ACTUALIDADES GEOLOGICAS Y GEOFISICAS, II

MANUEL MALDONADO-KOERDELL *

3.—RECIENTES CONTRIBUCIONES FRANCESAS SOBRE VOLCANES. Por igual interesante a geógrafos, geólogos y geofísicos, por su espectacularidad y significación en la historia de la Tierra, es el tema de los volcanes tratado por largos siglos desde todos los puntos de vista. Recuérdese la descripción que Plinio el Joven, naturalista romano, hizo de la erupción del Vesubio en el año 79 A. D., que costó la vida a millares de seres y sepultó para siempre a las ciudades de Pompeya y Herculano. Durante siglos fueron acumulándose observaciones sobre la actividad volcánica en el mundo entonces conocido y al descubrirse el Continente Americano, se agregó una inmensa extensión de tierra cuya orilla occidental puede considerarse sometida a sus efectos, desde Alaska hasta la Tierra de Fuego.

Aunque se deben a Alejandro de Humboldt las primeras nociones de verdadero valor científico sobre los innumerables aparatos volcánicos que tuvo oportunidad de estudiar de Venezuela al Perú, en la América del Sur y en México, en la América del Nore, otras observaciones de exploradores y navegantes ya cubrían gran cantidad de páginas en relaciones, crónicas y variados documentos hasta la llegada del sabio alemán al Nuevo Mundo. A su golpe de vista genial, Humboldt agregaba un detallado conocimiento de las rocas ígneas y fundamentalmente su propia filosofía "plutoniana", que había adquirido en las aulas de la Academia de Minas de Freyberg con su maestro Abraham Gottlob Werner, luego cambiada en el curso de su vida (la de Humboldt) por una actitud "neptuniana" no tan opuesta, como se cree, sino complementaria de la anterior.

En las altas cumbres de los Andes, así como en los picos mexicanos y muy especialmente durante su visita al Volcán del Jorullo, en el Estado

* Secretario del Comité Panamericano de Ciencias Geofísicas y de la Unión Geofísica Mexicana y Editor de *Geofísica Internacional*.

de Michoacán (México), apenas nacido en 1759, Humboldt echó las bases (como en tantos otros campos científicos) de la Vulcanología. Además, subiendo de las llanuras costeras a las mesetas, a varios miles de metros sobre el nivel del mar, en los países que visitó entre 1799 y 1804 y bajando nuevamente a las playas para embarcarse en los puertos de salida y seguir su viaje, pudo estudiar los abundantes derrames de lava y otros materiales volcánicos en sus características de posición, distribución en el tiempo y en el espacio y textura que le llevaron a postular nuevos principios en sus numerosas obras descriptivas. Leyendo las *Vues des Cordillères* (París, 1816), el *Essai sur le Gisement des Roches dans les Deux Hemisphères* (París, 1823) y los *Kleinere Schriften* (Tomo I, Berlín, 1840) de Humboldt pueden apreciarse la amplitud y variedad de sus observaciones, la precisión en su descripción de aquellos materiales y otros muchos aspectos de las cuestiones vulcanológicas en tierras americanas.

A lo largo del Siglo XIX acumuláronse nuevos datos sobre los volcanes del Nuevo Mundo y conforme mejoraban las comunicaciones, comenzaron a estudiarse la verdadera naturaleza y los sincronismos de su actividad, así como las posibles causas de sus erupciones y a escribirse nuevas contribuciones sobre importantes episodios volcánicos, por ejemplo, la erupción del Volcán Cosigüina, en el Golfo de Fonseca (América Central) en 1835, las sucesivas fases de actividad del Volcán de Colima, en México y la tremenda explosión de la Montagne Pelée, en la Isla de la Martinica (Antillas Menores), en 1902. En su obra *Das Antlitz der Erde* (Viena, 1888),¹ el famoso geólogo austriaco E. Suess sintetizó los conocimientos que hasta entonces se tenían sobre las rocas ígneas y postuló, por primera vez, una hipótesis acerca de sus relaciones con el "manto superior" o sea la capa inmediatamente subyacente a la corteza terrestre.

