

# OAXAQUIA, HISTORIA DE UN ANTIGUO CONTINENTE

La mayoría de los cambios geológicos de la Tierra ocurren a velocidades demasiado lentas para ser percibidas por los sentidos ordinarios del ser humano. Un volcán permanece activo centenares de miles de años, pero sus erupciones violentas son eventos raros para el lapso de nuestras vidas. De igual manera, los grandes terremotos representan una fracción ínfima del tiempo que ocupa el movimiento lento de las placas tectónicas, pues mientras aquéllos terminan su agitación en unas decenas de segundos, las placas permanecen en movimiento continuo por millones de años. Las montañas de los Himalaya, las más altas del mundo, no han dejado de aumentar su altura desde hace 40 millones de años y actualmente se elevan 2 metros cada milenio, esto es, desde el nacimiento de Cristo, los Himalayas se han levantado poco más del doble de la estatura promedio de un ser humano.

Sin embargo la Tierra tiene huellas y cicatrices que nos hablan de una dinámica extrema, de grandes migraciones continentales, inmensas masas fundidas que ascienden desde el interior del planeta partiendo los continentes en varios pedazos, cambiando el ritmo y rumbo de la evolución de los seres vivos y provocando la destrucción de montañas que antes fueron tan majestuosas como los Alpes o los Himalaya. Estos cambios drásticos y profundos de la faz de la Tierra han ocurrido a lo largo de la historia del planeta, que es muy antigua. 4 500 millones de años se dice fácil, pero si dejásemos caminar una tortuga durante ese tiempo y luego emitiéramos un rayo de luz para que le diese alcance, sus ondas luminosas, que viajan a 300 000 kilómetros por segundo, tardarían varios años para iluminar a la tortuga. Y un continente, moviéndose a la velocidad imperceptible de unos 10 centímetros por año, podría en ese lapso circundar la Tierra más de diez veces.

Por ello, la forma de los continentes que hoy conocemos la veremos siempre igual en nuestras vidas, pero en el pasado geológico ésta ha cambiado formando supercontinentes únicos como Pangea y lue-



Fernando Ortega Gutiérrez

go se han roto como ha sucedido durante los últimos 200 millones de años. Las seis masas continentales que hoy forman las dos Américas, África, Eurasia, Australia y Antártida, dentro de otros 250 o 300 millones de años probablemente vuelvan a reunirse en un nuevo supercontinente, tal vez llamado Panterra.

La ciencia no comprende todavía por qué los continentes se agrupan y se dispersan en ciclos que tienen una duración de 300 a 500 millones de años en promedio. Sin embargo, el conocimiento de la geología de las rocas que afloran en la superficie de la Tierra empieza a revelar estos misterios de la evolución del planeta.

## LA TIERRA Y SUS ROCAS

La superficie de la Tierra presenta en su relieve dos divisiones fundamentales: las cuencas oceánicas y los continentes. Sin embargo, prácticamente todos los continentes han estado sumergidos en el mar y con frecuencia los fondos oceánicos emergen unidos a los continentes. Por ello, la definición geológica de un continente requiere elementos constitutivos adicionales que vayan más allá de su estado actual emergido o sumergido. Así, la composición química y mineralógica de las rocas continentales contrasta notablemente con la de los fondos oceánicos, pues mientras las primeras son ricas en silicio, sodio y potasio, las segundas lo son en hierro, magnesio y calcio. Asimismo, la edad promedio de las rocas continentales es mayor en un factor de diez que la de los fondos oceánicos, y la estructura de los continentes es mucho más compleja que la de las placas oceánicas. De esta manera, con base en la información anterior, un continente puede definirse como una masa de dimensiones planetarias compuesta por rocas ricas en elementos y minerales relativamente ligeros, cuya edad es hasta 20 veces más antigua que la de las rocas más viejas de los fondos de los mares actuales, y que

internamente presenta una estructura y una composición extraordinariamente complejas.

