

# Historia de los Continentes y de los Océanos

La formación del supercontinente de Rodinia y su desintegración. La formación del supercontinente de Gondwana y su relación con Laurentia. La evolución tectónica paleozoica. La formación del Pangea y su desintegración. El nacimiento de los océanos mesozoicos. El levantamiento de los últimos cordones montañosos en la Tierra durante los últimos 20 millones de años.

## Apertura

Todo libro posee su capítulo más tedioso y estamos en condiciones de afirmar que, probablemente, este lo sea. La forma en la cual los continentes se armaron, encajaron unos con otros, se fragmentaron, para nuevamente armarse y desarmarse merece atención especial pero constituye una de las páginas más caóticas e impredecibles de nuestro libro. Una metáfora que suele emplearse al momento de describir el comportamiento errático de los continentes que conocemos a través de la estudiada Tectónica de Placas, o de los fragmentos que han compuesto a los mismos, es la de los autitos chocadores. Estos, los autitos o los continentes que es lo mismo, se desplazan por la pista chocando, eventualmente, unos con otros hasta encontrar nuevas direcciones en las que evadirse. Sin embargo, ciertas colisiones terminan por involucrar a varios de ellos hasta, eventualmente, provocar que la gran mayoría se arrincone en un sector de la pista y permanezcan en este estado durante unos segundos. La metáfora es interesante y, de alguna manera describe la evolución de los continentes y océanos a través del tiempo: veremos que las masas continentales tienen una predisposición a reunirse en cierto rincón del globo terrestre por algunos millones de años a partir de procesos de colisión generalizados. Estas colisiones involucran cierre de océanos y levantamiento de montañas. Estos ciclos, en los cuales los océanos más importantes de la Tierra, se han consumido al unísono a medida que cordones montañosos de colisión se alzaron, ocurren cada 300 a 500 millones de años. Aún las masas continentales actuales se recuperan de su última gran colisión grupal que condujo a la formación del supercontinente de Pangea, alejándose en su mayoría unos de otros. Pasará algún tiempo hasta que encajen de alguna forma en algún rincón del globo.

---

## Primer Acto

---

### El Problema

La metáfora de los autitos chocadores carece de una explicación razonable acerca del porqué los autos, o los continentes, se separan y reanudan su marcha previa luego del colapso generalizado que formó la gran aglomeración de tránsito, o el supercontinente. Para entender este proceso debemos hablar del calor interno que se produce en la Tierra y de la forma en el cual éste es liberado hacia la superficie. La Tierra emite calor interno que nada tiene que ver con aquél que refleja a través de su superficie que proviene del sol. Este calor interno es, en parte, antiguo (inicial, primigenio) derivado de los estadios en los cuales nuestro planeta se formó. Aún la Tierra se enfría al igual que otros planetas. Otra fracción de ese calor interno tiene que ver con la emisión de energía por parte de elementos radiactivos contenidos en las rocas profundas y superficiales, tal como se ha introducido en el capítulo anterior. Esos elementos se van transformando en otras especies y esa transformación está asociada a la liberación de calor. Algún día los elementos radiactivos de la Tierra se habrán agotado y transformado en nuevos elementos y, también, se habrá liberado el calor primigenio de formación del planeta.

---

### 1. Continentes que revientan

---

Retomando el tema del porqué las concentraciones de autitos chocadores tienden a dispersarse, o dicho de otro modo por qué los supercontinentes luego de formarse, tienden a desintegrarse; su explicación radica en la naturaleza misma de los materiales que componen las masas continentales. Su composición hace que los continentes sean malos conductores del calor que se emite desde el interior terrestre hacia la superficie, por ejemplo en comparación con los fondos oceánicos que lo liberan con más facilidad. Esta dificultad provoca que el calor, al llegar a la base de un continente, tienda a escaparse por sus bordes al encontrar el fondo oceánico adyacente. Cuando los continentes crecen en forma desproporcionadamente grande, como en el caso de un supercontinente, el calor no logra llegar con facilidad a los márgenes continentales, por lo que es retenido en su base provocándose su sobrecalentamiento (**Figura 8.1**). El resultado es que, los supercontinentes, pocos millones de años luego de haberse formado, se hinchan como una torta sobrecalentada, agrietándose en su parte superior y ascendiendo hasta fragmentarse en nuevos continentes más reducidos separados por nuevos fondos oceánicos, cuyo tamaño permita una efectiva liberación del calor terrestre a través de sus márgenes.

