

En las fotografías tomadas desde el espacio, la Tierra se ve como una apacible esfera azul. Sin embargo, esa imagen del planeta esconde un sistema muy dinámico y en constante transformación, en respuesta a la energía producida en su interior y a la energía proveniente del Sol que se esparcen en los océanos, la atmósfera y los continentes, modelando su superficie.

La Tierra es un planeta fascinante, formado por una compleja red de procesos naturales que lo hacen único en el sistema solar. Sus orígenes e historia han despertado la curiosidad de muchas generaciones de estudiosos de las ciencias naturales. ¿Cómo se formaron las montañas?, ¿por qué encontramos restos de organismos marinos en rocas que hoy se encuentran a más de 3 000 metros de elevación?, ¿por qué existen plantas y animales con un pasado común en continentes actualmente separados por grandes océanos? Éstas son algunas de las preguntas que la humanidad se ha planteado desde los tiempos de las civilizaciones más antiguas y que durante muchos siglos permanecieron sin una explicación razonable. A raíz de dichos cuestionamientos surge la geología, ciencia que estudia el origen y la evolución de la Tierra. Esta ciencia se dedicó durante muchos siglos a clasificar las rocas y minerales, sin entender a fondo los procesos que los forman. No fue sino hasta el siglo presente, con la teoría de la tectónica de placas, que se produjo un cambio radical en la forma de explicar la evolución del planeta y se revolucionó el conocimiento de las ciencias naturales en general.

Esta historia comenzó en el siglo pasado, con la elaboración de los primeros mapas geográficos que mostraban con mayor precisión la forma y distribución de los continentes. Uno de los primeros científicos que observó que las costas de África y Sudamérica coincidían como dos piezas de rompecabezas fue el francés Antonio Snider-Pelligrini en 1858. En su época esta idea pareció tan descabellada que fue abandonada en la oscuridad del olvido. Sin embargo, a principios del si-

glo XX el alemán Alfred Wegener encontró las primeras evidencias geológicas de que los continentes estuvieron unidos en el pasado formando un solo supercontinente, al que llamó Pangea, con lo que sentó las bases de la teoría de la deriva de los continentes. Aunque no ha sido muy

contra de la teoría de la deriva de los continentes, no fue sino hasta los últimos cincuenta años de este siglo que los avances tecnológicos y la creación de instrumental científico complejo (sonares, magnetómetros, espectrómetros, etc.) desembarcaron en una gran explosión de descubri-



Ansel Adams. Consejo de Chelly National Monument, Arizona, 1942.

difundido, el trabajo de Wegener fue tan importante y tuvo impacto en la comunidad científica como en su tiempo Darwin con la teoría del origen de las especies o Galileo cuando propuso que la Tierra giraba alrededor del Sol.

A pesar de la ardua labor de muchos científicos que trabajaron a favor o en

mientos sobre los procesos que moldean la superficie de la Tierra y los mecanismos internos que los controlan. T. Wilson, A. Cox, D. Tarling, T. Atwater, P. Allegre, P. Molnar, J. Dewey y muchos geocientíficos más construyeron las bases teóricas de lo que hoy se conoce como tectónica de placas.

Nuestra Tierra nació del colapso de una nube interestelar hace más de 4 500 millones de años. Durante los primeros millones de años de su formación, la Tierra sufrió un intenso bombardeo de meteoritos, lo que, aunado a la energía emitida por la radiación de algunos elementos, provocó un aumento en la temperatura hasta producir una gran masa fundida. Aunque la composición química total de la Tierra se ha mantenido casi constante a lo largo de sus 4 500 millones de años, los procesos químicos y físicos han cambiado a través del tiempo la naturaleza y el espesor de las diferentes capas que la

tura y la composición actual del interior del planeta proviene de la recopilación de datos indirectos, obtenidos a través de mediciones de los fenómenos físicos de la Tierra que son efectuadas desde la superficie. Un ejemplo de ello son los estudios de las ondas generadas por los terremotos, incluyendo métodos como la tomografía sísmica, el estudio del campo gravimétrico y magnético de la Tierra, las variaciones en el flujo de calor, etc. Los estudios geológicos superficiales proporcionan muy pocos datos directos sobre la constitución de las capas profundas del planeta, ya que de los 6 371 km que tiene el radio de la Tierra, el hombre solamente ha perforado 11 km con maquinaria mo-

quel, y en menores cantidades por silicio, azufre, carbono, oxígeno e hidrógeno. Es la parte más profunda de la Tierra y está sometida a temperaturas que van de 3 500° a 4 500° C, y a una presión de 3.5 millones de atmósferas en su centro. El núcleo interno, que comprende de 5 100 a los 6 371 km de profundidad, es sólido, y aunque fluye lentamente a velocidades de centímetros por año, tiene una rotación más rápida que la superficie por 1 a 3 grados más por año. En cambio, el núcleo externo, que abarca de 2 900 a 5 100 km de profundidad, es líquido y tiene fuertes corrientes que se mueven a varios kilómetros por hora, las cuales parecen originar el campo magnético de la Tierra.

