terreno. Trabajos por el mismo estilo fueron llevados a cabo por Valisneri en Italia y Lehmann en Alemania.

1696 - H.W. Ludlow (ruso), señala el descubrimiento de un mamut en Siberia. Allí mismo se descubre en el año de 1771 un rinoceronte conservando su vellón.

1750 - Soldani emite la primera noción de la fauna profunda del mar, distinguiéndola de la fauna natural y describe los fósiles de agua dulce en la cuenca de París.

1762 - Fuchel, geólogo alemán propone que ciertas capas se caracterizan no sólo por su naturaleza, sino también por los restos orgánicos que ellas contienen.

1790 - Smith funda una excelente clasificación de los terrenos de Inglaterra según sus fósiles.

1795 - Smith. "Cada capa conserva en su seno los elementos petrificados de la raza de los seres organizados que han vivido en épocas pasadas. Por el estudio de los fósiles se pueden distinguir y correlacionar las capas así éstas estén situadas a gran distancia.

1800 - 1812. Jean Baptiste Lamarck (1744-1829) francés, fue el primero que definió la especie como un ente no inmutable, ya que las especies derivan las unas de las otras, y que las formas fósiles son las ancestrales de las que viven actualmente. Lamarck fue también el primero que expuso la doctrina transformista que luego Darwin la confirmó con la teoría de la evolución.

1812 - Cuvier, naturalista francés, considerado como el creador de la paleontología moderna, descubrió una mandíbula en los yesos de París que en virtud del principio de correlación de forma que él había establecido, dedujo que el animal había correspondido a los marsupiales, proporcionando este hecho fehaciente la corroboración de su teoría que causó la admiración del mundo científico. Estableció de este modo una correlación entre la naturaleza zoológica y los animales fósiles.

1818 - Cuvier comprueba que los vertebrados se hallan distribuidos en faunas sucesivas.

1832 - Lyell destruyó la hipótesis, firmemente arraigada por aquella época, de los cataclismos. Su teoría consistió en razonar el cómo todos los fenómenos que transcurrieron sobre la superficie de la tierra en las épocas antiguas, son de la misma naturaleza de los que se realizan en nuestros días. (El presente es la clave del pasado).

1830 - 1840. Alcide D'Orbigny, francés, establece 27 faunas sucesivas de invertebrados. (Fauna: conjunto de animales de una región determinada).

1856 - Descubrimiento del "Hombre de Neanderthal".

1859 - Charles Darwin (1809-1882) inglés, "El origen de las especies".

1860 - Descubrimiento del Archaeopteryx, intermedio entre los reptiles y las aves.

1868 - Descubrimiento del "hombre de Cromagnon".

1871 - Charles Darwin: "La descendencia del Hombre".

1876 - Thomas Henry Huxley establece las series evolutivas del caballo.

1892 - En Java, el médico holandés Eugen Dubois descubre el "Pithecanthropus" (Hombre de Java).

PALEONTOLOGIA HUMANA.

— La evolución del hombre se inició cerca del Lago Rodolfo al norte de Kenia y el suroeste de Etiopía al este del África cerca al Ecuador a lo largo del valle del Gran Risco. Los sedimentos allí acumulados tienen una edad de unos 4 millones de años y corresponden a sedimentos arcillosos intercalados con pizarras y cenizas volcánicas.

1924 - Raymond Dart, australiano, halló en el sur del África en un lugar llamado Taung un cráneo que corresponde al de un niño de aproximadamente 5 a 6 años. Es el primero en su clase. Dart llamó a esta criatura Australopithecus Africanus que significa mono del sur. El primer fósil hominidae (semejante al hombre) conocido (oligopithecus savagei) fue encontrado en el Faiyum, Egipto, tiene una antigüedad de unos 33 m.a.

1932 - En las Colinas Siwalik, India septentrional, fue

descubierto el primer homínido (casi hombre) (*Ramapithecus*). De 8 a 13 m.a.

1936 - Robert Broom, biólogo y paleontólogo escocés, encontró cerca a Johannesburgo y en la región Transvaal, al sur del Africa, esqueletos de simios adultos. Broom pensó que corresponderían a especies separadas a la línea del hombre y les llamó "*Australopithecus Robustus*".

1956 - Louis S. B. Leakey y su esposa Mary encontraron en Olduvai George, Tanzania, el "*Zinjanthropus boisei*" de la familia Hominidae a la cual pertenece el hombre. El método de datación potasio-Argón arrojó una edad de 1.8 millones de años.

1961 - Los Leakeys encontraron en el área de Olduvai un maxilar inferior, algunos cráneos y otros miembros de la especie hominidae más avanzada según cálculos del volumen del cerebro y exámenes detallados de los dientes.

1964 - Un equipo de antropólogos a la cabeza de los Leakeys descubrieron indicios de un hombre más moderno, el "*Homo Sapiens*", su nombre completo es el "*Homo habilis*".

1965 - Se descubrió un *Homo Sapiens* en Vérteszöllös, 48 km. al oeste de Budapest, con antigüedad de 300.000 a 450.000 años.

1974 - Tom Gray y Donald C. Johanson en Hadar, al este de Etiopía, descubrieron el 40% del esqueleto de una mujer de unos 20 años. Este esqueleto fue llamado Lucy y se considera entre los más completos que se han encontrado; está relacionado con el *Australopithecus Africanus*.

1975 - Se descubre en Laetoli, Tanzania, el primer resto fósil del género *Homo* (verdadero hombre) de 8 adultos y 3 niños. Las dataciones dieron una edad de 3.550.000 años.

1976 - Leakey anunció que había descubierto un cráneo al este del Lago Rodolfo que incuestionablemente correspondía al *Homo erectus*. Se dató en 1.5 millones de años.

ANIMALES EXTINGUIDOS

Más largo. El dinosaurio más largo registrado hasta la fecha es el *Diplodocus* que vivió en el oeste de América del Norte hace unos 150 millones de años. Su reconstrucción en el Museo Carnegie de Historia Natural de

Pittsburgh, Pennsylvania, mide 26,6 metros de longitud total —cabeza y cuello, 6,7 m; cuerpo, 4,5 m; cola, 15,4 m— y 3,5 m de altura en la pelvis (el punto más alto del cuerpo).

Más pesados. Los más pesados vertebrados terrestres de todos los tiempos fueron los enormes braquiosaurios del Jurásico Superior, 135-165 m.a. de África Oriental, el Sahara, Portugal y los Estados Unidos sudoccidentales. Un esqueleto completo excavado por una expedición alemana en Tendaguru, Tanzania, entre 1909 y 1911 y actualmente montado en el Humboldt Museum Für Vaturkunde, Berlín este, mide 22,7 m de longitud total, altura de hombro 6,4 m, una altura de la cabeza erguida de 11,8 m. El *Brachiosaurus*, como se le llama, se calcula que pesaba en vida 78,26 toneladas.

