

EL VULCANISMO EN LA HISTORIA DE LA TIERRA

POR: LUIS DELGADO ARGOTE
DIVISION DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

Al pensar en vulcanismo, en nuestras primeras imágenes aparecen cuerpos cónicos que se levantan de la superficie y de cuya cima emergen lengüetadas de vapores, cenizas y otros productos incandescentes. Otros recuerdos mas afortunados se relacionan con las imágenes que hemos recuperado de las fuentes de lava de Hawaii, de las nubes de ceniza y avalanchas piroclásticas del Volcán Santa Elena, de las columnas de cenizas del Chichonal o de las viejas fotografías del famoso Parícutín. Para aquellos que habitan, o han viajado por el Eje volcánico Mexicano, los volcanes son grandes masas construídas de lavas y depósitos de cenizas que se encuentran en reposo (excepciones recientes son las actividades del Parícutín, El Chichonal, El Tacaná y el Volcán de Colima, entre otros). En vista de que normalmente la actividad volcánica tiene largos períodos de recurrencia, son pocos los documentos históricos que pueden dar fé de eventos geológicamente jóvenes (unos 500,000 años).

Para el historiador de la Tierra, la actividad volcánica ofrece un inagotable campo de estudio. La superficie terrestre (incluyendo el fondo marino) está dominada por mas del 80 por ciento por rocas volcánicas, y el registro cronológico mas antiguo se tiene en este tipo de rocas y sus equivalentes a profundidad (rocas plutónicas). Una de las características mas importantes de las asociaciones volcano-plutónicas mas antiguas (entre 3,000 y 2,500

de años) es su similitud, tanto en composición como en estructura. Estas asociaciones magmáticas del Arqueano forman la corteza primitiva de la Tierra y las características composicionales de la base de estas secuencias, semejan a la inferida para el manto superior (ricas oscuras y muy ricas en magnesio y pobres en sílice y potasio). Su parte superior está constituida por derrames de lava de composición mas rica en sílice y de aspecto mas claro, intercaladas con sedimentos. La presencia de ciertos precipitados químicos, como el fierro en capas, hace suponer una atmósfera pobre en oxígeno libre. Esta corteza primordial se ha identificado en regiones distantes entre sí en la actual distribución de los continentes (Canadá, Groenlandia, norte de Escandinavia, norte y centro de Asia, las Guayanas, Brasil, sur y noroeste de Africa, India y Australia, principalmente); sin embargo, estas regiones definieron núcleos de corteza a partir de los cuales se desarrollaron las primitivas masas continentales (Figura 1). Hasta esta etapa en la formación de la Tierra es aventurado decir algo acerca de los mecanismos que dieron lugar al crecimiento y deformación de la corteza. Hay quienes proponen modelos similares a los operantes en la actualidad a través de la tectónica de placas (formación de cadenas volcánicas relacionadas con procesos de subducción como las observadas entre Japón y Kamchatka, las Aleutianas o Centroamérica). Quienes han estudiado las cortezas de los planetas "terrestres" (de los cuales solo la Tie-

rra muestra movimiento de placas) suponen que, al igual que éstos, el crecimiento inicial de la corteza de nuestro planeta se debe principalmente a intensos episodios de magmatismo a través de una corteza delgada (Figuras 1 y 2).

En las siguientes eras geológicas (Proterozoico), hasta hace aproximadamente 900 millones de años, la evolución de la corteza está marcada por el rompimiento de los protocontinentes. Este fenómeno induce la extrusión de grandes volúmenes de rocas volcánicas a lo largo de fracturas y la depositación de gruesos paquetes de rocas sedimentarias en las partes interiores de estas cuencas estructurales. Este es, además, un período de formación de cinturones móviles de deformación y reactivación de la corteza temprana según es evidenciado a partir de las asociaciones de grandes masas de rocas plutónicas graníticas, mesetas de basaltos y rocas piroclásticas ricas