El manto forma 83% del volumen del planeta y 65% de su masa, y está constituido por óxidos de hierro, magnesio y sílice. Su temperatura varía de 500° C en el manto superior a 3 500° en el manto inferior y las presiones van de 30 900 a 1.3 millones de veces la presión de la atmósfera. Es la capa más fascinante de la Tierra, ya que aparentemente en ella se generan las fuerzas que provocan los cambios más importantes en la corteza terrestre. El manto se extiende de 40-70 km a los 2 900 km de profundidad, y su materia incandescente está en continuo movimiento, formando celdas parecidas a las observadas en la atmósfera. A estas celdas de movimiento se les llama corrientes de convección. Estas corrientes se generan aparentemente por las diferencias en temperatura que hacen que el material más caliente de las partes más profundas del manto suba a los niveles más altos, a profundidades menores, donde su temperatura disminuye y aumenta su densidad, provocando que caiga nuevamente hacia las partes bajas del manto. La distribución y la geometría de las corrientes de convección no han sido determinadas con precisión, sin embargo, los últimos resultados obtenidos por medio de tomografía sísmica sugieren que estas celdas de convección abarcan desde la zona de contacto manto-corteza hasta la zona de transición entre el núcleo y el manto a 2 700 km de profundidad.

LAS MÚLTIPLES CARAS DE LA TIERRA

E l e n a C e n t e n o G a r c í a

S a r a A . Q u i r o z B a r r o s o

forman. Algunos elementos como los metales, por ser más pesados, se han ido concentrando en las capas más profundas. En cambio, otros elementos más ligeros se han desplazado a las capas externas. Este proceso de diferenciación química junto con el enfriamiento paulatino de la superficie, originaron los primeros compuestos minerales y las primeras rocas de una corteza primitiva.

Se desconoce cuánto tiempo tardó en formarse la primera costra sólida del planeta, aunque las rocas más antiguas descubiertas hasta la fecha en la superficie de la Tierra tienen alrededor de 4 000 millones de años de edad. La mayoría de la información que se posee sobre la estruc-

terna en la región de Siberia. De los meteoritos se obtienen datos geológicos indirectos acerca de la probable composición del planeta antes de su diferenciación química en capas; otro medio de obtener información acerca del interior de la Tierra es el estudio de los materiales que llegan a la superficie por las erupciones volcánicas. Así, con los datos que hoy se conocen, se considera que existen tres capas principales que forman nuestro planeta: núcleo, manto y corteza.

El núcleo representa 14% del volumen de la Tierra y 32% de su masa (si se considera que la Tierra tiene un volumen de $1\ 083 \times 10^9 \text{ km}^3$ y una masa de $5\ 975 \times 1\ 024 \text{ kg}$). Está compuesto de hierro y ní-

La corteza constituye solamente 3% del volumen total de la Tierra y 1% de su masa. Está formada por dos tipos de corteza de naturaleza muy distinta: 1) la continental, que tiene de 30 a 70 km de espesor y está compuesta por óxidos y silicatos de aluminio y otros elementos ligeros; y 2) la oceánica, que es más delgada (de 1 a 40 km de espesor) y está formada por óxidos de hierro y magnesio.

Además de éstas, nuestro planeta presenta una capa externa, la atmósfera, compuesta de gases como nitrógeno, oxígeno, argón y otros más. Tiene un espesor aproximado de 1 000 km y temperaturas que varían de -150° a 40° C en las capas bajas; hasta más de 1 000° C en las capas altas.

LA PIEL DE LA TIERRA

La corteza que forma el piso de los océanos tiene una composición y una historia diferente a la corteza que forma los continentes. Las rocas de la corteza oceánica están constituidas por la lava que se enfría al salir del manto a lo largo de grandes grietas que recorren los fondos marinos, donde surgen volcanes submarinos que forman cadenas montañosas largas y angostas, llamadas dorsales oceánicas. Su composición es similar a la del manto, y están formadas principalmente por basaltos. Estos derrames basálticos son cubiertos por una delgada capa de lodo marino. Las rocas de la corteza oceánica formadas a un mismo tiempo se ven en el mapa como bandas paralelas a las dorsales oceánicas con pequeños escalones y que corren a lo largo de los fondos oceánicos. Estas bandas están separadas por fracturas o fallas de transformación que desplazan los pequeños segmentos de la dorsal y se forman como parte del movimiento de las placas. Las fallas de transformación son como las grietas que se abren en la corteza de un árbol cuando éste crece. El estudio de los fósiles de animales marinos que se han encontrado