En el verano de 1972 se descubrieron los restos de otro enorme braquiosaurio, nuevo para la ciencia, en la cantera Dry Mesa de la meseta Uncompahgre, Colorado occidental, Estados Unidos. A partir de los huesos ya recogidos, entre ellos un juego de omoplatos de 2,43 m de largo, el "Supersauro" como se le ha bautizado, es un 220% mayor que el Braquiosaurio: esto significa una longitud total de unos 27,4 m, una altura de hombro de 7,9 m y una altura de la cabeza erguida de cerca de 15,2 m. El peso de tal animal, basado en el cubo de las dimensiones del fósil, sería de 140 toneladas. En la misma cantera se encontró otro omoplato que media 2,69 m. de longitud.

Mayor depredador terrestre. El mayor de los dinosaurios carnívoros fue probablemente el "*Tyrannosaurus rex*" de 6,75 toneladas que recorrió lo que ahora son los estados de Montana y Wyoming en Estados Unidos, hace unos 75 m.a. Nunca se ha descubierto un esqueleto completo de este dinosaurio, pero un animal de esta especie reconstruido y exhibido en el Museo Americano de Historia Natural, de Nueva York, tiene una altura de 5,5 m, habiéndose calculado que su longitud total era aproximadamente de 12 m.

De menos cerebro. El "reptil plateado", Estegosaurio, que medía hasta 9 m y pesaba 1,75 toneladas, tenía un cerebro del tamaño de una nuez, que sólo pesaba 70 gramos, lo que representa el 0,004% del peso de su cuerpo (compárese con el 0,074% en el caso de un elefante y 1,88 en el caso del hombre). Este animal vivió hace unos 150 m. a en el hemisferio Norte.

Huevos de dinosaurio más grandes. Los huevos de dinosaurio más grandes que se conocen son los del "*Hypselosaurus priscus*", un saurópodo de 12,19 m. de longitud que existió hace 80 millones de años. Algunos ejemplares de estos huevos encontrados en el Valle de Durance, cerca de Aix-en-Provence, Francia, en octubre

de 1961, habrían tenido, estando enteros, una longitud de 300 mm. y un diámetro de 255 mm.

Animal volador más grande. El mayor animal volador es el pterosauro "Quetzalcoatlus northropi" que sobrevoló el actual estado de Texas, E.U. hace unos 65 millones de años. Restos parciales descubiertos en el Parque Nacional Big Bend, Texas occidental, en 1971, indican que este reptil debió tener una envergadura de 11 a 12 metros y un peso de unos 86 Kg.

Reptil marino más grande. El mayor reptil marino jamás registrado fue el "Stetosaurus macromerus", un pliosaurio de cuello corto de las arcillas Kimmeridge de Streatham, Bambridgeshire y Oxfordshire, actualmente en el Museo Universitario de Oxford, tiene una longitud registrada de más de 3 m. y debe haber pertenecido a un reptil que medía por lo menos 14 m. de longitud total. El "Kronosaurus queenslandicus", otro pliosaurio, era de tamaño comparable y un esqueleto completo existente en el Museo de Zoología Comparada de la Universidad de Harvard, Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos; mide 12,8 m. de longitud total.

Cocodrilo más grande. El cocodrilo más grande que se conoce es el "Deinosuchus riograndensis", que vivía en los lagos y pantanos de lo que son ahora los estados de Montana y Texas, E.U. hace unos 75 m.a. Restos fragmentarios descubiertos en el Parque Nacional Big Bend de Texas occidental indican que debían haber medido al menos 16 m. de longitud total. El enorme gavial "Rhamphosuchus", que vivió en lo que hoy es India septentrional hace unos 2 m.a era todavía más largo, alcanzando 18,3 m., pero no tenía una constitución tan pesada.

Quelonio más grande. El mayor quelonio prehistórico fue la tortuga pelomedúsida "Stupendemys geographicus", que vivió hace unos 5 m.a. Restos fósiles descubiertos por una expedición paleontológica de la Universidad de Harvard al norte de Venezuela en 1972 indican que esta tortuga tenía una caparazón que medía 2,18 - 2,30 metros de longitud total. Su peso en vida se calcula en 2.041 Kg.

Mayor tortuga de tierra. La mayor tortuga de tierra prehistórica fue probablemente la "Geochelone" (= Colossochelys atlas) que vivió en lo que ahora es La India septentrional, Birmania, Java, Las Célebes y Timor, hace 2 millones de años. En 1923 se descubrieron cerca de Chandigarh, en las colinas Siwalik, los restos fósiles de un ejemplar cuya concha medía 180 cm. de largo y 89 cm. de altura. Este animal tenía una longitud total de 2,44 m. y se calcula que su peso en vivo era de 852 Kg. Recientemente se han hallado en Florida y Texas, E.U.

los restos fósiles de otras tortugas gigantes de tamaño comparable.

Serpiente más larga. La serpiente prehistórica más larga es una parecida a la pitón, "Gigantophis garstini", que vivió en lo que es ahora Egipto, hace unos 55 m.a. Las partes correspondientes a la columna vertebral y otro trozo pequeño a la mandíbula, descubiertos en El Faiyun, indican una longitud aproximada de 11m. Otra serpiente gigante fósil, la "Madtsoia bai" de Patagonia, Suramérica, media unos 10 m. de longitud.

Anfibio más grande. El mayor anfibio de todos los tiempos fue el "Prionosuchus plummeri", que vivió hace 230 m.a. En 1972 se descubrieron en el Brasil Septentrional los restos fragmentados de un ejemplar que medía en vida unos 9 metros.

Pez más grande. Todavía no se ha descubierto ningún pez prehistórico más grande que las especies vivientes. La pretensión de que el gran tiburón Carcharodon megalodon, que abundaba en las aguas del Mioceno hace 15 m.a. media 24 m. de longitud, dato basado en el tamaño de los dientes fósiles encontrados, se ha demostrado que es errónea. Actualmente se estima que este tiburón no media más de 13,1 metros.

Insecto más grande. El insecto prehistórico más grande fue la libélula "Meganeura Monyi", que vivió hace 280 m.a. Restos fósiles (impresiones de las alas) descubiertos en Commentry, Francia, indican que tenía una envergadura de unos 70 cm.

Más meridional. El animal que vivió más al sur es un anfibio de agua dulce, parecido a la salamandra, el "Lablyrinthodont", del que se encontró, en diciembre de 1967, un trozo de maxilar inferior de 63,5 mm, cerca del Glaciar Beardmore, Antártida, a 523 Km. del Polo Sur. Pertenece al período Jurásico.

Ave más grande. La mayor ave prehistórica fue el "Dromornis stirtoni", una enorme criatura parecida al emú, que vivía en Australia central hace 11 m.a. Los huesos de pata fósiles hallados cerca de Alice Springs en 1974 indican que el ave debió de tener una altura de 3 metros y pesar unos 55 Kg. La moa ("Dnornis maximus") no voladora de Nueva Zelanda era aún más alta, alcanzando un máximo de 3,6 m, pero sólo pesaba 227 Kg.

