

El rompecabezas geológico mexicano: Terrenos tectonoestratigráficos como una herramienta para la reconstrucción de la historia geológica de México

Teodoro Hernández

Para comprender la compleja evolución geológica de México los científicos han tenido que recurrir a la teoría de los "terrenos tectonoestratigráficos". ¿Qué quiere decir esto? Que los investigadores en geociencias en los años ochentas y noventas se dieron a la tarea de sintetizar la geología de México, agrupando las rocas por su edad, origen, rasgos tectónicos y distribución geográfica; en esta síntesis concluyeron que México es un ensamble de varios segmentos de la corteza terrestre semejante a un gran rompecabezas. A cada uno de estos segmentos de la corteza se les llama Terrenos tectonoestratigráficos y se definen de la siguiente manera: "entidad geológica de extensión regional que se encuentra limitada por fallas y que esta caracterizada por una historia geológica diferente a la historia geológica de las entidades contiguas". Sin embargo, hay terrenos contiguos con distintos basamentos pero que tienen millones de años de estar juntos y que han seguido evolucionando geológicamente como una misma placa o continente, esto implica que ambos terrenos han sido afectados por los mismos procesos geológicos y han sido cubiertos por rocas más jóvenes de origen sedimentario y/o volcánico y por consiguiente comparten una historia común.

El concepto de "terreno tectonoestratigráfico" se deriva de la teoría de la Tectónica de Placas, pero los terrenos se distinguen de las placas por su escala ya que son de dimensiones menores, algunas veces fragmentos de antiguas placas tectónicas o bloques nuevos que se formaron y evolucionaron en el borde de una placa o continente. Al estudio de estos Terrenos se le llamo tectónica de microplacas. Para identificar los terrenos tectonoestratigráficos mexicanos se consideraron seis rasgos geológicos principales:

1. Identificar los distintos basamentos y secuencias metamórficas por sus contrastes estratigráficos, petrológicos y geocronológicos.
2. Identificar las fallas geológicas regionales que limitan a cada basamento.

3. Clasificar y censar el contenido fósil que indique diferencias en afinidades paleontológicas, edades y ambientes sedimentarios.
4. Identificar rasgos geomorfológicos que evidencien el estilo e historia de deformación en las rocas de cada terreno.
5. Clasificar las rocas por sus orígenes genéticos y geocronológicos construyendo la columna estratigráfica de cada terreno que sirva para la identificación y delimitación de los distintos basamentos que soportan las distintas rocas que han evolucionado en distintos tiempos y ambientes geológicos.
6. Identificar las diferencias paleomagnéticas en las rocas de cada terreno.

Las ideas y metodología sobre el estudio de los "terrenos tectonoestratigráficos" se aplicaron formalmente por primera vez en México por María Fernanda Campa en el año de 1981, quien posteriormente dividió a México en 14 terrenos tectonoestratigráficos (Fig. 1).

Este primer trabajo regional fue la base para lograr tener un mayor orden geológico a partir del cual los científicos pudieron crear y desarrollar nuevos conceptos sobre la evolución de la geología en el país, proponiendo reconstrucciones tectónicas regionales y locales. Posteriormente otros investigadores han presentado información actualizada sobre los terrenos tectonoestratigráficos mexicanos, dividiendo al país en 17 terrenos, nombrados de acuerdo a los distintos grupos étnicos que los habitan (Fig. 2), aunque otros autores consideran solo 11 terrenos (Fig. 3).

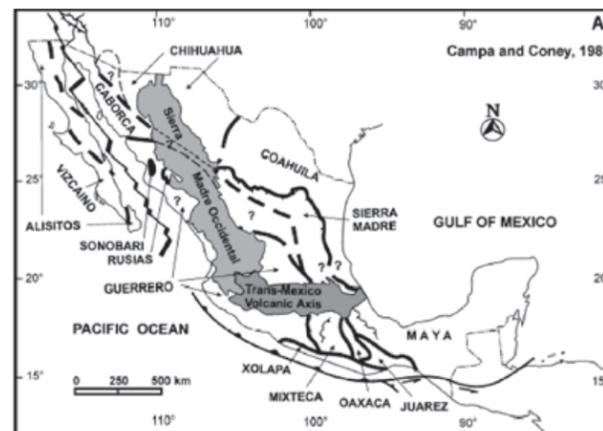


Fig. 1. Terrenos tectonoestratigráficos de México según Campa y Coney 1983.