en los lodos que cubren el fondo de los mares así como el de la orientación del magnetismo que se conserva en los minerales magnéticos que forman las lavas han permitido conocer la edad y calcular la velocidad de la formación de la corteza oceánica. Algunas bandas de la misma edad son más anchas, lo que significa que en ese periodo la corteza crecía más rápido. La corteza oceánica crece en promedio entre 2 y 4 cm al año, aunque en la parte sur de la dorsal del Pacífico crece hasta 18 cm al año. Las rocas más viejas del fondo oceánico tienen 190 millones de años y son 3 000 millones de años más jóvenes que las rocas más antiguas de la corteza continental. Esto significa que la corteza oceánica tiene un periodo de vida muy corto, ya que se hunde en el manto rápidamente a lo largo de las zonas de subducción.

Las propiedades magnéticas de las rocas han sido de gran utilidad en la reconstrucción del movimiento de las placas. Cuando la lava se solidifica, los minerales de hierro y titanio se cristalizan y se orientan conforme al campo magnético de la Tierra existente en ese momento. En el caso

Las propiedades magnéticas de las rocas son de gran utilidad en la reconstrucción del movimiento de las placas. Cuando la lava se solidifica, los minerales de hierro y titanio se cristalizan y se orientan conforme al campo magnético de la Tierra.

de las rocas volcánicas continentales, cuando la orientación de los minerales es distinta a la que tendrían con respecto al campo actual, nos indica que hubo cambios en latitud y por lo tanto su posición paleogeográfica. En algunos periodos geológicos los polos magnéticos se han invertido con respecto a su posición actual. En el caso de las rocas basálticas que se forman en las dorsales, se observa una alternancia de bandas rocosas con minerales orientados con respecto a la ubicación actual de los polos (anomalías positivas) o bien con orientación invertida (anomalías negativas). Estas bandas son idénticas en ambos lados

de las dorsales, por lo cual puede reconstruirse la velocidad de expansión de los fondos oceánicos y la distribución de los continentes en el pasado.

En cuanto a la corteza continental, ésta tiene una historia muy compleja e interesante. Es de mayor espesor que la corteza oceánica, de 35 a 70 km en algunas partes. Es más fría pero más ligera que la corteza oceánica y forma las grandes masas continentales. Por sus características físicas y químicas las rocas que forman la corteza continental se han mantenido flotando sobre el manto sin hundirse como la corteza oceánica. Por esta razón en ella se hallan las rocas más antiguas del planeta. Su composición es muy variada, ya que está formada por bloques y capas de diferentes tipos de rocas y edades. En ella encontramos rocas que primero estuvieron en los fondos oceánicos, así como rocas originadas por volcanes, o que antes eran lodo y arena —formadas en lagos, ríos o desiertos. Algunas partes de los continentes fueron inundadas por el mar en varias ocasiones, dejando restos marinos en el registro estratigráfico.

La corteza continental ha crecido, aunque en forma más lenta y por medio de procesos distintos a aquellos que originan la corteza oceánica. Esta corteza crece cuando cadenas de volcanes submarinos chocan contra sus márgenes, y cuando bloques grandes de corteza oceánica se quedan atrapados entre continentes al chocar éstos (como la India y Asia) y por los grandes volúmenes de material del manto que suben a la superficie al formarse los volcanes. Si calculamos cuántos kilómetros cúbicos de corteza se formaron en distintas épocas del pasado geológico de la Tierra se obtiene que 30% de la corteza se formó entre 4 000 y 2 900 millones de años antes del presente, 45% se formó entre 2 900 y 2 500 millones de años, y 25% se formó entre 2 500 millones de años y el presente, lo cual indica que la velocidad en que crece ha disminuido.

¿QUÉ SON LAS PLACAS TECTÓNICAS?

Son fragmentos independientes de litósfera (material sólido que incluye a la corteza y parte del manto superior) que se mueven unos con respecto a otros y que están separados ya sea por dorsales, zonas de subducción o fallas de transformación. Las placas se mueven, se rompen o chocan principalmente por el efecto del arrastre que producen las corrientes de convección del manto en la litósfera. La configuración de las placas, su movimiento y otros procesos asociados a éste han sido bien documentados por medio del estudio de la distribución y naturaleza de volcanes y terremotos, las formas de los fondos oceánicos, y los movimientos de las masas continentales, calculados por mediciones vía satélite.