La mayor ave voladora fue la gigantesca "Argentavis magnificens" que vivió en la Argentina hace unos 6 millones de años. Restos fósiles descubiertos en una excavación 160 Km. al oeste de Buenos Aires en 1979 indican que este gigantesco buitre tenía una envergadura de 7,0-7,6 metros y pesaba unos 120 kg.

Mamífero más grande. El mayor mamífero terrestre registrado es el "Baluchitherium", rinoceronte cuellilargo y sin cuernos que vivió en Asia Occidental y Europa (Yugoeslavia) hace unos 35 m.a. Una restauración existente en el Museo Americano de Historia Natural, Nueva York, mide 5,41 m, hasta lo alto de la joroba y 11,27 metros de longitud total. Este ejemplar debe haber pesado unas 30 toneladas en vivo. Los huesos de este gigantesco hervívoro fueron descubiertos por primera vez en las colinas Bugti del Balukistán oriental, Pakistán, en 1907.

El mayor mamífero marino fue el serpantino "Basilosaurus" ("Zeuglodon"), cetoides, que surcaba las aguas que cubrían lo que ahora son los estados americanos de Arkansas y Alabama hace 50 m.a. Medía unos 21,3 metros de largo.

Mamut más grande. El elefante de variedad extinguida más grande fue el mamut de las estepas "Mammuthus" ("Parelephas") que vivió hace un millón de años en Europa central.

PETROGRAFIA.

A. Aportes a la petrografía con relación al volcanismo.

— En el primer período de la petrografía, esto es, antes de ser considerada como una rama de la geología, es interesante tener en cuenta que Empédocle y Plinio "el Antiguo" hicieron las primeras observaciones de los volcanes: el Etna y el Vesubio respectivamente.

1751.- Guettard fue el primer expedicionario que en Auvernia reconoció el carácter volcánico de la región de Volvic, de Puy-de-Dôme y de Mont-Doré, aunque no estableció una diferencia esencial entre la existencia de este volcanismo y las rocas "negras y pesadas" que desde el siglo XVI Agrícola había descrito con el nombre de "basaltos".

1763.- Desmarests (1725-1815) francés. Distinguió perfectamente las relaciones entre las formaciones basálticas y el volcanismo extinguido de Auvernia, describiendo esto como fenómenos idénticos. Afirma que las rocas basálticas son de origen volcánico (teoría vulcanista o plutonista).

1775.- Abraham Gottlob Werner (1750-1817) Alemán: Teoría neptunista.

1785-1795.- James Hutton (1726-1797), escocés: afirma que el basalto y el granito son de origen interno (origen ígneo); existe un ciclo de las rocas en el que los materiales friables como las arenas y los limos se consoli-

dan por el efecto de la presión y el calor (diagénesis). Posteriormente las rocas consolidadas y las rocas de origen interno son atacadas por la erosión y dan nuevos sedimentos friables, y el ciclo recomienza.

1802.- Leopoldo de Bush, uno de los más aventajados discípulos de Werner, al visitar a Auvernia (región francesa que comprende los departamentos de Cantal, Haut-Loire y Puy-de-Dôme, 25.988 Km²), y después de estudiar el Vesubio, demostró que había una estrecha relación con el plutonismo.

1799-1804.- De Humboldt, discípulo de Werner, estudió los volcanes de América Central dejando consignadas importantes observaciones. Con Leopoldo de Bush, quien estudió los volcanes de Canarias, descubrieron los alineamientos volcánicos y las relaciones de éstos con los pliegues orogénicos.

1776.- Pallas emitió su teoría sobre la formación de las estrellas y el granito. Hutton realizó sus primeras observaciones sobre las rocas eruptivas entre las que reconoció la naturaleza intrusiva del granito, siendo su clasificación muy sencilla puesto que no comprende más que dos grupos: de un lado las rocas de profundidad con estructura granítica formadas por cuarzo, feldespato y mica; por otra parte, las rocas de filones en las que se reconocen los efectos metamórficos y los efectos intrusivos.

1789. James Hall, discípulo de Hutton, intentó reproducir los plegamientos de la corteza terrestre por una presión tangencial sobre las capas comprimidas, al mismo tiempo fundió basaltos y obtuvo productos vítreos. En 1801 dio a conocer un experimento sobre la producción de un mármol por medio de calizas calentadas en un vaso cerrado.

1836.- Leonce Elie De Beaumont (1798-1874), francés: noción de roca eruptiva.

1855.- Saint-Claire Deville, discípulo de Bush, estudió el Vesubio y el Lipari, publicando interesantes estudios químicos.

1856.- Sorby (inglés), es considerado el fundador de la petrografía moderna. Usó el microscopio polarizante al estudio de las láminas delgadas de las rocas que desde 1827 Nicol había imaginado tallar. En este mismo año hizo estudios sobre el mármol y en 1868 sobre el granito y sus inclusiones.

1887.- Harry Rosenbush (1836-1914) alemán: hace la distinción de las rocas eruptivas de derrame (efusivas), de filón (intrusivas) y de profundidad (plutónicas).

1900.- Se dan las primeras clasificaciones según la

composición mineralógica virtual de las rocas. Asimismo se empiezan algunas investigaciones sobre el origen del granito.

B. Aportes a la petrografía con relación a la invención del microscopio.

1654.- Z. Janssen, holandés, inventó el microscopio.

1774.- Leonhard Euler (1707-1783) suizo, imaginó el acromatismo y fue inmediatamente aplicado al microscopio.

1808.- Louis Etienne Malus (1775-1812) francés, descubre la polarización cromática.

1827.- Nicol imagina cortar los minerales en secciones delgadas. En 1828 perfecciona el procedimiento de Malus y construye un sistema de prismas de espato de Islandia, que lleva su nombre y con la ayuda del cual se puede eliminar uno de los dos rayos de la luz polarizada.

1832.- Amici y Chevalier construyen los primeros microscopios acromáticos con aumentos de 500 diámetros.

C. Aportes a la petrografía con relación a las teorías sobre la formación de los magmas.

1825.- Pouillet Scrope es el primero en tratar el estudio de la naturaleza de los magmas y su origen.

1844.- Charles Darwin supone que las rocas provienen de un magma inicial homogéneo, explica su variedad por la separación de cristales al enfriarse éste.

1849.- Dana propone que la diferenciación es una consecuencia de la desigual fusibilidad de los minerales que componen a las rocas, así por ejemplo el feldespato se consolidaría primero por ser menos fusible y la augita después.