Las rocas son elementos centrales en la reconstrucción de la historia de la Tierra. Sin embargo, aunque los primeros continentes aparecieron probablemente muy al principio de la formación de la Tierra —hace 4 550 millones de años— no existe vestigio lítico alguno de ellos, ya que conforme nacían eran destruidos por la magnitud y la frecuencia de los impactos de asteroides y cometas asociados al crecimiento mismo de los planetas durante los primeros 500 millones de años de su vida. Las rocas más antiguas conocidas en la Tierra datan de hace 4 000 millones de años y han sido encontradas en las raíces de los escudos continentales del Arqueano de Canadá y Australia. Mas la superficie de la Tierra cubierta por esas rocas es ínfima, lo que ha generado una

*La ciencia no comprende todavía por qué los continentes se agrupan y se dispersan en ciclos que tienen una duración de 300 a 500 millones de años en promedio.*

de las controversias más trascendentales de todos los tiempos en las ciencias geológicas, a saber, la forma y el ritmo en que han crecido los continentes.

La idea de que alguna vez los continentes de la Tierra formaron una sola masa y por lo tanto un supercontinente fue propuesta formalmente por Alfred Wegener en 1912. No obstante, en los últimos años ha surgido una idea más general que considera que las masas continentales están sujetas a un misterioso ciclo de coalescencia y dispersión en la superficie terrestre con una duración aproximada de 500 millones de años. Como resultado de este ciclo, antes de Pangea hubo otros supercontinentes como el denominado Rodinia por McMenamin y McMenamin en 1990 y posteriormente caracterizado geográficamente por autores como Hoffman, Dalziel y Moores. Una vez formado el super-

continente Rodinia, hace 1 000 millones de años, un nuevo ciclo tectónico global inició su rompimiento hace 700 millones, dando como resultado principal la aparición de una gran masa continental conocida como Laurencia.

Esta propuesta está lejos de ser aceptada por todo mundo. Hay quienes proponen que prácticamente todas las masas continentales fueron creadas en los primeros cientos de millones de años de la infancia de la Tierra y luego crecieron de manera mínima. Otra corriente sostiene que el crecimiento de los continentes ha sido episódico y que en su mayor parte fueron creados al empezar el Eón Proterozoico hace 2 500 millones de años; mientras otra escuela considera que el crecimiento de los continentes ha sido un proceso esencialmente continuo de agregación de arcos magmáticos a los márgenes de los núcleos continentales, guiado por la dinámica de la tectónica de placas. La incertidumbre fundamental que impide la proposición de una hipótesis que sea aceptada unánimemente se debe a la existencia de grandes lagunas en el conocimiento acerca de la composición del manto de la Tierra y a la manera en que sus elementos e isótopos constitutivos migran de fuentes desconocidas y se adicionan como huéspedes de rocas ajenas, a diferentes profundidades en esta capa, que es, volumétricamente, la más importante de la Tierra.

## GÉNESIS DE UNA IDEA

Las rocas cristalinas del sur de México han llamado la atención de los naturalistas desde el siglo pasado. Alexander von Humboldt adscribió estas peculiares rocas a las épocas más antiguas de la historia de la Tierra, y a principios de este siglo Guadalupe Aguilera lo siguió en su idea. Sin embargo, fue hasta 1962, año en que en México se aplicó el método de fechamiento absoluto por métodos radiactivos, cuando se logró demostrar que las rocas de Oaxaca eran las más antiguas del

sur del país. Asimismo, a partir de su estudio petrográfico se encontró una similitud extraordinaria con rocas de la misma edad procedentes de las regiones de los Adirondacks, en el Noreste de Estados Unidos y Quebec-Ontario en Canadá. Con base en estos hechos, en 1962 los doctores Carl Fries, investigador finado del Instituto de Geología de la UNAM, y Zoltán de Cserna, del mismo instituto, propusieron una relación directa entre estas regiones separadas y dieron el nombre de Orogenia Oaxaqueña al evento que produjo no solamente las rocas de Oaxaca, sino también las de Tamaulipas e Hidalgo. Guzmán y de Cserna extendieron de manera explícita el cratón de América

dinia. Esta hipótesis, que empieza a transformar ciertas ideas sobre la configuración continental de esa época y la naturaleza del primer cinturón orogénico en la historia de la Tierra, nacido de procesos tectónicos como los modernos, ha sido integrada desde hace menos de tres años a la polémica internacional que gira en torno a la reconstrucción de los continentes antes de Pangea, y ya se toma en cuenta en las obras más recientes sobre tectónica global de placas, como en la de Condie, publicada en este año.