Como se mencionó anteriormente, en los fondos oceánicos hay zonas de ascenso de materiales del manto que rompen la corteza, lo que permite el paso de los mismos en forma de lava incandescente que se derrama a ambos lados, formando una banda de corteza nueva. Las regiones donde la corteza se calienta y se rompe se llaman zonas de apertura o zonas de rift. En el caso de los fondos oceánicos, las zonas de rift han evolucionado formando grandes cadenas montañosas sumergidas, denominadas dorsales oceánicas.

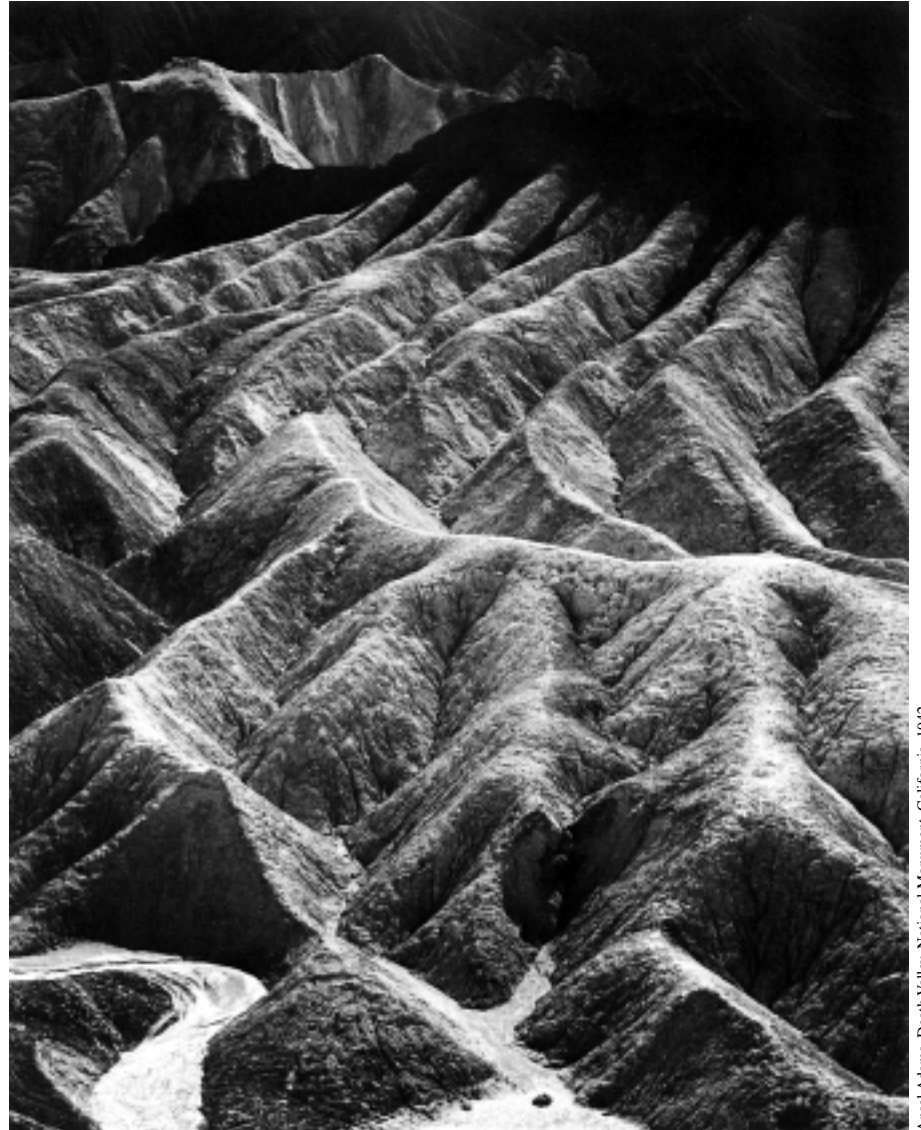
Como la creación de nueva corteza oceánica es continua, y la superficie de la Tierra no presenta un aumento en su área, es necesario que exista un mecanismo de destrucción de la corteza oceánica, que permita la reintegración de sus rocas al manto. Este proceso, contrario a los procesos de apertura o rift, ocurre en el borde de ciertos continentes donde la corteza oceánica, fría y pesada, se hunde bajo la corteza continental o bajo una corteza oceánica más ligera. A éstas se les conoce como zonas de subducción y coinciden aproximadamente con la parte descendente de las corrientes de convección. Las zonas de subducción son sitios de intensa actividad sísmica y volcánica. La expansión y crecimiento de los fondos

oceánicos y la subducción o reciclado de la corteza constituyen una de las fuerzas que originan el desplazamiento o deriva de los continentes —proceso que ha ocurrido por millones de años.