En realidad, Suess fue el primero en intentar una explicación de gran visión de la estructura de la Tierra, especialmente de la composición de sus diversas capas desde la superficie hasta la parte central, con base en lo que se sabía entonces acerca de los minerales y rocas encontradas a diversos niveles. Se le deben las definiciones de "SIAL" y de "SIMA", palabras que eran las siglas de los símbolos químicos de los minerales que creía que existían con más abundancia, por debajo de los continentes en el primer caso y en toda la corteza terrestre en el segundo caso, es decir: sílice (Si), aluminio (Al) y magnesio (Ma). También pensaba que las grandes masas

¹ *La Faz de la Tierra*, en la traducción española de 1905.

de carácter continental, de menor densidad y volumen quedaban "flotando" a la manera de los bloques de hielo en los mares polares sobre el material más denso (aunque flúido) de la porción cortical, lo cual ya era explicación más racional de muchos hechos relativos al exterior de nuestro planeta.

Por otra parte, en el "SIAL" de Suess tenían lugar eventos relacionados con las actividades del "SIMA", entre otros la penetración y el emplazamiento de los materiales intrusivos desde las partes profundas y en ciertas condiciones, la salida a la superficie de las rocas extrusivas. Era también una explicación racional de los fenómenos ígneos, cuya dinámica no quedaba clara con la simple descripción que proporcionaban otros geólogos, petrógrafos y mineralogistas hasta esa época, apoyados simplemente en los análisis físicos y químicos de los materiales terrestres. Puede decirse que Suess contribuyó en notable grado al progreso del conocimiento de la estructura de la Tierra en sus aspectos más íntimos y dio principio a nuevos estudios, apenas mejorados en los últimos veinticinco o treinta años con el auxilio de los métodos geofísicos y geoquímicos.

Débense a Suess otros conceptos y definiciones sobre diversos fenómenos tectónicos y sus consecuencias para la estructura de la corteza terrestre y de las capas sub-yacentes que las investigaciones modernas han confirmado en gran parte. Por ejemplo, la noción de "geosinclinal" y la distribución de los geosinclinales en el tiempo y en el espacio en nuestro planeta fue claramente expresada e ilustrada en mapas paleogeográficos (que prácticamente usó por primera vez) por aquel geólogo austriaco. Visualizó las relaciones *históricas* entre continentes y océanos, así como sus diferencias en composición y dinámica y puede afirmarse que desde entonces, la Geología adquirió un carácter de ciencia a la vez descriptiva y experimental que no había tenido hasta entonces.

En Francia, las ideas de Suess fueron rápidamente incorporadas y con el peculiar genio nacional para la síntesis expositiva, al finalizar el Siglo XIX formaban ya parte de los programas de enseñanza y de investigación en los laboratorios académicos y en los servicios oficiales. Varias notables figuras en dicho país no sólo aprovechan las enseñanzas de Suess sino ampliaron su alcance y contribuyeron en *forma original* a presentar nuevas soluciones a los problemas que abordaban los geólogos en aquellos tiempos. Pueden mencionarse los nombres de Emmanuel de Margerie, Marcel Bertrand y Pierre Termier, entre los grandes maestros, así como los trabajos de A. Lacroix y A. Michel-Levy, algo posteriores, entre los especialistas en

el estudio de cuestiones concretas, con particular referencia a los volcanes y a sus productos extrusivos, el primero en la Isla de la Martinica y otras localidades del mundo y el segundo en trabajos de laboratorio en la misma Francia.

Por otra parte, en ese país alcanzaban gran desarrollo por esos años un conjunto de nociones y técnicas de estudio que se comprendían dentro de la denominación de "Física del Globo", aún usado en ciertas instituciones y publicaciones. Dentro de la Física del Globo se abarcaban cuestiones de Meteorología y Climatología, Geografía Física y Geomorfología, Hidrología y Oceanografía, etc., que actualmente forman parte de la Geofísica o son ciencias separadas. A falta de mejor integración, la Física del Globo también comprendía el estudio de los sismos y de la actividad volcánica, en gran parte siguiendo la inspiración de Humboldt y otros naturalistas, especialmente los grandes viajeros que habían visitado diversas áreas del mundo y apreciado el interés de tales fenómenos.

Las íntimas relaciones entre los temblores de tierra y la actividad volcánica fue un tema de alto interés para quienes cultivaron aquellas disciplinas durante el Siglo XIX, destacando las contribuciones del sismólogo francés F. Montessus de Ballore. Tocó a este investigador permanecer por algunos años en dos países perpetuamente (a lo menos en tiempos recientes) sujetos a sacudidas y a erupciones de gran intensidad, El Salvador y Chile, donde permaneció más de 30 años y publicó muchos estudios que todavía son de fundamental importancia. Primeramente en El Salvador, entre 1880 y 1890, pudo establecer un sincronismo entre temblores de tierra y actividad volcánica, que explicaba ampliamente en su obra *Les Tremblements de Terre* (Dijon, 1886) y posteriormente, en Chile, a la vista de fuertes sacudidas y derrames amplió tales estudios en numerosas comunicaciones, que pueden considerarse como el origen de la escuela francesa de sismología y volcanología.