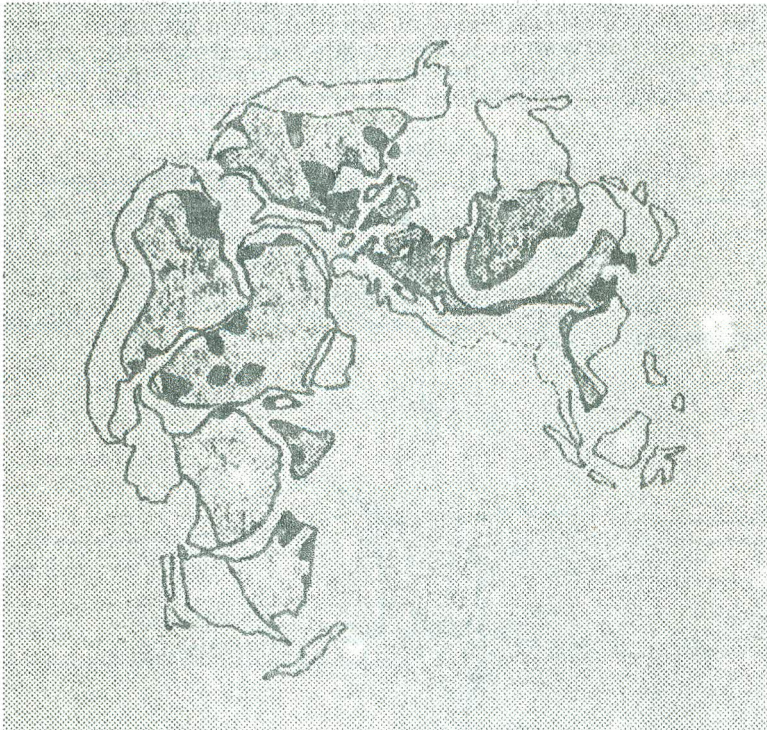
en sílice, así como complejos ígneos de origen profundo. Las rocas más antiguas en México se ubican en esta etapa. Su asociación más clara es con la porción oriental y occidental del supercontinente septentrional llamada Gondwana (Oaxaca y Sonora, respectivamente) (figura 6.6 del Windley).

La fase final del Proterozoico (hasta 570 millones de años) está principalmente marcada por el crecimiento de la corteza a lo largo de grandes cuencas de depósito de sedimentos en los bordes de los continentes. Entre Norteamérica y el norte de Europa, a principios de la Era Paleozoica, se inicia el crecimiento del Océano Iapetus (proto-Atlántico) en el cual se observan procesos de acreción magmática que dan lugar a la formación de asociaciones conocidas como ofiolitas.

Se puede decir con cierta certidumbre que, a partir del Paleozoico, la deriva de los conti-

nentes empieza a manifestarse mediante la abertura del mencionado protoocéano Atlántico. Este proceso es reconocido por la similitud entre la fauna de Europa y América y que magmáticamente, se refleja en el piso oceánico por la formación de un conjunto de rocas volcánicas e intrusivas que siguen un arreglo más o menos estratificado. Estas asociaciones ofiolíticas, lógicamente, fueron inicialmente reconocidas en ambientes continentales, y no es hasta que se iniciaron las investigaciones oceanográficas (durante los cincuenta-sesentas) que pudieron hacerse correlaciones entre ambos ambientes con cierta certidumbre. A pesar de que existen muchas dudas acerca de la evolución geoquímica de estas asociaciones según su posición y edad, secuencias ofiolíticas típicas, como la de Newfoundland

Figura 1. Mapa que muestra la distribución de los continentes antes de su deriva. En negro aparecen las regiones de edad Arqueano, en sombreado las del Proterozoico y en blanco, los cinturones móviles deformados (Tomada de Windley, 1979).



(Canadá), muestran gran similitud con asociaciones actuales de manto/corteza oceánica.

En términos generales, las ofiolitas y el actual océano, son comparables por una sucesión de la cima a la base, compuesta de: sedimentos marinos (en el caso del viejo Iapetus son derivados de las masas continentales adyacentes), lavas de basalto con estructuras masivas o en arreglo en almohadillas; les siguen cuerpos intrusivos identificados como conductos alimentadores de lava que cerca de la superficie, tienden a mostrar una geometría vertical y que hacia el interior gradúan química y texturalmente hacia rocas similares a las inferidas en el manto por métodos geofísicos.