La idea de que Oaxaquia nació durante la colisión global de los continentes que misteriosamente convergieron para formar el supercontinente de Rodinia, deri-

que durante esa época se produjeron tipos de roca bastante singulares, como las llamadas anortositas sódicas y charnoquitas (granitos de hiperstena), cuya naturaleza petrográfica y gran abundancia no tienen comparación en la evolución tectónica de la Tierra. En el segmento Grenvilleano de Canadá existen cuerpos anortosíticos individuales con un volumen varias veces superior al conjunto de las rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental, la cual es considerada como la mayor provincia de rocas riolíticas del planeta. La tierra de Oaxaquia nació durante este evento como parte del conjunto orogénico Grenvilleano, el cual fue posteriormente disgregado por la deriva continental y



*C-Chilenia; Cd-Cadonia; Ch-Chortis; Cp-Cardina, Piedmont y Goochland; Cu-Cuyania; D-Dalradia; EA-East Avalonia; I-Iberia; S-Florida;*

del Norte, del sur de Estados Unidos hasta Oaxaca, conformando una larga península que habría actuado como contrafuerte durante las orogenias del Paleozoico.

Fue con base en estos trabajos pioneros que el presente autor se inspiró para proponer la integración de aquellos datos y los nuevos, con la importante diferencia de que no considera esta porción de territorio como una continuación directa del cratón de América del Norte, sino como un microcontinente exótico que posee una historia de desplazamientos y colisiones sumamente compleja desde su formación, hace 1 000 millones, hasta el presente. Nace así la idea de Oaxaquia, un antiguo continente que actualmente es parte constitutiva del territorio mexicano.

Oaxaquia es una región geológica de México todavía hipotética, que se piensa formó parte del gran supercontinente Ro-

va de algunos de los estudios ya mencionados. Este evento, denominado Orogenia Grenvilleana, afectó a la mayoría de los antiguos márgenes continentales durante una época de la historia de la Tierra que abarcó de 1 250 a 950 millones de años antes del presente. Este ciclo orogénico es el primero en la historia de la Tierra que produjo una cadena montañosa alargada y continua, de miles de kilómetros, semejante a los sistemas montañosos actuales Alpinos e Himalaya y a la Cordillera del borde occidental del Continente Americano. Tal vez las investigaciones futuras puedan demostrar que ese fenómeno tectónico dejó la mayor y más profunda cicatriz hasta ahora conocida en la piel cambiante del planeta Tierra.

La Orogenia Grenvilleana perturbó profundamente la estructura y composición de la litósfera terrestre, a tal grado

distribuido en los cinco continentes del presente.

#### OAXAQUIA, LAURENCIA Y GONDWANA

Si en verdad Oaxaquia nació junto a Laurentia —como lo sugieren los estudios paleomagnéticos realizados en la región de Oaxaca por Ballard y colaboradores—, una vez concluida la Orogenia Grenvilleana, hace 950 millones de años, la historia subsecuente de Oaxaquia —comprendida desde esa fecha hasta hace 505 millones de años cuando fue levantada de su cuna, donde había permanecido sepultada tres decenas de kilómetros abajo y cubierta luego por los mares del Cámbrico—, permanece casi por completo en la oscuridad. Por fortuna, las rocas y minerales de Oaxaquia expuestas en Tamaulipas, Hidalgo y Oaxaca registraron la his-

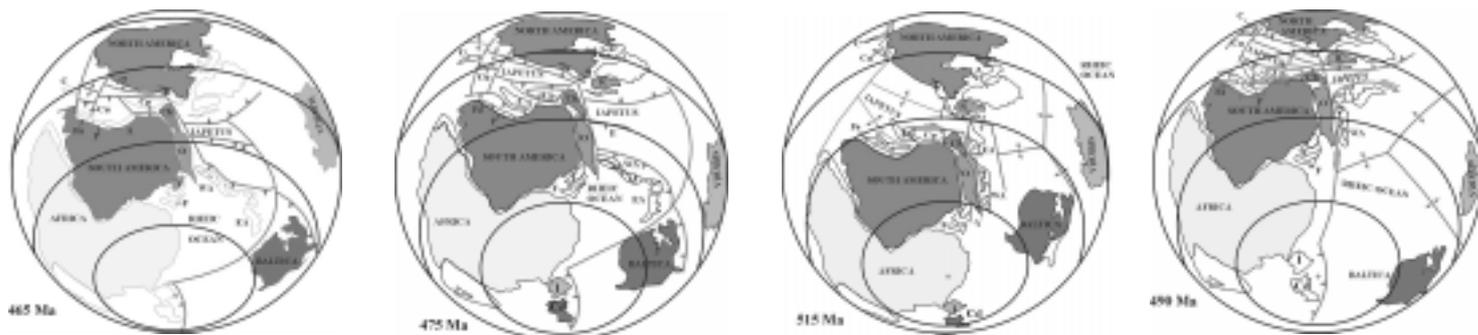
toria de su ascenso en forma de pequeños relojes-termómetros cristalinos que fueron tomando la temperatura y el tiempo conforme el continente se levantaba. Minerales como el zircón, granate, hornblenda, biotita, muscovita y ortoclasa constituyen los relojes térmicos que ilustran la trayectoria curvilínea que siguió Oaxaquia, enfriándose con la extremada lentitud de apenas 4°C cada millón de años.