La mejor contribución de Montessus de Ballore, condensando los resultados de sus largos estudios *La Géologie Séismologique* (París, 1924), ha sido ya superada en su propio país, donde se encuentra la sede de la Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra, de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional. Esta corporación se fundó en Estrasburgo en 1904 y a ella pertenecen la mayoría de los países afectados por movimientos terrestres y erupciones volcánicas, así como otros muchos en que se realizan estudios sobre ambos tipos de fenómenos. La gran tradición francesa se ha mantenido de modo vigoroso y muy recien-

temente el Prof. Jean Rothé, Catedrático de la Facultad de Ciencias y Secretario de la Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra, ha publicado un pequeño e interesante volumen bajo el título de "Séismes et Volcans" en que se revisan las ideas fundamentales sobre sismicidad y vulcanismo en la Colección *Que Sais-Je?, Le Point des Connaissances Actuelles* (Núm. 217, 136 págs., 23 figs., París 1958), muy útil para geólogos y geofísicos.

Algunas ideas generales sobre la naturaleza de los temblores y sus efectos en los terrenos y fondos oceánicos son expuestas por el autor en la Introducción y el primer capítulo, principalmente a base de los datos de regiones de sismicidad bien estudiada. Los dos capítulos siguientes están dedicados al análisis de las ondas sísmicas y de los sismogramas, documentos realmente bien difíciles de leer e interpretar, pero de máxima importancia en la presente investigación de la estructura del planeta. Destacan los conceptos relativos a los varios tipos de ondas P y S, derivados de sus trayectorias en el interior de la Tierra y la exposición de las diferentes fases de los sismos naturales, así como algunas ideas sobre prospección sísmológica. Ilustrándola con casos concretos, el Prof. Rothé examina la sismicidad planetaria, demarcando las regiones de mayor importancia: 1) el *círculo circumpacífico*, con sus "cuencas" peni- o asísmicas (Filipinas y Antillas y 2) la *zona transasiática*, desde España hasta su unión con el círculo circumpacífico al norte de Australia y las cuales deben ahora agregarse, 3) la *cresta media del Atlántico*, desde Spitzbergen hasta la Antártida y 4) la *jaja del Océano Indico*, de dirección oblicua y poco conocida.

El mecanismo de los sismos y su clasificación le han servido de base para correlacionar los datos conocidos sobre la estructura de la corteza terrestre y del manto superior, que resume en una figura muy sugestiva de áreas conocidas: Japón, el Océano Pacífico, los Estados Unidos de América, el Océano Atlántico y el Continente Eurasiático. A la luz de estos conceptos adquieren nueva significación las ideas sobre isostasia, profundidad de niveles de compensación y estabilidad, los bloques continentales y sub-oceánicos, así como la noción de una capa granítica y otras interpretaciones de Suess. Debe aclararse que en el criterio postulado por Termier ("...la sismicidad superficial es el criterio de la movilidad profunda...") sigue siendo bueno y que las nociones de corrientes de convección, raíces montañosas y otras similares confirman plenamente las interpretaciones de aquel investigador francés.

En cuanto a volcanes, el Prof. Rothé ha relacionado sus manifestaciones con la dinámica general de la corteza terrestre, describiendo la estructura (en sus rasgos generales) y productos de los aparatos volcánicos aunque adopta todavía la antigua clasificación. Así, según el proceso de sus erupciones y la naturaleza de sus productos mencionó: 1) el tipo *hawaiano*, con derrames de lavas muy flúidas y sin otras manifestaciones (explosiones, proyecciones, etc.), 2) el tipo *stromboliano*, cuyos cráteres contienen una lava flúida "hirviente", con desprendimientos bruscos de gases que originan explosiones violentas y proyección de bombas, lapilli, tca., 3) el tipo *vulcaniano*, con lavas viscosas que "coagulan" en un tapón sólido y cuyas erupciones generalmente se acompañan de un inmenso penacho o *nube vulcaniana* y 4) y el tipo *peleano*, con un alto cráter del que sobresale una aguja pétrea y cuyas erupciones son acompañadas de *nubes ardientes*, muy tóxicas.