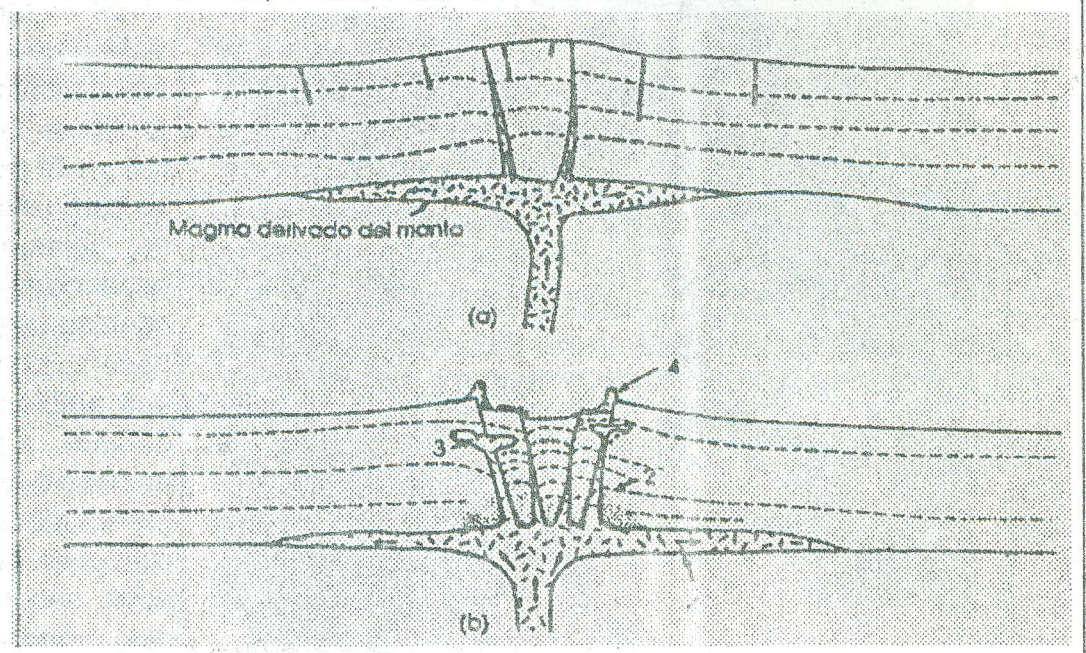
Volviendo a la situación geográfica del Atlántico, durante el Paleozoico (unos 470 millones de años) al iniciarse un proceso de movimiento convergente entre el Océano Atlántico con respecto al continente Americano, se manifiesta un nuevo proceso en la Tierra a través del cual el piso oceánico, más denso que la masa continental (ésta última formada principalmente por sedimentos compactados y litificados ligeros con un basamento de rocas intrusivas claras y también ligeras), es consumido debajo del continente por el fenómeno de subducción. Este nuevo estilo tectónico hace diferente

a la Tierra de los demás planetas del Sistema Solar y a éste se le asocian nuevos productos volcánicos de gran extensión geográfica y ahora concentrados a lo largo de las márgenes continentales. En esta región, el proceso de subducción dura aproximadamente 30 millones de años y termina cuando el Océano Iapetus es consumido debajo del continente, provocando la colisión entre Norteamérica y Europa y la formación del sistema montañoso de los Apalaches hace unos 370 millones de años.

El magnetismo asociado con subducción es particularmente importante en las márgenes circumpacíficas a partir del Jurásico (aproximadamente 150 millones de años), período durante el cual el proceso de deriva de continentes se generaliza en el planeta (Figura 3).

A partir de este período el occidente de México ha experimentado una subducción continua a la cual se le asocia una intensa actividad magmática que ha sido fechada desde Sonora hasta los límites de Guerrero con

Figura 2. Modelo de desarrollo de la actividad magmática durante el Proterozoico. a) Una corteza delgada se arquea al levantarse una masa de magma derivada del manto. En esta etapa se forman fracturas por las cuales parte del magma penetra por la corteza; b) al continuar la alimentación de magma proveniente del manto (1), parte de la corteza es asimilada (2) y se forman cámaras magmáticas en niveles superiores (3) que alimentan a los volcanes (4). Algunas de las cámaras magmáticas, al enfriarse, forman cuerpos de rocas plutónicas que texturalmente se caracterizan por estar formados por minerales grandes, en contraste con las lavas cuyas texturas están dominadas por vidrio o microcristales (Tomada de Windley, 1979).



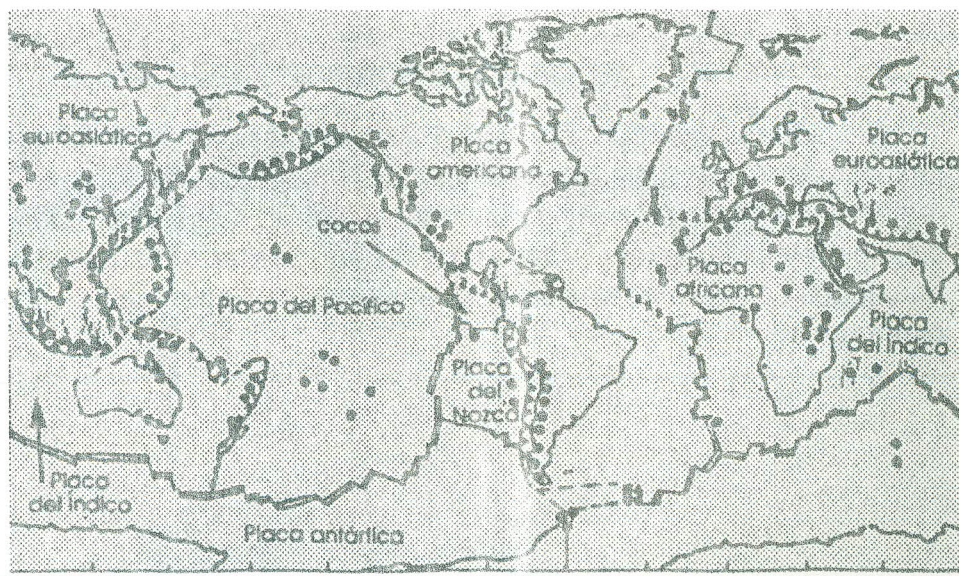
Oaxaca. El fenómeno de subducción se caracteriza por desarrollar en la placa superior una zona de debilidad cortical a través de la cual el material plástico del manto es hidratado para formar una mezcla de baja densidad y mayor fluidez (magma) que el material del manto que la contiene. Dependiendo de la continuidad del proceso, el magma asciende gradual y constantemente durante períodos de varios millones de años para desarrollar eventualmente una cadena volcánica en la margen de los continentes. En estos lugares, las principales asociaciones petrológicas son dominadas por derrames de lava y productos explosivos fragmentarios, tanto de rocas preexistentes como de cenizas de origen magmático cuando la actividad es explosiva. Esta última se presenta cuando el magma, en proceso de emplazamiento, se enriquece con agua en los niveles superiores de la corteza y la presión interna se incrementa al incrementarse el volumen de vapor.