1851.- Bunsen dio a conocer su célebre teoría sobre las mezclas, según ésta, todas las rocas eruptivas de Islandia proceden de magmas que resultan de la mezcla en proporción variable de dos magmas extremos independientes, uno ácido y otro básico. Admitía además la influencia de la asimilación del magma de ciertas porciones, las más próximas, de rocas envolventes en la elaboración y conformación de magmas intermedios.

1853.- Sartorius Waltenshausen que acompañó a Bunsen en sus excursiones por Islandia, propuso una teoría opuesta a Bunsen. Supuso que las rocas eruptivas de Islandia proceden de un solo magma inicial en el que se produjo una separación de magmas parciales.

1855.- Carlos Lyell, en su "Manual de Geología" considera la conformación de magmas parciales a expensas de uno inicial homogéneo.

1857.- J.B. Juckles afirma que la diferenciación de un magma inicial en otros de composición diferente, es influida por el punto de fusión de sus componentes. Según él, en un magma que asciende o que se enfriá lentamente cristalizan primero los minerales menos fusibles, los cuales caen en el fondo de la cámara magnética, y los más fusibles, aún líquidos, descansan sobre los menos fusibles.

1870.- Vogelsang considera en su obra "Filosofía de la Geología" las condiciones que presiden el desarrollo de la cristalización en los silicatos fundidos.

1880.- C.E. Duthon, geólogo americano, desarrolla una teoría según la cual la primera costra de la tierra debió ser homogénea y aproximadamente de la composición química de un basalto, pues esta roca es la más importante en todos los períodos geológicos.

1892.- Iddings en su célebre "Memorias" sobre el origen de las rocas ígneas, considera el fenómeno de la diferenciación como función de la temperatura, la presión y la atracción hacia el centro de la tierra (gravedad), quizás también influye la disociación de los componentes en sus iones. Admite que en el magma los óxidos existen independientemente sin combinarse con la sílice.

A. Michel Levy en varias publicaciones (1893, 1897 y 1907) ha tratado del origen, naturaleza y diferenciación de los magmas. Admite la existencia de dos magmas fundamentales, los únicos susceptibles de definición precisa y dotados de individualidad, el ferromagnesiano y el alcalino. En su nota sobre la clasificación de los magmas, después de dedicar mucho espacio a definir los tipos de magmas posibles bajo el punto de vista químico y al modo de representar gráficamente su composición química, estudia las condiciones de diferenciación de los magmas.

1897.- G. F. Becker considera el magma como una mezcla de dos o más líquidos de diferentes puntos de fusión: por enfriamiento de la masa se forman primero, en la roca periférica, cristales de las sustancias más pesadas, por corrientes de convección llegará a esa parte nueva cantidad de esas sustancias, pudiendo llegar por progresivo enfriamiento o por disminución de la presión a una mezcla eutéctica en el centro de la masa, o sea en la parte más caliente.

1899.- F. Loewinson-Lessing reconoce como principal causa de la diferenciación, la fusión y asimilación de grandes masas de rocas próximas al magma. Aplica la ley

de las fases a los silicatos fundidos, estudia la influencia del agua bajo el punto de vista de esta ley, y deduce que si se supone el agua no combinada, su influjo en el proceso de diferenciación será nulo, pues la separación de esta fase única e independiente no destruye el equilibrio del sistema; la influencia del agua es puramente mecánica: disminuir la viscosidad del magma.

1900.- J.H.L. Vogt ha tratado de explicar por fenómenos de diferenciación magmática la formación de filones metalíferos, óxidos y sulfuros.

1901.- D. Doelter dio a conocer una serie de investigaciones de gran importancia. Determinó el punto de fusión de un gran número de minerales y rocas. Según él, la solubilidad de los minerales en el magma depende: 1) de la presión, 2) de la composición química del magma, 3) de su temperatura, 4) de la fusibilidad del mineral, y 5) de su dureza.

1911.- Loewinson-Lessing propone una teoría petrográfica. Propone que la composición media de la corteza terrestre representa la composición de una mezcla del magma granítico (ácido) y del gábrico (básico) en partes iguales. Las rocas eruptivas se deben considerar como productos de diferenciación de dos magmas primitivos: el granítico y el gábrico. La diferenciación es doble: 1) por cristalización, es decir, separación de los cristales ya formados según su peso específico, y 2) diferenciación en la sustancia fluida que se manifiesta por la tendencia de toda fusión compleja a formar magmas monominerales o eutéticos.

De todas las teorías emitidas para explicar la diferenciación magmática, sólo dos cuentan hoy con numerosos partidarios: una la de la diferenciación por procesos fisicoquímicos, tal como fué explicada por Rosenbush y Brögger, y la otra, la formación de magmas especiales a expensas de dos magmas primitivos por la acción de agentes, fluidos y la asimilación de rocas inmediatas al magma. La primera es aceptada por la mayoría de los petrógrafos del mundo, excepto los franceses, que siguen la segunda, la de Michel Levy. Los petrógrafos americanos parecen que se inclinan por la primera, pero admitiendo la asimilación para explicar algunos casos particulares.

D. Estudios petrográficos diversos.

1909.- A. Harker: la historia natural de las rocas ígneas.

1917.- A. Daly: el metamorfismo y sus fases.

1928.- N.L. Bowen: la evolución de las rocas ígneas.

1933.- R.A. Daly: las rocas ígneas y la profundidad de la tierra.

1937.- V.M. Goldschmidt: los principios de distribución de elementos químicos en minerales y rocas.

1939.- G. Wilson: sobre la granitización y los procesos relacionados.

1948.- F.J. Turner: La evolución mineralógica y estructural de las rocas metamórficas.

1953.- S.R. Nockolds y R. Allen: la geoquímica de algunas rocas ígneas.

Han sobresalido dentro del marco de la petrografía (y/o petrología) moderna hombres como:

Billings M.P., Barrow, G. A. Holmes, W.N. Benson, H.H. Thomas, J. Verhoogen, E.S. Larsen, P. W. Bridgan, A. R. Alderman, P. Niggli, Grubenmann, U., T.F.W. Barth, W. C. Brögger, D.S. Coobs, R.N. Brothers, Becke, F., C. M. Gilbert, Fyfe, W.S. y otros tantos cuya lista se haría demasiado extensa.

SISMOLOGIA.

A. La sismología en la antigüedad: hipótesis mitológicas.

Los pueblos de civilización primitiva atribuían las sacudidas o convulsiones de la tierra a la ira de los dioses como castigo al hombre infiel o no cumplidor de los preceptos; otras veces a terribles monstruos el cual soportaba sobre su lomo las capas corticales, de tal modo que cuando éste sacudía su piel hacía vibrar el suelo.

B. Teorías de los filósofos clásicos.

Los filósofos griegos y romanos promulgaron curiosas teorías, algunas muy razonables, con arreglo al conocimiento que en aquellos tiempos se tenía de la configuración de nuestro planeta. Algunas teorías Aristotélicas prevalecieron durante la edad media, subsistiendo en el curso del siglo XIX con modificaciones poco importantes. Se dieron diferentes corrientes de hipótesis en las que se consideraban la acción del agua, el fuego y el aire como generadores de los terremotos.