Es interesante observar que la intersección de la curva con la coordenada vertical del tiempo, extrapolada hasta la temperatura cero (en la superficie), corresponde aproximadamente a 700 millones de años —valor semejante a la edad que por otros métodos se ha propuesto para el ini-

de tres décadas un pequeño afloramiento de apenas 1 km<sup>2</sup>, con rocas marinas que contienen fósiles de esa época (trilobitas y otros grupos de invertebrados), de afinidad paleobiogeográfica indiscutible con Gondwana, pero mucho menor con Laurentia. Este sorprendente hallazgo, sin embargo, no tuvo las consecuencias esperadas en su tiempo, pues entonces la revolución científica de la tectónica de placas no estaba consolidada y por ello la movilidad horizontal de los continentes que implicaba la presencia de faunas exóticas en el registro fósil de determinadas regiones del planeta, como ocurre en Oaxaca, era vista con suspicacia.

Sin embargo, la permanencia cámbrico-

ropa. El Complejo Acatlán del sur de México registró con magnífico detalle en sus rocas, la naturaleza de los fenómenos profundos que ocurren cuando dos masas continentales chocan. En este caso Oaxaquia se sobrepuso a Laurentia, viajando sobre ella varios centenares de kilómetros y consumiendo por completo la parte oceánica de Iapetus que antes los separaba. El resultado del proceso fue la generación de un conjunto de rocas singulares que identifican por sí mismas la presencia de una sutura entre dos placas tectónicas. Estas rocas, todas presentes en la zona de la sutura Acateca, se denominan eclogitas, anatexitas, milonitas y serpentinitas. Las primeras son rocas más



Keppie, J.D. y V.A. Ramos (en prensa) 1996.

*O-Oaxaquia; R-Rockall; WA-West Avalonia; Y-Yucatán; A-Arequipa-Antofalla; Fa-Famatina; P-Puna; T-Notredame-Shelburne Falls.*

cio de la disgregación de Rodinia. La falta de registro estratigráfico en Oaxaquia durante el periodo mencionado, que va de 950 a 505 millones de años, impide por completo conocer la trayectoria horizontal que siguió este continente; es decir, su evolución paleogeográfica durante ese tiempo no puede ser determinada y constituye la historia hasta ahora perdida de Oaxaquia.

Tras la desintegración total de Rodinia, hace cerca de 700 millones de años, y mediante una trayectoria indeterminada, sabemos que Oaxaquia se incorporó a Gondwana al menos hace 505 millones de años, fecha que marca el límite entre los periodos Cámbrico y Ordovícico de la era Paleozoica. Esta afirmación deriva de un hecho afortunado: en la región de Nochixtlán, estado de Oaxaca, Pantoja-Alor y Robinson descubrieron hace más

de Oaxaquia en Gondwana fue audazmente propuesta desde esos años por Dunkan Keppie, quien, sobre esa base paleontológica, planteó que a principios de la era Paleozoica la región del sur de México se encontraba frente a las costas actuales del Perú, es decir, en la margen occidental de Gondwana.