La combinación del volcanismo coherente y fluido de las lavas con el explosivo de cenizas y otros productos piroclásticos favorecen la formación de los grandes edificios volcánicos conocidos como volcanes compuestos.

Estos grandes cuerpos normalmente presentan una "columna vertebral" formada por magma solidificado en el interior del volcán, y cuya forma refleja su asociación con conductos alimentadores. Cuando se estudian los ambientes volcánicos antiguos que han sufrido erosión o deformación, son los rasgos texturales de las rocas y las relaciones geométricas entre éstas los que permiten reconstruir,

tanto la historia y estilo de formación como de la deformación. A escala continental, la evolución geoquímica de las asociaciones volcánicas y las relaciones que guardan con las rocas adyacentes permiten al geólogo identificar rasgos paleogeográficos relacionados con la evolución geológica de las provincias magmáticas. Por ejemplo, uno de los ambientes antiguos mas amplios y con mejor registro litológico, lo forma el arco magmático del período Cretácico (alrededor de 120 millones de años) del occidente mexicano. En Baja California, un ancho arco de islas volcánicas se extendió casi a todo lo largo del estado, mientras que hacia el sur, éste se identifica a lo largo de la actual costa entre Jalisco hasta por lo menos Guerrero. La geografía antigua estaba dominada por islas volcánicas (algunas con desarrollo de arrecifes) donde, entre éstas, en cuencas interiores entre volcanes, se depositaron sedimentos derivados de la actividad explosiva, de la misma erosión de los volcanes, o de precipitación química. El aspecto regional pudo haber sido similar al ahora observable en islas del Pacífico meridional, como las que forman el arco de Tonga.

Figura 3. Mapa tectónico global donde se presenta la distribución de la actividad volcánica actual. Nótese la continuidad del vulcanismo en la margen circumpacífica.



Otras áreas de vulcanismo antiguo en México, aunque relativamente reciente y de ambiente continental, se encuentran a lo largo de la Sierra Madre Occidental y parte de la Sierra Madre del Sur, desarrollado entre los 40 y 20 millones de años (Chihuahua-Sonora hasta Jalisco-Guerrero). El actualmente activo Cinturón Volcánico Mexicano que corre entre Nayarit y Veracruz, inició su formación a partir de esta última fecha.

Aunque la versión aquí presentada sobre la antigüedad e importancia del magmatismo en la historia de la Tierra resulta por demás breve y hasta simplista, su intención es la de mostrar solo sus mas generales aspectos. Cada ambiente y cada época de nuestro cambiante planeta tiene una huella característica que puede ser descifrada y puesta dentro de un particular contexto histórico.

NOTAS

PROBLEMAS CON LA TEORIA DE PLACAS

De acuerdo a la Teoría Convencional de las Placas Tectónicas, las placas son rígidas internamente y los eventos sísmicos se concentran en sus bordes, ocurriendo sólo ocasionalmente en su interior. Sin embargo, sismos de gran magnitud ocurren dentro de la convencional Placa Indo-Australiana lo cual ha llevado a la conclusión de que la India y Australia no se mueven juntas. El borde que debe limitar la frontera entre la placa que contiene a la India y la que contiene a Australia no ha sido bien definido; aún falta por entender el proceso de ruptura de una placa en dos o más fragmentos.

EL CAMPO MAGNETICO DE NEPTUNO

Mediciones hechas por el Viajero 2 indican que el centro del campo magnético de Neptuno está fuera del núcleo planetario, a casi 0.55 radios de Neptuno, lo cual lo coloca en la región equivalente al manto. Además, el campo magnético está inclinado casi 47° respecto al eje de rotación. Ambos factores han causado controversias al confrontar estos resultados con los modelos clásicos para explicar la generación de campos magnéticos planetarios.