La repartición geográfica de los volcanes indica que existen zonas con analogías notables a las zonas sísmicas, por ejemplo, el "círculo de fuego" del Océano Pacífico, prácticamente superpuesto a la correspondiente zona sísmica ya mencionada. Enerte las causas del vulcanismo ha recordado aquel autor los fenómenos orogénicos y muy especialmente, las grandes fases de plegamiento, ahora encuadradas en la *fase de tafrogenia* de los ciclos geotectónicos. En las últimas páginas se establece una correlación entre las actuales ideas sobre la constitución y la dinámica de la corteza terrestre y del manto superior, atribuyéndose a las *corrientes de convección* la inestabilidad del "SIMA" que darían por resultado todas las manifestaciones asociadas a intenso vulcanismo, gran actividad sísmica, poderosa tectónica y fenómenos asociados.

En la misma colección *Que Sais-Je?, Le Point des Connaissances Actuelles*, los Profs. Charles Pomerol y Robert Fouet han publicado otro volumen que se titula "Les Roches Eruptives" (Núm. 542, 120 págs., 22 figs., París, 1958). Se inicia con la definición y modo de yacimiento de las rocas eruptivas, de acuerdo con su composición mineralógica y distribución en las capas terrestres, haciéndose notar que los principales elementos de la atmósfera y de la corteza son también reconocidos en la materia viva...! Esencialmente las rocas ígneas pueden separarse en *plutonitas* o rocas intrusivas y *vulcanitas* o rocas efusivas, destacando entre las primeras que constituyen principalmente el "SIAL" los granitos y entre las segundas un conjunto variado en formas y expresiones petrográficas.

El siguiente capítulo está dedicado a la descripción de las características mineralógicas de las rocas eruptivas, tanto en sus sistemas de cristalización como en la tecnología microscópica y química que se emplea para identificarlas, transcribiéndose el uso del sistema de A. Michel-Lévy compuesto por dos triángulos contruidos sobre dos ejes rectangulares, el primero correspondiente a los *elementos blancos* y el segundo a los *elementos de color*. A continuación, en otro capítulo, se describen las grandes familias de rocas eruptivas, combinándose las clasificaciones del Comité Francés de Petrografía (1900) y de A. Lacroix (1933), con ejemplos correspondientes en su mayoría al Viejo Mundo. Resulta interesante destacar que dichas clasificaciones toman en cuenta los *tiempos de cristalización* y el *origen* de las rocas ígneas, de tal manera que por su estructura se distribuyen en cinco tipos; granudas, ofíticas, microgranudas, microlíticas y vídriosas y que según el contenido en sílice, una misma roca tiene partes que pueden pertenecer a distintos tipos.

Los dos últimos capítulos están dedicados, respectivamente, al origen de las rocas ígneas, con énfasis en los problemas geocronológicos y de transformación a lo largo del tiempo y del espacio y a su descomposición por alteración química y/o mecánica. Claramente se reflejan en el tratamiento del origen de las rocas ígneas las ideas francesas, apoyadas en el análisis mineralógico y en la naturaleza del proceso genético, mencionándose los experimentos de síntesis de algunas rocas, como el granito, que se logró en 1955 por J. Wyart, en la Sorbona, a partir de una obsidiana de las Islas Lipari. Otro tanto puede decirse del último capítulo, relativo a la descomposición de las rocas eruptivas, en que se revisan los mecanismos metamórficos y metasomáticos condicionados por factores internos y externos hasta establecer una distinción entre las plutonitas (casi impermeables y de áspero relieve) y las vulcanitas (con múltiples formas erosivas del más complejo carácter).

Ciertos problemas específicos de las familias de rocas eruptivas son discutidos en función de su composición y evolución, por ejemplo, los granitos masivos que originan *batolitos* y los granitos de anatexia (o impregnados por inyecciones magmáticas) que se denominan *migmatitas*. Estas rocas tienen mayor extensión de lo supuesto hasta ahora y se las encuentra de preferencia en las viejas plataformas, donde representan un antiguo elemento "metamórfico" frecuentemente confundidas con otras rocas. Igualmente, entre las vulcanitas hay variedades petrográficas con una significación tectó-

nica muy precisa, como es el caso de ciertas *escorias silicatadas* en vías de consolidación o ya consolidadas, en diversas áreas de la Tierra.

Las relaciones entre las rocas ígneas y las metamórficas se han expuesto también dentro del cuadro tectónico y con especial referencia a las áreas "bordeantes" de sus yacimientos, como base de las actuales hipótesis petrogenéticas. A continuación, los autores desmenuzan el proceso de descomposición bajo las más diversas condiciones, como se ha dicho anteriormente, proporcionando numerosos ejemplos. En suma, este pequeño volumen permitirá a los geólogos y geofísicos que lo lean recordar importantes nociones sobre el origen, composición y dinámica de las rocas eruptivas, dispersas en multitud de obras generalmente con gran prolijidad de detalles, cuyo conocimiento realmente corresponde a los especialistas.