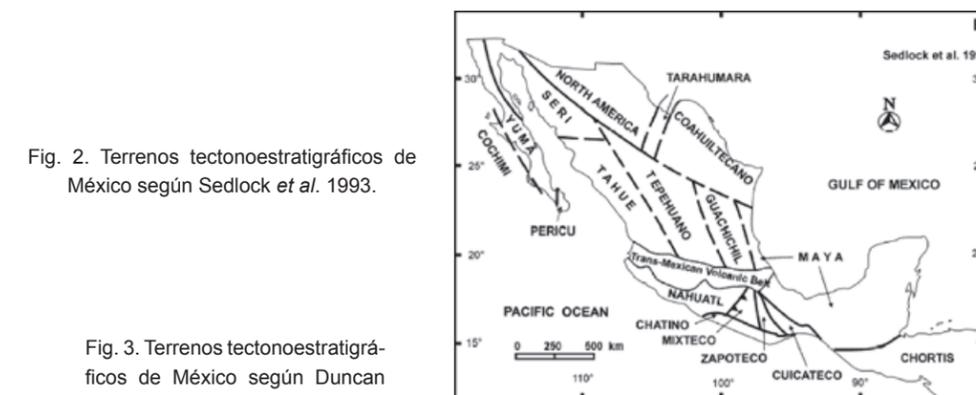


Fig. 2. Terrenos tectonoestratigráficos de México según Sedlock et al. 1993.

Fig. 3. Terrenos tectonoestratigráficos de México según Duncan 2004.



al desarrollo de laboratorios de Geocronología y Geoquímica en México como son el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) de los institutos de Geología y Geofísica de la UNAM, el Laboratorio de Geocronología del Centro de Geociencias, Campus Juriquilla UNAM, y el Laboratorio de Geocronología de Ar/Ar del CISESE en Ensenada Baja California.

En conclusión, la mayoría de los investigadores en ciencias de la Tierra en México basan sus teorías sobre la evolución geológica del país en la agrupación y evolución de los "terrenos tectonoestratigráficos" y proponen nuevas teorías de cómo evolucionó nuestro país a través del tiempo. El conocimiento y definición de los terrenos tectonoestratigráficos ha sido posible, en parte, gracias

un vistazo a los autores

Servando de la Cruz

sdelacrr@geofisica.unam.mx

Estudió la preparatoria en la Escuela Nacional Preparatoria de la UNAM, Plantel No. 4 Vidal Castañeda y Nájera continuando con sus estudios de licenciatura en Física en la Facultad de Ciencias. Posteriormente hizo una maestría en Geofísica en la Universidad de Toronto en Canada y un doctorado en Vulcanología en la Universidad de Kyoto, Japón. En 1967 se incorporó al Instituto de Geofísica de la UNAM en donde ha trabajado desde entonces con diversas líneas de investigación como: Dinámica de Fluidos, Física del Interior de la Tierra, Vulcanología Física y Riesgo Volcánico.