El agua. Thales de Mileto estima que el globo terrestre flota como una nave sobre una masa de agua; enfatiza esta afirmación en la aparición de nuevos manantiales después de las sacudidas sísmicas. Otros sostienen que las

profundidades de la tierra son recorridas por ríos que se desbordan frecuentemente desquiciando los soportes de la corteza.

El aire. Según la concepción Aristotélica, el aire procura subir siempre, necesitando una salida que se obtiene sacudiendo violentamente la tierra. El gran pensador griego explica el origen de los temblores de tierra por la constante evaporación de la humedad natural del suelo hacia la atmósfera, gracias a la acción de sol, y hacia el interior de la tierra, gracias a la acción de los fuegos subterráneos; este proceso determina la creación de un potente soplo de viento que se esparce por las venas de la tierra provocando los temblores de tierra.

El fuego. Algunos pensadores griegos atribuían los temblores de tierra a las tormentas provocadas por el choque de masas de aire caliente y condensado, mientras que otros suponían que la tierra, viejo edificio que el fuego mina hasta sus más hondos cimientos, se desmorona en pedazos.

Plinio "El Viejo", víctima de la erupción del Vesubio del año 79, reproduce las ideas de Aristóteles, admitiendo influencias climáticas de los movimientos sísmicos, dejando a las investigaciones posteriores el motivo de los cambios topográficos y de las formaciones de islas a consecuencia de los mismos. Tito Lucrecio Caro (95-55 a. de J.C) en su poema "De rerum natura", establece una notable clasificación de los sismos en cuatro grupos: los dos primeros grupos comprenden los sismos originados por el desprendimiento de masas o bloques pétreos en las cavidades internas de la tierra o por resbalamientos de terrenos en las montañas y valles, efectos de la erosión externa. Demócrito de Chios (siglo V a. de J.C) supone que unas partes de la corteza terrestre sufren descensos con el transcurso de los tiempos, mientras que otras se elevan restableciendo el equilibrio. Como se aprecia, estas ideas envuelven ya rudimentariamente el concepto de las modernas hipótesis geológicas que admiten la existencia de bloques o compartimientos que descansan sobre un material viscoso (el manto), con arreglo a lo que exigen las leyes físicas del equilibrio hidrostático. Por este motivo he considerado la importancia de mencionar dichas ideas para resaltar brevemente las primeras apreciaciones de algunos fenómenos naturales que han inquietado a los hombres de todas las épocas, así hayan sido éstas explicadas de una manera vaga en un principio como es de esperarse.

C. La sismología en la Edad Moderna.

En la edad moderna aparecen nuevas teorías, considerándose la sismología como una rama de la meteorología

hasta el último tercio del siglo XIX en que la teoría tectónica, apoyada por las observaciones sismométricas y geofísicas, adquiere tal interés, que abre un nuevo derrotero a la sismología al punto que se constituye como una ciencia independiente. No obstante lo anterior, subsistieron algunas creencias bastante arraigadas durante esta época que consideraban como indicadores de próximos terremotos las manchas solares, los enjambres de estrellas fugaces, las perturbaciones magnéticas, los ciclones y los cometas.

1835.- Jean Baptiste Boussingault (1802 -1887) francés. Después de sus exploraciones por Los Andes —recorrió Venezuela, Colombia y Ecuador donde realizó la ascensión al Chimborazo, efectuando observaciones científicas— proclamó la independencia entre los fenómenos volcánicos y sísmicos, al menos en esta región del mundo, según sus consideraciones: 60 años después, se demostró que existen relaciones entre ambos fenómenos.

1843.- Perrey organiza un servicio de información sísmica, logrando reunir un gran número de datos para la redacción de Catálogos que contribuyeron al estudio de la distribución de la energía sísmica en el globo, y deducir, en cierto modo, la correspondencia existente entre los accidentes geológicos y la sismicidad regional. Estos catálogos fueron posteriormente de gran utilidad a Suess para sus trascendentales doctrinas tectónicas.

1844.- Alexander Von Humboldt (1769-1859) Alemán, autor de una obra monumental en 30 volúmenes, "Viaje a las regiones equinocciales del Nuevo Continente, hecho entre 1799 y 1804"; a raíz de un estudio del vulcanismo, hizo notar que las sacudidas débiles son las que acompañan a las erupciones, mientras que las intensas suelen ocurrir en regiones bastante distantes de las volcánicas, sacando la conclusión de que los volcanes funcionan como válvulas de seguridad al permitir el escape de gases, disminuyendo de este modo la presión interior. Por lo tanto las trepitaciones del suelo tienen que ser ligeras, cosa que no debe suceder en otras regiones del globo desprovistas de cráteres reguladores.

D. La teoría neptuniana en el siglo XIX.

Esta teoría se fundamenta en la suposición de que las zonas sísmicas suelen estar enclavadas en las proximidades de las costas, suponiendo que las infiltraciones del agua del mar, al llegar a cierta profundidad y ponerse en contacto con el magma interno, debían producir rápidas evaporaciones que comoviesen la corteza terrestre.

Se comprende fácilmente que esta hipótesis carece de valor científico, puesto que, aun en las zonas litorales de gran sismicidad, los focos sísmicos pueden encontrarse a

varios centenares de kilómetros de la costa, distancia más que suficiente para poder asegurar la independencia entre la actividad sísmica y la influencia de las filtraciones marinas. Las aguas de filtración, procedentes o no del mar, tienden a descender por las hendiduras y fracturas de las rocas, pero no pueden alcanzar el nivel en que la temperatura interna es suficiente para vaporizarlas, por lo que resulta imposible hacerlas poner en contacto con el hipotético núcleo interno fluido o magma para encontrar la temperatura elevada que les aplique bruscamente las propiedades explosivas necesarias para la producción de los terremotos como lo consideraban las teorías explosivas (llamadas también volcánicas).

1857.- Mallet, ingeniero inglés que se distinguió durante la guerra de Crimea (1853-1856) como fabricante de armamentos en Dublín, fué el primero que estudió los sismos con un fundamento científico. En sus interesantes estudios estableció una serie de denominaciones fundamentales que hoy son universalmente aceptadas. Supone que la energía sísmica irradia de un punto al que denomina hipocentro, y a su proyección normal en la superficie, epicentro. Sus estudios hacen progresar la sismología en el campo científico derribando al tiempo un prolífico número de absurdas ideas que paralizaron durante mucho tiempo su desarrollo, pues carecían de fundamentos científicos.

1872.- V. Seebach, alemán. Fue el continuador de la obra de Mallet, de sus observaciones dedujo que el movimiento sísmico se propaga en todas direcciones y con igual velocidad: por tanto, las intersecciones de las ondas esféricas con la superficie del suelo serán círculos teóricos, que sufrirán las deformaciones consiguientes con las irregularidades del relieve.