A veces los continentes chocan porque la corteza oceánica que había entre ellos desaparece por los procesos de subducción, entonces la fuerza que los mueve hace que parte de la corteza de uno de los

debajo de Asia. A estas zonas se les conoce como zonas de colisión.

En ocasiones las fallas de transformación pueden formar el límite entre placas. En este caso representan zonas donde las placas se deslizan lateralmente, una con respecto a la otra, y en ellas no se genera ni se destruye corteza. Un ejemplo conocido es la Falla de San Andrés, en California, que nace en el golfo de California en México.



Ansel Adams. Death Valley, National Monument, California, 1942.

continentes sea empujada por debajo del otro, lo que ocasiona que la corteza se deforme y aumente su espesor dando origen a grandes cadenas montañosas como Los Himalayas, formados por el choque de la India que se está desplazando por

En los últimos tres años se ha descubierto un nuevo tipo de límite de placas. Aunque no ha sido bien definido, parece que en los fondos oceánicos hay zonas anchas donde la roca ha sido fuertemente deformada, y que separan fragmentos rí-



Ansel Adams. Glacier National Park, Montana, 1942.

gidos de corteza oceánica con movimiento diferente.

Las placas litosféricas se pueden considerar como las piezas del rompecabezas más grande del planeta. Estas pueden contener diversos tipos de corteza. En la actualidad existen ocho placas formadas, en parte, por la corteza de los cinco continentes del mundo y en parte por corteza oceánica, y siete placas formadas exclusivamente por corteza oceánica.

Las ocho placas formadas por continentes y océanos son: 1. Placa norteamericana (México pertenece a esta placa); 2. Placa de Sudamérica; 3. Placa del Caribe; 4. Placa eurasiática; 5. Placa indo-australiana; 6. Placa africana; 7. Placa antártica; 8. Placa arábica.

Las siete placas formadas casi totalmente por corteza oceánica son: 1. Placa Pacífica; 2. Placa de Cocos; 3. Placa de Nazca; 4. Placa Filipina; 5. Placa Fidji; 6. Placa de Escocia; 7. Placa de Juan de Fuca (figura 1).

Las placas litosféricas están en continuo movimiento unas con respecto de las otras, a diferentes velocidades y en diferentes direcciones. Algunas placas son lentas y se mueven un centímetro por año, en cambio otras se desplazan hasta 20 centímetros al año. Sin embargo, en promedio se mueven ¡a la misma velocidad que crecen las uñas!

Además de las grandes placas tectónicas, existen pequeños bloques o fragmentos de litosfera cuyas rocas son muy dis-

tintas de aquellas que forman otros bloques adyacentes o de aquellas que se encuentran en las grandes masas continentales denominadas cratones. A estos bloques de litosfera se les denomina Terrenos Tectonoestratigráficos. Éstos pueden haber sido antiguos arcos de islas volcánicas o fragmentos de corteza continental antigua. Si éstos se formaron cerca de su posición actual se denominan terrenos autóctonos, en cambio aquellos que se formaron en una posición distinta a la que tienen actualmente se denominan terrenos alóctonos. Aquellos cuya posición original es incierta son conocidos como terrenos sospechosos. Por ejemplo, en nuestro país hay por lo menos diez fragmentos de litosfera o terrenos tectonoestratigráficos, de los cua-

les al menos cuatro son sospechosos, tres son alóctonos y tres son autóctonos.

SISMICIDAD, VULCANISMO Y OROGENIA

La Tierra manifiesta su energía interna mediante sismos, erupciones volcánicas y aguas termales; también se siente en el intenso calor de las minas muy profundas, ya que la temperatura de la Tierra aumenta de uno a tres grados centígrados por kilómetro de profundidad. Los sismos son la vibración o movimiento del suelo que se produce por un rompimiento súbito de los materiales en el interior del planeta. Se les llama terremotos cuando son muy fuertes y causan gran destrucción. La actividad sísmica de una región determinada se define por el número, la distribución y la naturaleza de los sismos que ocurren en dicha región. Si una placa litosférica se desliza con respecto a otra, pueden pasar meses o años sin moverse, porque ambas tienen irregularidades que las detienen y no las dejan desplazarse libremente. Sin embargo, estas irregularidades se rompen y las placas se mueven y se sacuden en un lapso de minutos o segundos, produciendo los sismos de origen tectónico. Por ejemplo, los sismos que se sienten a lo largo de la costa del Pacífico de México son de este tipo y se producen por la subducción de la placa de Cocos por debajo de la litósfera de México (figura 2). En otros tipos de límites de placas, como las dorsales oceánicas y las fallas de transformación, también se producen sismos. Existen otros sismos más locales originados en los volcanes, cuando el magma va moviéndose hacia la superficie, o cuando hay derrumbes en las laderas de las montañas o en el interior de las cavernas. El estudio de los sismos es muy importante, ya que nos revela la estructura y la profundidad de las diferentes capas del interior del planeta, así como la dirección y la velocidad del movimiento de las placas litosféricas.