Teodoro Hernández

tht@geofisica.unam.mx

Estudió la preparatoria en la Escuela Nacional Preparatoria de la UNAM, Plantel No. 5 José Vasconcelos y es egresado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM (1991). En 1992 ingresó al Instituto de Geofísica de la UNAM, y actualmente es responsable del Laboratorio de Separación de Minerales del Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS). Parte de sus actividades las dedica al estudio de las rocas del sur de México en la Región de Chilpancingo-Acapulco, con el objetivo de proponer un modelo que explique la evolución geológica en esta región.

charlas de divulgación

"ESTALLIDO DE RADIO SOLARES"
ERNESTO AGUILAR
2008 - DICIEMBRE 4

"HIDROCARBUROS ABIOGENICOS"
IOURI TARAN
2009 - ENERO 22

"QUÍMICA DE LA TIERRA"
OFELIA MORTON
2009 - FEBRERO 12

"LA HELIOSFERA"
ROGELIO CABALLERO
2009 - MARZO 5

¿QUÉ DEBERÍAMOS SABER ANTES DE QUE OCURRA OTRO SISMO IMPORTANTE EN MÉXICO?
CARLOS VALDÉS
2009 - ABRIL 2

INSTITUTO DE GEOFÍSICA
CIUDAD UNIVERSITARIA
AUDITORIO TLAYOLOTL 12:00HRS.
(ENTRADA LIBRE)

EDICIÓN

Dra. Margarita Caballero Miranda
Tel. 56 22 42 33
maga@geofisica.unam.mx
Dra. Ana Ma. Soler
Tel. 56 22 42 34
anesoler@geofisica.unam.mx

los que lo hacemos

EDICIÓN TÉCNICA
Silvia Zueck G.
Freddy Godoy Olmedo
UNIDAD DE APOYO EDITORIAL

DISEÑO
Alberto Centeno Cortés

DISTRIBUCIÓN
Aída Sáenz

GEOFISICAS



¡HOLA!

EN ESTE NÚMERO TE PRESENTAMOS DOS ARTÍCULOS MUY INTERESANTES:

¿VULCANOLOGÍA...?

Y

EL ROMPECABEZAS GEOLÓGICO MEXICANO: TERRENOS TECTONOESTRATIGRÁFICOS COMO UNA HERRAMIENTA PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LA HISTORIA GEOLÓGICA DE MEXICO

NO TE OLVIDES DE VER LAS FECHAS DE LAS CHARLAS DE DIVULGACIÓN Y DEL VIDEOCINE



INSTITUTO DE GEOFÍSICA
CIUDAD UNIVERSITARIA, CIRCUITO EXTERIOR
DELEGACIÓN COYOACÁN
C. P. 04510 TEL. 56 22 41 15

Num. 37, noviembre 2008



¿Vulcanología...?

Servando De la Cruz Reyna

Cuando en una conversación surge el tema de los oficios, con frecuencia sigue una larga pausa acompañada de una mirada escéptica al mencionar que me dedico a la vulcanología. Si se consigue convencer al interlocutor que el asunto no tiene que ver con llantas ni vulcanizadoras, y que de alguna manera uno puede ganarse el sustento intentando entender cómo funcionan los volcanes y lo que son capaces de hacer, surgen casi siempre preguntas que por lo general no admiten respuestas únicas ni claras. Por ello, presentamos aquí algunas de las más frecuentes y lo que pudiera ser una respuesta razonable, en el entendido de que muchos de los argumentos al describir procesos volcánicos son, especulativos y sujetos a ajustes conforme se adquiere más y mejor información sobre lo que ocurre en el interior de los volcanes, ya que no hay forma de verificarlos en forma directa, aunque Julio Verne especule con lo contrario, pues nadie se ha internado en la Tierra por un volcán.

Dado que el Popocatepetl y el volcán de Colima tienen actividad eruptiva en la actualidad... ¿Significa eso que están conectados y que hay algún conducto que los une?

Una erupción volcánica es la salida a la superficie de rocas, gases y materiales fragmentados a temperaturas muy elevadas por efecto de la cercanía de magma a la superficie. El magma es roca fundida por procesos que ocurren a profundidades del orden de decenas a centenas de kilómetros.