E. La teoría tectónica de Suess.

En 1872 aparece en el campo de la ciencia geológica el profesor austriaco E. Suess, el cual, después de haber estudiado los sismos de Austria, Italia, Alpes, Hungría, Croacia (Yugoslavia), etc., estableció una nueva teoría la cual supone que el foco sísmico no es precisamente un punto como lo había pretendido Mallet. Deja por asentado la relación entre los fenómenos sísmicos y los orogénicos; señala además que la sismicidad de cada región es el síntoma que revela el proceso de los movimientos de los bloques corticales que son impulsados por fuerzas endógenas, nacidas de la tendencia constante de la corteza terrestre al perfecto amoldamiento.

La teoría tectónica de Suess promulga que en cada comarca, los epicentros de sucesivas sacudidas están localizados siguiendo determinados alineamientos, que a veces coinciden con los accidentes geográficos tales co-

mo valles, ríos, etc. Establece la clasificación de los mismos en volcánicos y de dislocación; los primeros son originados por las reacciones del magma en el proceso eruptivo y los segundos por los movimientos relativos de los bloques a lo largo de una falla.

La aparición de las doctrinas tectónicas señala una nueva era en la historia de la sismología, iniciándose el camino que la ha de conducir en seguida a la autonomía apoyada por los perfeccionamientos de los modernos instrumentos de registro sísmico.

1873.- De Rossi condensa en su "Bulletino del Vulcanismo Italiano" (1873-90), las observaciones de las estaciones sismológicas cuyas estaciones estaban repartidas por toda Italia.

1879.- Se establece en el Japón la "Seismological Society of Japan" que con el concurso de japoneses reúnen las observaciones de un gran número de estaciones sismológicas.

1889.- Von Rebeur Paschwitz descubre que las ondas sísmicas repercuten en el mundo entero (de acuerdo a la intensidad del movimiento telúrico) y pueden ser registradas en todas partes por los sismógrafos más sensibles. En 1895 propone por tal motivo al Congreso Geográfico de Londres la creación de una Asociación Sismológica Internacional destinada a estudiar un fenómeno mundial por medio de las observaciones universales. Se conforma así la "Association Séismologique Internationale" a la cual se han afiliado numerosos países después de las conferencias preliminares de Estrasburgo en 1901 y 1903.

1892.- A.F. Nougués, geólogo español, pronuncia en Santiago de Chile una interesante conferencia en la cual hace notar que en las regiones afectadas por numerosos accidentes tectónicos, siempre aparecen los sismos relacionados con sistemas de fallas.

1897.- R. D. Oldham, inglés, identificó en los sismogramas 3 tipos principales de ondas sísmicas: 1) Ondas primarias (P), son de compresión y expansión, es decir, análogas a las del sonido; 2) Ondas secundarias (S) que vibran en ángulo recto a la dirección de propagación, tal como la luz y 3) Ondas superficiales, limitadas a los últimos 30 Km. o menos de la superficie terrestre. Las ondas P viajan a través de las zonas sólidas y líquidas de la tierra; las ondas S solamente lo hacen a través de las zonas sólidas.

Primeros años del siglo XX.- Montessus de Ballore, director del Servicio Sismológico de Chile, aceptando las teorías de Suess, deduce algunas relaciones del plegamiento de cada región del globo con el grado de sismicidad.

dad. Recopiló unos 200.000 datos de sismos con focos definidos cuya localización geográfica precisa, lo ha llevado a descubrir alineamientos que identifican líneas de fractura importantes de la corteza terrestre y sitios precisos de frecuente sismicidad.

F. Estudios sísmico-geológicos.

Entre los modernos trabajos del profesor norteamericano W. Herbert Hobbs, sobresalen los dedicados a las causas de los sismos. Supone que la tierra está constituida por capas concéntricas dispuestas en orden de sus densidades y estados de compresión, por tal causa los agrietamientos y porosidad de la masa rocosa disminuirán gradualmente hasta desaparecer y pasar luego gradualmente al estado viscoso. Se pueden demarcar por lo tanto tres zonas generales: zona de fractura, la más superficial; zona intermedia y zona magnética. Los sismos tienen lugar en la primera, en donde las diaclasas se cruzan aproximadamente en sentidos perpendiculares, análogamente a la estructura que resulta de un bloque cristalino sometido a cierta compresión. De dicha disposición resulta que, por la tendencia a un acomodamiento de la corteza fracturada al menor volumen del núcleo, se verificarán desarreglos en los bloques o prismas de aquélla, resbalando unos con otros y produciendo de este modo los movimientos vibratorios conocidos.

1906.- R. D. Oldham. Demuestra que la tierra tiene un gran núcleo central.

1909.- Andrija Mohorovicic, sismólogo yugoslavo, descubrió una discontinuidad a unos 32 Km. debajo de la superficie terrestre al estudiar un sismograma de un terremoto ocurrido en los Balcanes. La zona comprendida entre la discontinuidad de Mohorovicic y la superficie se denomina corteza. Esta tiene un espesor promedio de 5 Km. bajo el suelo oceánico y unos 32-35 Km. en los continentes. La discontinuidad de Moho, como también se le ha denominado, indica un cambio ya de composición química o de estructura cristalina que se manifiesta por un aumento en la velocidad de las ondas sísmicas de unos 7 Km./seg. a 8 Km./seg.

1914.- Beno Gutenberg, alemán, localizó el límite del núcleo a 2.986 Km. bajo la superficie terrestre.

1926.- El sismólogo Beno Gutenberg sugirió que las ondas sísmicas poseían una velocidad menor cuando viajaban a través de una zona situada aproximadamente entre 100 y 200 Km. bajo la superficie. El atribuía este efecto a una disminución de la rigidez del material de la zona en comparación con el que le rodea.

1936.- La señorita I. Lehmann de Dinamarca, descu-

brió que el núcleo no es uniforme, sino que está formado por dos capas diferentes. Su descubrimiento resultó confirmado por investigaciones posteriores llevadas a cabo por Gutenberg, Richter y Jeffreys. El núcleo interno tiene un radio de 1.370 Km., mientras que el espesor del núcleo externo es de 2.100 Km.

1941.- W. Kuhn y A. Rittmann de Alemania, propusieron la idea revolucionaria de que el núcleo está formado por hidrógeno líquido en contraposición a la idea ampliamente aceptada de que éste está formado por hierro o feroníquel.