#### LA OROGENIA ACATECA

Tras una ausencia de más de 250 millones de años —sea como un microcontinente separado de Gondwana o como su parte frontal—, Oaxaquia regresó a Laurentia. Este encuentro se produjo como parte de una colisión continental que cerró, a partir del Ordovícico, el Océano Iapetus, surgiendo de este evento las cadenas montañosas de los Apalaches en Estados Unidos y los Caledonianos en Eu-

ropa. Las primeras son rocas más densas que las del manto superior de la Tierra, ya que están formadas por granate, pyroxena y rutilo y se generan a presiones muy elevadas y temperaturas variables en zonas de subducción y colisión. Las segundas (anatexitas) son granitos que surgen por fusión de la corteza en las raíces de las montañas y suelen acompañar a las orogenias de colisión. Las milonitas, como su nombre sugiere, son rocas cristalinas que surgen por la molienda dinámica de sus cristales en zonas de fallamiento profundo, hasta que dichos cristales desaparecen de la vista y llegan a dimensiones micrométricas. Por último, las serpentinitas son masas de roca que representan por lo general zonas hidratadas del manto de la Tierra, transportado durante los empujes orogénicos sobre las rocas de la corteza.

El peso de Oaxaquia y la fricción que produjo su desplazamiento sobre el fondo oceánico Iapetus y el cratón laurenciano, formaron todas esas rocas en el Complejo Acatlán, que representa entonces la sutura de las dos masas continentales y constituye la expresión estructural y petrológica típica de una orogenia de colisión entre dos continentes, a la cual hemos llamado Orogenia Acateca. Dado que los granitos precipitan durante su consolidación pequeños relojes minerales como el zircón, que empiezan a contar fielmente el tiempo transcurrido a partir de su precipitación en el magma, la edad obtenida por este método para las rocas anatexíticas de la sutura (440 millones de años),

corresponde a la parte terminal del Ordovícico. Es decir, pasaron más de 300 millones de años para que Oaxaquia regresara a su seno materno, al tocar nuevamente las tierras de Laurencia, de donde había partido posiblemente hace 750 millones de años. Sin embargo, los ciclos tectónicos que caracterizan la dinámica tectónica hicieron que Oaxaquia quedase nuevamente separada de Laurencia al migrar hacia el hemisferio norte, después de su colisión ordovícica con Gondwana.

#### LA OROGENIA CALTEPENSE

En la región de la tranquila villa de Caltepec en el estado de Puebla, existen evi-

dencias incontrovertibles de procesos tectónicos, magmáticos y metamórficos que actuaron de manera simultánea hace 380 millones de años, definiendo otra orogenia durante el Devónico. Por la magnitud y naturaleza de las unidades geológicas involucradas en esos procesos, es posible reconstruir un cuadro del espectacular choque oblicuo entre la masa continental de Oaxaquia y las tierras emergidas de la destrucción ordovícica de Iapetus. En virtud de que el choque entre las dos masas esta vez no fue frontal, sino en buena parte rasante, la fricción entre las masas produjo la fusión parcial del frente de choque de Oaxaquia y generó lo que hemos bautizado como Granito de Cozahuico.

### EL ESTUDIO DE LAS ROCAS DE OAXAQUIA

Las rocas de Oaxaquia pertenecen al grupo de las metamórficas —aquellas que originalmente eran ígneas o sedimentarias, y posteriormente fueron física, química y mineralógicamente transformadas por el calor interno de la Tierra en rocas cristalinas llamadas metamórficas. Es esencial para la comprensión cabal de la historia geológica registrada en este tipo de rocas, el poder determinar su estado premetamórfico, ya sea que éste haya sido sedimentario, ígneo o ambos. Para ello se recurre a un conjunto de observaciones, mediciones e inferencias en el campo y pruebas en el laboratorio, que por lo general conducen en conjunto a resultados confiables, aun en casos de un metamorfismo extremo de las rocas originales.

Algunas de las rocas de Oaxaquia, a pesar de haber sufrido temperaturas superiores a 700 u 800 °C y haber estado sujetas a presiones de miles de atmósferas en el interior de la Tierra, conservaron la huella inequívoca de su estado anterior ígneo o sedimentario. Por ejemplo, la presencia común de mármoles y gneisses con abundante grafito y cuarzo permite asegurar que estas rocas fueron originalmente sedimentarias (calizas, lutitas y areniscas), pues no existe proceso magmático alguno que logre la concentración del cuarzo o del carbón en las proporciones encontradas en varias de las rocas de Oaxaquia.