Aunque en algunas regiones oceánicas el magma puede salir a la superficie en forma casi directa desde su zona de origen, en los continentes es común que el magma tienda a acumularse en “cámaras” a profundidades moderadas de unos tres a tal vez unos 15 kilómetros. Las llamadas “cámaras magmáticas” más que un gran recipiente casi esférico lleno de magma (como suele representarse en algunos libros) pueden ser estructuras complejas de fracturas y grietas invadidas por el material fundido Durante el ascenso a la “cámara” y su residencia allí, el magma evoluciona químicamente por las interacciones con la roca circundante, y por las menores presiones y temperaturas de las zonas de menor profundidad. Cuando a causa de esos efectos, o por la introducción de nuevo magma se genera una sobrepresión en la cámara, el magma es obligado a reanudar su ascenso. Si éste llega a la superficie, habrá una erupción magmática. Si el magma sobrecalienta los mantos acuíferos la erupción será freática.

Explicar esto permite plantear que el Popocatepetl y el Colima son volcanes continentales del mismo tipo, cada uno con su cámara magmática propia e independiente. Si bien la zona de génesis que alimenta a ambas cámaras tiene una fuente regional común (la subducción de la placa de Cocos bajo la de Norteamérica) las cámaras magmáticas que controlan los procesos eruptivos de cada uno están a unos pocos kilómetros de la superficie. Como la distancia horizontal entre los volcanes excede 500 kilómetros, es mucho más razonable pensar que los magmas viscosos en ambas cámaras busquen su camino hacia la superficie por la vertical, y no a lo largo de una distancia horizontal cien veces mayor, por lo que es difícil concebir la existencia de un conducto que las una.

Sin embargo si hay estructuras volcánicas conectadas, que pueden cubrir distancias de decenas de kilómetros. Esto ocurre cuando existe un sistema magmático profundo dominado por magmas de baja viscosidad, que alimenta numerosos centros eruptivos.



Columna en el volcán Popocatepetl

En estos casos, puede hablarse de un solo edificio volcánico con numerosos sitios de salida de magma. Estas estructuras son más abundantes en el ambiente oceánico, como por ejemplo Islandia y Hawái. En zonas continentales ocurre en los llamados campos volcánicos, como el de Michoacán-Guanajuato, con más de mil conos o puntos de salida de un sistema magmático profundo común. Aun en esos casos, no existen relaciones claras de dependencia entre las erupciones de cada uno de los conos.

¿Puede alguno de esos volcanes producir una gran erupción?

Ambos (Popocatepetl y Colima) ya han producido grandes erupciones y estas pueden volver a ocurrir. Los grandes conos volcánicos (estratovolcanes) como los del Colima, del Popocatepetl y de otros como el Pico de Orizaba, se han construido de los productos acumulados de numerosas erupciones. En el caso de una erupción magmática, el tipo e intensidad de la erupción dependen en gran medida de la tasa de ascenso. Si es lenta y los gases disueltos tienen tiempo de separarse del magma, el cual al salir ya ha perdido una buena parte de esos volátiles y puede fluir como un material análogo al vidrio fundido al que se denomina lava. Esto es una erupción efusiva. Si la tasa de ascenso es alta y el magma es rico en gases disueltos, los volátiles no tienen tiempo de separarse del magma y al acercarse a la superficie forman una gran cantidad de burbujas a gran presión. Si el volumen de las burbujas excede cierto valor crítico, el fluido magmático pierde su cohesión y puede reventar con gran violencia, produciendo una erupción explosiva, de forma análoga a como lo hace una botella de agua mineral que se agita y se destapa rápidamente.

Con frecuencia, las lavas producidas por erupciones efusivas se alternan con los de erupciones explosivas (productos fragmentados), formando estratos bien definidos. Estos estratovolcanes pueden tener vidas largas en las que a lo largo de decenas o centenas de miles de años los episodios eruptivos se alternan con periodos de reposo. Por ello se denominan volcanes activos aquellos que, aunque se encuentren en un periodo de reposo, sin actividad externa aparente, mantienen el potencial de producir erupciones de cualquier tipo.