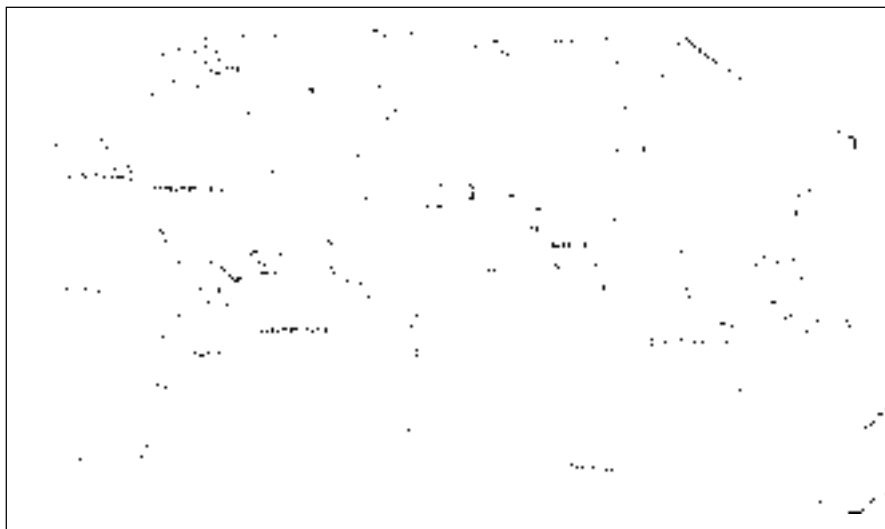
Se calcula que en el mundo ocurren un millón de sismos al año, de los cuales diez o más son muy destructivos. Éstos se concentran a lo largo de los límites de las pla-

cas. Los terremotos más grandes están asociados a las zonas de subducción y a las zonas donde chocan dos continentes. Por ejemplo, el terremoto del 19 de septiembre de 1985, con una magnitud 8.1 en escala de Richter, que afectó sobre todo a la ciudad de México, se originó cuando un segmento de 100 kilómetros de largo del piso oceánico se movió dos metros por debajo de la corteza de la costa de México en solo 1.5 minutos. Este movimiento liberó la misma energía que si hubieran explotado 20 000 bombas atómicas como la de Hiroshima, a 18 kilómetros de profundidad dentro de la litósfera.

Los volcanes son la forma más espectacular de liberación de energía de la Tierra. Se forman a partir de la acumulación del material incandescente, originado en las profundidades del planeta, que fluye y se enfría sobre la superficie. La roca fundida en el interior del manto y la litósfera se llama magma. El magma es más liviano que las rocas próximas y asciende lentamente a la superficie, algunas veces a lo largo de fallas o fracturas. Si el magma sale a la superficie y entra en contacto con el aire o el agua se le conoce como lava. Es importante entender los procesos que producen la actividad volcánica para evitar el crecimiento de asentamientos humanos en zonas de riesgo. Según la fuerza, la cantidad de gases y de material fundido, las erupciones pueden ser muy

explosivas, como la del Vesubio, o formar ríos de lava lentos y poco destructivos, como las de Hawai. La composición química y la estructura de la lava son muy útiles para interpretar la historia y la evolución del planeta, al igual que la naturaleza de su interior. Los volcanes se originan por los procesos de la tectónica de placas y, al igual que los sismos, se concentran a lo largo de los contactos entre placas: los volcanes de arco se producen al fundirse una placa oceánica en el interior del manto, al romper el magma la corteza superior —que puede ser oceánica (arco oceánico) o continental (arco continental); el Popocatepetl es un volcán de arco que se produjo de la fusión de la placa oceánica de Cocos debajo de la corteza de México. Los volcanes de dorsal oceánica o rift son los grandes volcanes que se forman en el piso oceánico debido al proceso de crecimiento del mismo; mientras que los volcanes de punto caliente son producto de magmas que provienen de la parte superior del núcleo y forman una cadena larga de volcanes.