Por otra parte, el origen ígneo de sus grandes cuerpos anortosíticos queda al descubierto con la preservación de estructuras primarias de origen magmático, tales como relaciones de intrusión de los distintos cuerpos que componen esas rocas, grandes cristales con caras bien desarrolladas de plagioclasa y piroxena, e intercrecimiento de estos cristales, todo ello característico de las rocas magmáticas cuando cristalizan.

Sin embargo, no basta con determinar el estado inicial de la roca metamorfoseada; es igualmente importante conocer su ambiente tectónico de depósito o emplazamiento, ya que ello nos puede ayudar a predecir la historia posterior de su evolución. Las rocas ígneas, por ejemplo, se forman en tres grandes ámbitos de la tectónica global de placas: arcos magmáticos, cuencas oceánicas y en el interior de los continentes. Las rocas sedimentarias, igualmente, se depositan principalmente en los márgenes y plataformas continentales así como en las cuencas oceánicas.

La afinidad tectónica de las rocas (litolitotónica) se determina en la actualidad con el estudio geoquímico de ciertos de sus elementos traza y tierras raras. Este tipo de estudios fue empleado en el caso de las rocas de Oaxaquia que afloran en Hidalgo (Gneiss Huiznopala) y se está usando ahora en las rocas de la región del Complejo Oaxaqueño. Los resultados obtenidos en el primer caso han sido claros, ya que señalan la existencia de un arco magmático como la más antigua unidad tectónica (1 200 millones de años de edad) precursora de los granitos metamórficos (charnoquitas) del Gneiss Huiznopala, lo cual difiere de las inferencias hechas por mí en 1979, cuando propuse para las rocas del Complejo Oaxaqueño un ambiente de fosa tectónica (opuesto al de arco) con base en observaciones de campo y química de elementos mayores.

Sin embargo, considerando la compleja evolución paleogeográfica del Cinturón Grenvilleano, que incluye zonas de convergencia (arcos) así como de divergencia (cuencas oceánicas y fosas tectónicas continentales), ambos modelos son compatibles. Es muy probable que eventualmente en Oaxaquia se lleguen a determinar varios de estos elementos paleogeográficos, originalmente separados pero actualmente en contacto por el empuje orogénico que sufrieron durante la Orogenia Grenvilleana, localmente denominada en 1965 Orogenia Oaxaqueña por Carl Fries y colaboradores.

Esta intrusión magmática tiene varios kilómetros de ancho y ocupa una posición intermedia entre el Complejo Acatlán (Iapetus-Laurencia) y el Oaxaqueño (Gondwana).

Los movimientos relativos de Oaxaquia —su deslizamiento hacia el sur con respecto a Laurencia—, junto con los restos del fondo oceánico de Iapetus representados en el Complejo Acatlán, provocaron pliegues, flujo plástico y metamorfismo en toda esta nueva zona de colisión, cuya expresión tectónica hemos denominado Orogenia Caltepeense. La generación del Granito de Cozahuico por fusión parcial (anatexis) de la parte frontal de Oaxaquia durante este segundo encuentro con

el antiguo continente de Laurencia, permitió fechar la época en que esto ocurrió. Los efectos de una orogenia como ésta no se limitaron a los 7 km comprendidos en la zona de contacto de la Falla de Caltepec, entre Oaxaquia y Laurencia, sino que se extendieron por todo el Complejo Acatlán, provocando un intenso plegamiento que en conjunto acortó hasta 60% el ancho original de la zona geográfica afectada, engrosando la corteza considerablemente. Al final de esta orogenia, Laurencia se separó completamente de Gondwana, originando un nuevo océano conocido como Herciniano, el cual habría de extinguirse también al formarse el último de los supercontinentes,

Pangea, entre el Pensilvánico y el Pérmico al final de la era Paleozoica.