La exploración de los volcanes es otro aspecto bien atendido por los geólogos y geofísicos franceses en los últimos años, desde los más variados puntos de vista y con una amplia vista de contribuciones que sería imposible siquiera mencionar para cada autor. Uno de ellos, ingeniero agrónomo de origen y "convertido" al estudio de los volcanes es Haroun Tazieff, quien a raíz de un viaje en misión al centro de Africa fue atraído al estudio de la actividad volcánica y de sus productos, primeramente en este continente y después en el resto del mundo. Prolífico en su producción, el Ing. Tazieff ha publicado ya más de media docena de obras sobre volcanes, erupciones, rocas ígneas y otros aspectos de esos fenómenos geológicos.

Acercas del número de volcanes en actividad, los objetivos de la exploración vulcanológica, las peripecias de los vulcanólogos, algunos casos particulares de volcanes y en general, las motivaciones de tales estudios escribió un interesante artículo. Se llama "Les Volcans" y aparece en una magnífica obra citada y prolongada por Paul-Emile Victor, uno de los grandes exploradores franceses contemporáneos (*Les Explorations au XX^e Siècle*, págs. 219-252, ilustrs., Paris, 1960). En este artículo, el Ing. Tazieff, en una prosa elegante y dramática, expone su propia filosofía científica acerca de los fenómenos volcánicos y con selectos ejemplos todo un programa de acción para quienes se interesan en tales investigaciones, espléndidamente ilustrado con láminas en blanco y negro y a color.

Con un criterio bastante práctico son examinados varios casos de volcanes representativos en diversas áreas, especialmene el que tal vez conoce mejor aquel autor, el Nyragongo, en el centro de Africa y los volcanes mediterráneos. Respecto al primero, describe con minucia el programa de inves-

tigaciones que ha puesto en marcha el Centro Nacional de Vulcanología de Bélgica, desde 1958, en el antiguo Congo Belga, en el cual incluyen hasta espectrogramas en luz ultravioleta de gases y llamaradas volcánicas. Termina con algunas ideas sobre volcanes submarinos, indiscutiblemente más abundantes y activos que los continentales o isleños y cuyas manifestaciones apenas comienzan a estudiarse sistemáticamente en las expediciones oceanográficas.

Otra obra del Ing. Tazieff se titula igualmente "Les Volcans" (*Encyclopédie Essentielle, Série Science* No. 5, 108 págs., ilustr. en negro y blanco y a color, París, 1961) no menos elegante, enjundiosa y útil que otras del mismo autor. Se inicia con una frase cuya transcripción revelará mucho de la actitud del autor sobre los fenómenos volcánicos: "Si la geología, que por la geofísica y la geoquímica tiende a transformarse de ciencia natural en ciencia exacta, hubiese nacido en una de las regiones que sacuden muy seguido los temblores de tierra y las erupciones volcánicas, si los sabios que durante dos siglos se han ingeniado en describir y comprender la estructura de la corteza superficial del globo hubiesen vivido en países menos estables que el oeste y el norte de Europa, ciertamente nuestras nociones fundamentales sobre la importancia y el ritmo de la evolución de los fenómenos telúricos serían un poco diferentes..." En efecto, mucho ha influido la perspectiva del paisaje natural en las concepciones de los geólogos y los geofísicos y a impresionarles con la significación de aquellos fenómenos está dedicado este magnífico libro.

Se examinan paso a paso la abundancia de los volcanes, las primeras interpretaciones que su actividad inspiró al hombre, los diversos tipos de actividad eruptiva, la morfología de los volcanes (incluyendo la profundidad de los focos), las finalidades de la Vulcanología, ejemplos numerosos de los varios tipos de volcanes, etc. A cada capítulo acompañan maravillosas fotografías en negro y blanco y a colores, muchas de ellas de estampas antiguas que dan peculiar encanto a las descripciones y todas reveladoras de la complejidad de composición y de dinámica de estos "respiraderos" de la corteza terrestre y del manto superior. Además de la completa ortodoxia científica del texto, en que el Ing. Tazieff vierte su amplísima experiencia vulcanológica, las láminas (muchas de ellas tomadas de las obras de Humboldt) lo completan y fascinan al lector, revelándose aspectos insospechados de la Naturaleza.