Tanto el volcán de Colima como el Popocatepetl, el Pico de Orizaba y cerca de una decena de volcanes más en México se consideran activos. De hecho, el de Colima y el Popocatepetl están en erupción desde hace varios años, si bien en ambos casos la intensidad de esas erupciones se ha mantenido en niveles moderados. Sin embargo, hace unos mil cien años, el Popocatepetl tuvo una erupción mayor y el volcán de Colima hace sólo 80 años.

Si el Popo hiciera una erupción mayor... ¿desaparecería la ciudad de México?

¡De ninguna manera! Como en el caso de los sismos, las erupciones pueden tener diferentes magnitudes e intensidades. La magnitud de una erupción describe la cantidad de magma lanzado. La intensidad indica la velocidad a la que lo lanza. La combinación de esos factores determina el poder destructivo de una erupción. El estudio de eventos pasados permite estimar las tasas a las que se han presentado las erupciones de diferentes tamaños a lo largo del tiempo, y de allí calcular sus probabilidades de ocurrencia.

Este tipo de estudio arroja un resultado que no es sorprendente: existe una relación inversa entre el tamaño de las erupciones y la frecuencia con que se presentan. En otras palabras, las erupciones menores y moderadas son más probables que las grandes. Con esto en mente, las evidencias de erupciones extremas del Popocatepetl ocurridas en los últimos



Volcán de Fuego de Colima



Pico de Orizaba

de manifestaciones asociadas a erupciones mayores, como flujos piroclásticos y flujos de lodo, entre otros, requerirían adoptar medidas de evacuación para proteger a la población.

Afortunadamente, la tecnología de vigilancia de volcanes se ha desarrollado considerablemente en los últimos 20 años y los dispositivos de monitoreo permiten detectar los precursores de las erupciones y con ello tomar las medidas de protección con mayor anticipación. De hecho, el desarrollo de los posibles escenarios eruptivos de un volcán y la búsqueda y reconocimiento de los precursores que permitan predecir una erupción están entre los programas de investigación de nuestro Instituto.

¿En realidad se pueden pronosticar las erupciones?

Una erupción mayor implica la liberación de una gran cantidad de energía que debe acumularse primero bajo el volcán. Los procesos de acumulación y proximidad de la liberación de energía generan ciertas señales que es posible detectar con la instrumentación adecuada. El desarrollo en la vigilancia de volcanes se refiere a la tecnología de detección, y a las capacidades de reconocimiento de esas señales precursoras, que pueden ser de distintos tipos:

- Sísmicas, originadas por los movimientos del magma bajo el volcán, por la invasión de volátiles líquidos y gaseosos en grietas, por la formación de burbujas en el magma, y en términos generales por la fractura de rocas por los esfuerzos inducidos por la intrusión de magma;
- Deformaciones del edificio volcánico por las mismas causas, que son medibles por métodos geodésicos;
- Geoquímicas, relacionadas con cambios en la composición de productos volcánicos o en materiales influenciados por su actividad, como agua de manantiales o emisiones de gas, que pueden ser analizadas en laboratorios equipados;
- Geológicas, mediante el análisis de la evolución de la composición y mineralogía de los productos volcánicos como lavas, cenizas, etcétera;
- De percepción a distancia, principalmente imágenes en bandas visibles, infrarrojas y de radar obtenidas con cámaras instaladas en observatorios, aviones o satélites.

El análisis e interpretación de todas estas señales permite una identificación positiva de los procesos de acumulación y proximidad de liberación de energía en un volcán activo. Aplicar estas metodologías evidentemente requiere de una inversión importante de equipo humano e instrumental especializado en la función de vigilar continua y persistentemente a los volcanes que se sospecha puedan producir una erupción mayor. La experiencia global muestra que en los sitios de riesgo volcánico donde se utilizan estos métodos se ha logrado un alto número de pronósticos exitosos que han motivado acciones preventivas para proteger a la población. En México se han hecho muchos esfuerzos por lograr un buen monitoreo de nuestros volcanes activos (<http://www.cenapred.unam.mx>) y los vulcanólogos seguimos trabajando para monitorear, estudiar y entender mejor a nuestros volcanes.