#### LA OROGENIA OUACHITA

El contacto más reciente entre Laurencia y Oaxaquia ocurrió hace aproximadamente 270 millones de años, durante un evento tectónico conocido como Orogenia Ouachita. Ésta afectó todo el margen meridional de Laurencia, desde el estado de Arkansas en Estados Unidos, hasta el de Baja California Norte en nuestro país. Con certeza casi absoluta, hoy se sabe que la porción centroccidental de Gondwana, y particularmente la región noroccidental de lo que es actualmente América del Sur,



Armando Salas Portugal



Armando Salas Portugal

colisionó con Laurencia para formar el último de los supercontinentes de la historia de la Tierra, conocido como Pangea, extinguiendo el último de los océanos del Paleozoico. Durante este choque, Oaxaquia habría ocupado una gran parte del frente de colisión, modificando profundamente su estructura y composición litológica, para quedar nuevamente y hasta nuestros días adherida al antiguo continente de Laurencia, donde había nacido 1 000 millones de años atrás. Desafortunadamente, las evidencias geológicas de este choque fueron sepultadas por formaciones más jóvenes que cubrieron toda la sutura orogénica en la región norte del país.

#### LOS PROBLEMAS DE UNA HIPÓTESIS

A pesar de una gran cantidad de hechos que apoyan la existencia del microcontinente mexicano, hay algunos datos difíciles de acomodar en la hipótesis de Oaxaquia, como aquellos que sugieren que las rocas precámbricas del estado de Oaxaca no formaban un continuo con las de Tamaulipas e Hidalgo, lo que, en consecuencia, indicaría la inexistencia de Oaxaquia. Es indudable, por ejemplo, que la cadena de volcanes que cruza México a lo largo de su porción central constituye una fractura profunda que bien pudiera representar una discontinuidad antigua que marcaría un límite real entre el cratón de Amé-

rica del Norte y las tierras de Gondwana. También es cierto que a pesar de tantas semejanzas entre los gneises precámbricos del norte y sur de Oaxaquia, existen diferencias que hacen pensar en historias distintas para su evolución geológica y por ende en la posibilidad de que hayan pertenecido a continentes separados.

Una manera de juzgar hasta cierto punto la validez del concepto de Oaxaquia como una masa continua de rocas precámbricas que se extiende desde Oaxaca hasta Tamaulipas, es estimando la probabilidad de que por azar se junten dos masas, una al norte y otra al sur de la Faja Volcánica Transmexicana o Eje Neovolcánico, con características geológicas similares a

las que a continuación se mencionan: 1) ambas regiones están en la facie metamórfica de granulita; 2) ambas regiones presentan una orientación de sus estructuras tectónicas en el cuadrante NW; 3) en las dos áreas los complejos anortosíticos forman una parte característica de sus afloramientos; 4) estas anortositas se cuentan entre las más jóvenes del Cinturón Grenvilleano a nivel mundial; 5) la historia de enfriamiento postorogénico de las dos regiones es semejante; 6) ambas partes tienen una composición de sus isótopos de plomo y neodimio comparables; 7) la culminación térmica de su metamorfismo tiene una edad similar.

La probabilidad para cada evento se estima considerando la extensión del Cinturón Grenvilleano afectado por el evento contra su extensión total. Por ejemplo, se calcula de manera aproximada que la mitad del cinturón donde aflora fue afectado por esa facie metamórfica, de tal manera que la probabilidad de que dos de las partes del Cinturón Grenvilleano global migren independientemente y se junten luego por azar es de 1/2 (0.5). Para el resto de los eventos mencionados (puntos 2 a 7), burdamente las probabilidades estimadas son respectivamente, 0.25, 0.20, 0.20, 0.167, 0.5 y 0.25.

Ahora bien, la probabilidad de que estos siete eventos similares se hayan dado

en dos fragmentos originalmente separados y luego reunidos por azar en el Cinturón Grenvilleano es el producto de todas las probabilidades individuales, es decir  $0.5 \times 0.25 \times 0.20 \times 0.20 \times 0.167 \times 0.5 \times 0.25$ , lo cual nos lleva a la bajísima probabilidad de 0.0000104 de que esto ocurra. Es pues, casi 10 000 veces más probable que improbable el que los segmentos norte y sur de las rocas precámbricas

### *Tras una ausencia de más de 250 millones de años, sea como un microcontinente separado de Gondwana o como su parte frontal, Oaxaquia regresó a Laurentia.*

mexicanas, desde Tamaulipas hasta Oaxaca, formen una masa que ha permanecido esencialmente continua desde su nacimiento, hace 1 000 millones de años, hasta el presente.

Oaxaquia, por lo tanto, constituye una hipótesis altamente probable, pero sujeta a comprobación o bien rechazos en función de los resultados que arrojen las nuevas investigaciones en proceso.