— Hugo Benioff, del Instituto Tecnológico de California, al estudiar un gran número de terremotos en el cinturón Circumpacífico, relacionó ciertos terremotos con una gran falla. De los terremotos ocurridos en América del Sur entre 1906 y 1942 dedujo que delineaban una enorme fractura no lejos de la costa oeste del continente. Esta fractura tiene una longitud de 4.500 Km. y unos 600 Km. de profundidad —la décima parte de la distancia al centro de la tierra—. Los terremotos relacionados con la falla pertenecen a uno de los siguientes grupos: 1) Someros, producidos a profundidades inferiores a los 70 Km.; 2) Medios, originados a profundidades que oscilan entre 70 y 250-300 Km. y 3) profundos, originados entre 300 y 600 Km.

Cuando se trazan los focos de los terremotos en tres dimensiones, los generados a profundidades de unos 250 Km., aparecen localizados en un plano de 900 Km. de ancho y buzando 33° hacia el continente, mientras que aquellos denominados profundos se encuentran en un plano cuya inclinación es de unos 60°.

G. Algunos datos y valores extremos relacionados con sismos y volcanes.

1. Sismos.

— Más intenso. El terremoto más activo registrado instrumentalmente ha sido el cataclismo de Lebu al sur de Concepción, Chile, el 22 de mayo de 1960, la energía liberada se estima en 10^{26} ergios. La magnitud de este sismo en la escala Gutenberg-Richter equivale a 8,3.

Observación. Una limitación inherente en la ampliamente usada escala de Richter (publicada en 1954) impide su utilidad cuando se aplica a las intensidades relativas de los terremotos más fuertes registrados. Su uso de magnitudes de ondas superficiales, basadas en amplitudes de ondas de período 20 segundos, se traduce en la amortiguación de cualquier aumento de amplitud cuando las roturas de fallas se producen a una longitud muy superior a 60 Km. Pero éstas pueden alcanzar longitudes

de 800 a 1000 Km. o más. Esta "sobrecarga" o "efecto de saturación" ha conducido a la adopción desde 1977 de la escala Kanamori para comparar los terremotos más importantes. En ella las magnitudes se definen en términos de liberación de energía usando el concepto de momento sísmico ideado por K-Aki en 1966.

—Hipocentros más profundos. Los hipocentros registrados a mayor profundidad son de 720 Km. en Indonesia, en 1933, 1934 y 1943.

Mayor número de víctimas. El terremoto que ha causado el mayor número de víctimas ocurrió en la provincia de Shensi, China, en 1556 el 2 de febrero en donde se calcula que murieron unas 830.000 personas.

El mayor número de víctimas en los tiempos modernos ocasionado por un sismo ocurrió en Tangshan, este de la China, el 28 de julio de 1976. Una primera cifra publicada el 4 de enero de 1977 revelaba 655.237 muertos, pero luego se ajustó a 750.000. El 22 de noviembre de 1979, la agencia de noticias Nueva China redujo el número de víctimas a 242.000.

2. Volcanes.

Mayor erupción. El volumen total de materia volcánica arrojada por el Tambora, un volcán de la isla Sumbawa, Indonesia, se ha calculado en 151,7 Km³ cuando hizo erupción el 5 de abril de 1815. La energía generada por esta erupción redujo la altura de la isla 1.250 metros, pasando de 4.100 a 2.850 metros. La energía liberada fue de $8,4 \times 10^{26}$ ergios; se abrió un cráter de 11 Km. de diámetro.

Corriente de lava más larga. La corriente de lava más larga de que se tenga noticia es la ocasionada por la erupción en 1783 del volcán Laki localizado al sureste de Islandia, que recorrió 65-70 Km. La corriente prehistórica más grande que se conoce es la basáltica de Roza en América del Norte, de hace unos 15 millones de años. Su longitud de 480 Km. abarca una superficie de 40.000 Km² y un volumen de 1.250 Km³.

Mayor explosión. La mayor explosión después de la de Santorini, acaecida en el mar Egeo alrededor de 1470 a.C. fue la ocasionada con la erupción del Krakatoa el 27 de agosto de 1883, localizado en el estrecho de Sonda, entre Java y Sumatra (Indonesia). Fueron arrasados un total de 163 pueblos y murieron 36.380 personas. Algunas rocas lanzadas por el volcán ascendieron hasta 55 Km. y cayeron cenizas volcánicas 10 días después de la erupción a una distancia de 5.330 Km. La explosión fue oída 4 horas después en la isla Rodríguez, a 4.776 Km. de distancia. Se ha calculado que esta explosión fue de una intensidad 26 veces mayor que la de la bomba H más potente que se ha detonado hasta ahora.

Volcán extinto más elevado. Es el Monte Aconcagua (6.959 m.). Se escaló por primera vez el 14 de enero de 1897 por Mathías Zurbriggen y fue la cumbre más alta escalada por el hombre hasta el 12 de junio de 1907.

Volcán inactivo más elevado. Es el Llullaillaco (6.723 m.), situado entre Chile y Argentina.

Volcán activo más elevado. Es el Antofalla (6.450 m.), localizado en Argentina. También se destaca el Guallatiri (6.060 m.) de Chile, que hizo erupción en 1959.

Volcán activo más grande del mundo. Es el Mauna Loa (4.168 m.) localizado en Hawaii, E.U., que entró en erupción en 1975 y en abril de 1984.

Más septentrional y más meridional. El volcán más septentrional de la tierra es el Beeren Berg (2.276 m.) en la isla de Jan Mayen (71° 05' N), en el mar de Groenlandia. Entró en erupción el 20 de septiembre de 1970 y los 39 habitantes de la isla tuvieron que ser evacuados.

El volcán activo más meridional de la tierra es el monte Erebo (3.795 m.), en la isla de Ross (77° 35' S), Antártida.

Mayor cráter. La mayor caldera o cráter del mundo es el del volcán situado en Toba, norte de Sumatra central, Indonesia, cuya superficie es de 1.775 Km².

GEOCRONOLOGIA, ESTRATIGRAFIA, MEDICIONES DIVERSAS.

1664.- Athanasius Kircher (1601-1680) Jesuita alemán: "La temperatura crece a medida que se penetra en el interior de la tierra".

1687.- Newton (1642-1727) inglés; calcula el achatamiento del globo terrestre. El diámetro polar de la tierra es de 12.713,505 Kms. y es 42,769 Kms. menor que el diámetro del Ecuador (12.756,274 Kms.).

1739.- Piccoli: mapa de los yacimientos fosilíferos de Italia.

1746.- León Etienne Guettard (1715-1786), francés: Memorias y mapa mineralógico sobre la naturaleza y situación de los terrenos que atraviesan Francia y Gran Bretaña. Reconocimiento de la cuenca de París.

1780.- Romé De L'isle y su colaborador Carangeot miden los ángulos de las caras de numerosos cristales con la ayuda de un compás de abertura variable y confirman así la primera ley fundamental de la cristalografía.

1783.- Pignaro define una escala de intensidad de los sismos.

1795.- Se publica "Theory of the earth" de James Hutton.

1809.- William Hyde Wollaston (1766-1828), británico, inventa el goniómetro de reflexión para medir los ángulos de las caras de los cristales.