Los materiales de la corteza terrestre se ven afectados por el movimiento de las placas litosféricas. El choque entre dos masas continentales, la subducción o el movimiento de las fallas de transformación producen una fuerza extraordinaria sobre las rocas que es capaz de cambiar su forma, y de reducir o aumentar su vo-



Localización de las placas litosféricas

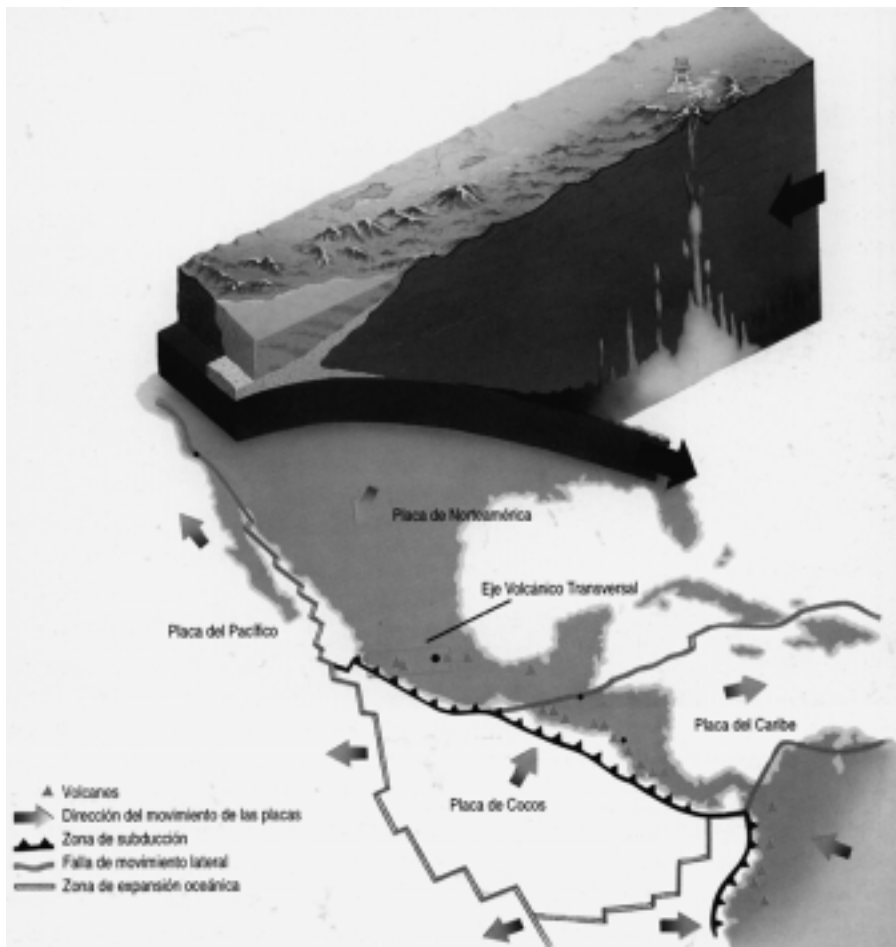


Figura 2. Esquema que muestra las diferentes placas tectónicas sobre las que se encuentra el territorio de México y el corte del Eje Neovolcánico en el que se aprecia el desplazamiento de la placa de Cocos bajo la de Norteamérica y la actividad volcánica que esto genera.

lumen, dando lugar a pliegues y fallas. El estudio de estas estructuras permite reconstruir la dirección y la magnitud de las fuerzas que actuaron en la roca en el pasado. También ayuda a determinar la posición antigua de los diferentes tipos de límites de placas, así como la localización y la edad de los choques entre continentes que ocurrieron en el pasado. Las deformaciones que afectan grandes zonas geográficas se llaman orogénias y forman algunas de las grandes cadenas montañosas u orógenos.

A veces el océano que existe entre dos continentes desaparece por efecto de la subducción, en otras ocasiones hay fragmentos de corteza oceánica que se desplazan sobre la corteza continental, preservándose como testigos de la existencia de mares antiguos. A estos fragmentos se les

conoce como ofiolitas. Si un nuevo océano se forma, y rompe en partes las montañas originadas por el choque, las estructuras se preservan como cicatrices del pasado, lo cual nos ayuda a reconstruir la posición de los antiguos límites de placas y la colisión entre continentes.