#### ALGUNAS CONSECUENCIAS

Si la hipótesis de Oaxaquia es correcta, estas son algunas de las consecuencias más importantes con repercusión mundial

que tendría para el entendimiento de esta parte de la historia geológica de la Tierra.

Implicaría la integración de más de 1 millón de km<sup>2</sup> a las reconstrucciones futuras de Rodinia y del cinturón orogénico Grenville.

Los extremos norte y sur de Oaxaquia tomarían el papel de unidades tectónicas truncadas y cruciales para comprobar la bondad de algunos modelos de reconstrucción de Rodinia propuestos hasta la fecha.

El estudio geológico de los márgenes de Oaxaquia desempeñaría un papel fundamental para determinar las interacciones orogénicas de Gondwana y Laurentia durante el Paleozoico.

Considerando la dimensión tridimensional de Oaxaquia (> 30 millones de km<sup>3</sup>) es interesante plantear la búsqueda de mecanismos tectónicos que expliquen el levantamiento simultáneo de esa masa o de bloques litosféricos aún mayores, desde su origen a varias decenas de kilómetros de profundidad, hasta la superficie.

Dado el elevado porcentaje de rocas anortosíticas que caracteriza a las rocas de Oaxaquia a lo largo de sus casi 1 000 kilómetros de longitud, el volumen de la corteza anortosítica del planeta generado durante el Proterozoico Medio por la Orogenia Grenvilleana se incrementaría notablemente. ■

#### Fernando Ortega Gutiérrez

Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

#### Referencias bibliográficas

- Ballard, M.M., van der Voo, R. and Urrutia-Fucugauchi, J., 1989. Paleomagnetic results from the Grenvillian-aged rocks from Oaxaca, Mexico: evidenced for a displaced terrane. *Precambrian Research*: 42, pp. 343-352.
- Condie, K.L., 1997. *Plate tectonics and crustal evolution*. 4a. ed. Oxford, Butterworth-Heinemann, 282 p.
- de Cserna, Z., 1971. Precambrian sedimentation, tectonics and magmatism in Mexico. *Geol. Rundsch.*: 60, pp. 1488-1513.
- Dalziel, I.W.D., 1991. Pacific margins of Laurentia and East Antarctica-Australia as a conjugate rift pair: Evidence and implications for an Eocambrian supercontinent. *Geology*: 19, pp. 598-601.

*Geology*: 19, pp. 598-601.

- Fries, C. Jr., Schmitter, E., Damon, P.E., Livingston, D.E., and Erickson, R., 1962. Edad de las rocas metamórficas en los cañones de La Peregrina y Caballeros, parte centro-occidental de Tamaulipas. *UNAM, Instituto de Geología Boletín*: 64, pp. 55-69.
- Hoffman, P.F., 1991. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside out? *Science*: 252, pp. 1409-1412.
- Keppie, J.D. y V.A. Ramos (en prensa). Odyssey of Terranes in the Iapetus and Rheic Oceans during the paleozoic, en: Ramos, V.A. y Keppie, J.D. (eds.) *Laurentia - Gondwana connections before Pangea*. Geological Society of America Special Paper.
- Lawlor, Ortega-Gutiérrez, F., Cameron, K.L., Ochoa-Camarillo, H., Lopez, R., and Sampson, D.E., (en prensa) U/Pb Geochronology, Geochemistry and provenance of the

Grenvillian Huiznopala Gneiss of Eastern Mexico. *Precambrian Research*.

- McMenamin, M.A.S., and McMenamin, D.L.S., 1990. *The emergence of animals: The Cambrian breakthrough*. New York, Columbia University Press.
- Moores, E.M., 1991. Southwest U.S.-East Antarctic (SWEAT) connection: A hypothesis. *Geology*: 19, pp. 425-428.
- Murphy and Nance, 1991. *Geology*: 19, p. 469.
- Ortega-Gutiérrez, F., Ruiz, J., y Centeno-García, E., 1995. Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic. *Geology*: 23, pp. 1127-1130.
- Pantoja-Alor, J. and Robison, 1967. Paleozoic sedimentary rocks in Oaxaca, Mexico. *Science*: 157, pp. 1033-1035.
- Wegener, A., 1912. Die Entstehung der Kontinente. *Geologische Rundschau*: 3, No. 4, pp. 276-292.