1814.- Giovanni Battista Brocchi (1772-1826), italiano; hace las primeras estadísticas paleontológicas.

1815.- William Smith (1769-1839), inglés; construye el primer mapa geológico de Inglaterra.

1820.- Friedrich Mohos (1773-1839), alemán; establece una escala de dureza para la comparación de minerales.

1822.- Definición del Cretáceo.

1825.- Sir Charles Lyell (1797-1875), escocés; noción de roca metamórfica.

1829.- Desnoyres, francés; define el Cuaternario.

1833.- Lyell evalúa la duración del Terciario en 80 millones de años (65 millones de años según se considera hoy), y el principio del Cámbrico en 240 m.a (las mediciones modernas asignan el comienzo del Cámbrico en 570 m.a). Lyell establece el principio del Uniformismo.

1834.- Definición del Triásico.

1835.- Sir Roderick Murchison, escocés, define el Cámbrico y el Silúrico.

1839.- Murchison define el Devónico.

1841.- Logan, norteamericano, define el Precámbrico. El inglés Phillipps propone reemplazar los términos primario, secundario y terciario por Paleozóico, Mesozóico y Cenozoíco respectivamente.

1842.- Definición del Numulítico. (Numulítico: término equivalente a Paleógeno; también recibe esta denominación porque los nummulites sólo vivieron en este período de tiempo, particularmente en el Eoceno y Oligoceno). El Numulítico o Paleógeno se divide en Paleo-

ceno (65-54 m.a), Eoceno (54-38 m.a) y Oligoceno (38-26 m.a).

1849.- Alcide D'Orbigny presenta sintéticamente los pisos geológicos para la serie de subdivisiones de las épocas geológicas.

1856.- Sugiere el estudio de secciones delgadas de las rocas en el microscopio de polarización.

1861.- Jules Marcou, francés, construye el primer mapa geológico de la tierra.

1875.- Croll atribuye un millón de años al Cuaternario (mediciones modernas señalan 2,5 m.a).

1879.- Sir James Alfred Ewing, británico, construye el primer registrador de sismos.

1890.- Gabriel Lippman (1845-1921), físico francés, inventa el sismógrafo moderno. Premio nobel de Física en 1908.

1893.- H. S. Williams: introduce la palabra "geocronología".

1902.- Pierre Curie (1859-1906) físico francés, descubrió junto con su esposa Marie el radio, sugiere utilizar la radiactividad para medir la edad de las capas geológicas. Recibió el premio nobel de física en 1903.

1910.- Gerhardt de Geer (1858-1943), sueco, propone el método de las barbas glaciares para fines geocronológicos.

1914.- Willard Libby desarrolla el sistema C¹⁴ para datar objetos que poseen residuos orgánicos.

1920.- Primeras mediciones radiocronológicas. (Método K-Ar, Rb-Sr).

1925.- Desarrollo de la tefrocronología (datación de las capas por las intercalaciones de cenizas volcánicas). Las tefritas son rocas volcánicas básicas ricas en feldespatoídes (nefelia, leucita y analcima).

1930.- Nace la sedimentología.

1935.- Krumbein. W.C. "Los caracteres mensurables de las rocas sedimentarias obedecen, por lo general, a las leyes logarítmicas".

1937.- Arthur Holmes, inglés, establece la primera escala de cronología absoluta.

1947.- Holmes: nueva escala cronológica (principio del Cámbrico: 510 millones de años).

1959.- Holmes: nueva escala cronológica (principio del Cámbrico: 600 ± 20 millones de años).

GEOLOGIA GENERAL.

1821.- Venetz y Agassiz (suizos) muestran que los glaciares han desplazado los bloques erráticos de los Alpes.

1855.- Pratt y Airy: "Principio de isostacia".

1857.- Virlet D'Aoust, francés, estudia la acción geológica del viento.

1872-1876.- Muray (1841-1914), inglés: estudio de los depósitos oceánicos.

1877.- Karl Grove Gilbert (1843-1918), norteamericano, vulcanólogo, es el primero en describir los lacolitos.

1889-1924.- Frank Wigglesworth Clarke y H. S. Washington (norteamericanos): Análisis de las rocas en porcentajes (= clarks) de los principales elementos de la naturaleza.

1909.- Andrija Mohorovicic (1857-1936). Pone en evidencia la discontinuidad que separa la corteza terrestre del manto.

1913.- Gutenberg (norteamericano de origen alemán), descubre la discontinuidad entre el manto y el núcleo.

1937.- Goldschmidt, crea el método de los porcentajes rectificados según el análisis espectrográfico de las rocas.

1945.- Primeras mediciones de la energía generadas durante los sismos.

1951.- El barco inglés de reconocimiento "Challenger" señala el lugar más profundo del océano ubicado en la

fosa de Las Marianas, Océano Pacífico. La profundidad fue medida por sondeo y por radar y resultó ser de 10.900 metros. Posteriormente visitas (1959-1980) al sitio señalado indicaron cifras correspondientes a una profundidad algo mayor, 10.910 metros, éstas fueron publicadas por el Departamento de Cartografía de Defensa de los Estados Unidos en el año de 1983. Si un objeto metálico, por ejemplo una bola de acero, se arroja al mar en el sitio mencionado, ésta tardaría aproximadamente 64 minutos en llegar al lecho del mar, en donde la presión hidrostática se estima en 1.250 varas.

1953.- Es descubierta entre Samoa y Nueva Zelanda, cerca de la fosa de Tonga, la montaña submarina más alta del mundo. Esta se eleva 8.690 metros sobre el lecho oceánico y su cumbre está a 305 metros por debajo de la superficie marina.

1975.- El 26 de enero de este año la Geological Survey de Estados Unidos publica los resultados correspondientes a la datación de un gneis granítico cuyos afloramientos están localizados cerca de Granite Falls en el valle del río Minnesota, E.U., con los métodos del isótopo de plomo y del Rubidio - Urano. Los resultados arrojados fueron de 3.800 ± 100 millones de años, lo cual indica la roca más antigua de la tierra. En Amitsoq de Godthaab, Groenlandia, un gneis fue datado en 3.700-3.750 millones de años. La edad de la tierra se considera generalmente de unos 4.600 ± 100 millones de años, por analogía con edades medidas directamente de meteoritos y de la luna. Sin embargo, ninguna roca tan antigua se ha encontrado ya que los cambios geológicos las han destruido.

BIBLIOGRAFIA

Albritton, Claude. Filosofía de la Geología, 1a. Edición, Comp. Editorial Continental, México 1970. 438 p.

Bachelard, Gastón. La Formación del Espíritu Científico. 8a. ed. México, S XXI. 1979, 301 p.

Encyclopedie Universal Ilustrada Europeo-Americana. Espasa-Calpe S.A. Madrid-Barcelona. 1967.