PRESENTE Y FUTURO

Debido a los procesos que involucran la tectónica de placas, la forma y distribución de los continentes ha cambiado a través del tiempo. En otros artículos que aparecen en este mismo número de *Ciencias*, se describen los principales cambios que se dieron en la configuración de las masas terrestres y la posible ubicación de México a lo largo de este desplazamiento. Hace 225 millones de años aproxima-

damente, se formó el supercontinente llamado Pangea, que agrupó a todos los continentes actuales. En su parte central se encontraba África, al noroeste Norteamérica, al noreste Eurasia, al oeste América del Sur, al sureste la Antártida y Australia y al este la India, Madagascar y la península Arábiga. Durante la transición del Triásico al Jurásico (hace 190-205 millones de años), Pangea se dividió en dos grandes continentes, Laurasia, al norte, agrupando a Norteamérica y Eurasia, y Gondwana al sur, constituida por el resto de las masas continentales. Más tarde, a lo largo del resto del Jurásico, el Cretácico y el Terciario, cada uno de esos dos grandes continentes se fraccionó lentamente, hasta establecerse la distribución actual de continentes y océanos. Entre los eventos más llamativos se encuentra el desprendimiento de la India de África durante el Jurásico, su viaje hacia el noreste a lo largo del Cretácico y su choque con Asia en el Eoceno (hace aproximadamente 40 millones de años), evento que aún continúa y que hace que los Himalayas sigan elevándose más de dos centímetros por año. Durante el proceso de rompimiento de Gondwana, Australia, la Antártida y Sudamérica se mantuvieron unidas, en un puente terrestre hasta hace cerca de 50 millones de años. Antes del rompimiento de este puente, la fauna de estos continentes era muy semejante. Después, la Antártida se dirigió a su posición actual y se cubrió con su casquete polar. Australia se aisló casi totalmente y por ello su flora y fauna es tan especial.

En la actualidad, la superficie está formada por cinco continentes. La Tierra, sin embargo, es un sistema en constante movimiento y su cara cambiará en el futuro. Dentro de 50 millones de años, el océano Atlántico será casi 2 000 kilómetros más ancho que hoy. La península de Baja California, junto con la parte oeste del estado de California se desplazarán hacia el norte hasta chocar con Alaska. El mar Mediterráneo se comunicará con el océano Índico a través del Mar Rojo. Australia chocará con Nueva Guinea y Las Fili-

pinas. La India disminuirá de tamaño por el choque con Asia. El occidente de África formará un nuevo continente pequeño y Centroamérica se deformará por el empuje de Sudamérica.

Los procesos dinámicos de la Tierra, objetivo de estudio de la tectónica, originan las grandes montañas, la distribución de los volcanes, los terremotos, y la formación de las grandes cuencas oceánicas, entre otros rasgos geológicos. El ciclo de las rocas, los cambios en el nivel del mar y, en cierta forma, las condiciones climáticas de las áreas emergidas de los continentes, también dependen de la dinámica y el movimiento de las placas. Muchos otros procesos, como el metamorfismo,

la formación del relieve topográfico, la generación de yacimientos minerales y de petróleo también tienen una relación directa con los procesos de la tectónica de placas. Aún hay muchos misterios por resolver, por ejemplo ¿qué mueve realmente a las placas?, ¿cuál es la composición y

configuración real del interior de la Tierra?, además de saber con mayor precisión la configuración de los continentes y otras muchas preguntas, para las que las futuras generaciones de estudiosos de la Tierra probablemente encontrarán respuestas. ■

Elena Centeno García

Departamento de Geoquímica, Instituto de Geología, UNAM.

Sara A. Quiroz Barroso

Museo de Paleontología, Facultad de Ciencias, UNAM.

Lecturas recomendadas:

- Robert D. Ballard, 1987. *Exploring our Living Planet*, Ed. National Geographic.

- Ota Kulhánek, 1990. *Anatomy of Seismograms*, Developments in Solid Earth Geophysics, Elsevier, n.18.

- Edward Tarbuck y Frederick Lutgens, 1978. *The Earth, an introduction to Physical Geology*, Mc.Millan Co.

- Readings from Scientific American, 1976. *Continents Adrift and Continents Aground*. Freeman and Co.

- Eldridge M. Moores y Robert J. Iwiss, 1995. *Tectonics*, Freeman and Co.

TABLA GEOLÓGICA

Millones de años antes del presente	ERAS	PERIODOS	ÉPOCAS	Duración de las eras en millones de años
.01	CENOZOICO	Cuaternario	Reciente	65
1.65			Pleistoceno	
5		Terciario	Plioceno	
23			Mioceno	
35			Oligoceno	
56.6			Eoceno	
65			Paleoceno	
145	MESOZOICO	Cretácico	180	
208		Jurásico		
245		Triásico		
290	PALEOZOICO	Pérmico	Carbonífero	325
323				
362		Misisípico		
408		Devónico		
439		Silúrico		
510		Ordovícico		
570		Cámbrico		
4 550	PRECÁMBRICO			3 990