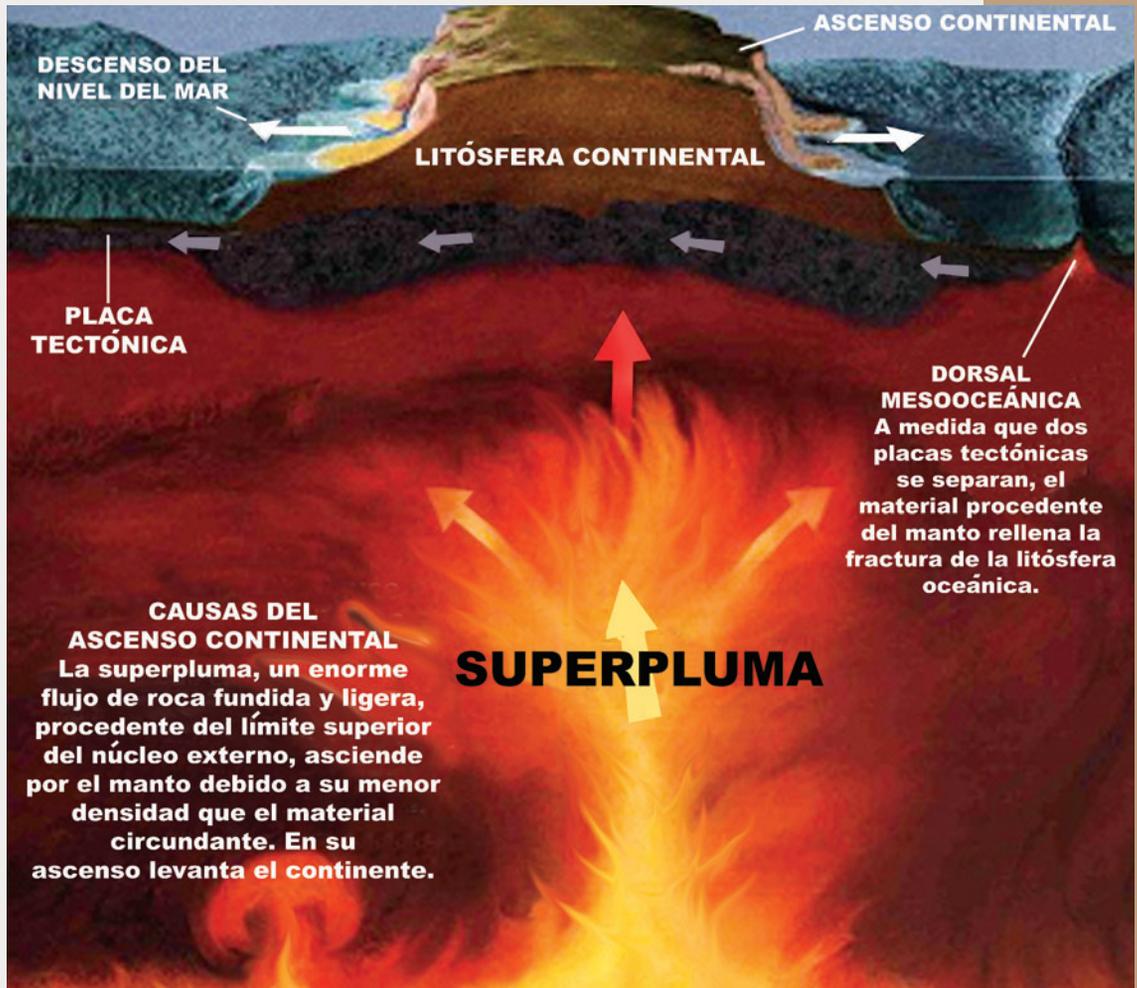


Figura 8.1. Eliminación del calor interno terrestre que asciende por debajo de una masa continental.

Modificado de Gurnis, Scientific American n° 20

La mala conductividad calórica de las masas continentales provoca que el calor encuentre vías de escape más efectivas en sus bordes, ya que los fondos oceánicos son mejores conductores calóricos. Los supercontinentes dificultan este proceso provocando sobrecalentamiento de estas masas anómalamente grandes y su subsecuente ruptura.

## 2. Un libro de piedra escrito a través de 4.000 millones de años

En el capítulo 6 se ha mencionado un tipo particular de rocas, las ígneas. Éstas constituyen el gran volumen de los continentes y, tal como se ha indicado, se forman a través de procesos de subducción de corteza oceánica por debajo de los márgenes de los mismos, procesos de ruptura continentales a

través de sistemas de rifts y plumas. A través de los millones de años y a través de la superposición de los eventos descritos, las masas continentales crecen al aditarse nuevos volúmenes de magmas a sus márgenes y su interior. Los procesos de subducción de corteza oceánica, así como aquellos ligados a la colisión de masas continentales deforman a las rocas ascendiéndolas y formando montañas. Las montañas quedan expuestas a los fenómenos superficiales que degradan la superficie terrestre, particularmente, colapsos de rocas en la forma de avalanchas y profundas cicatrices impuestas por los ríos, los glaciares y a veces incluso por los fuertes vientos. Estos producen en los sectores montañosos valles que pueden llegar a cientos de metros de profundidad. Para producirlos, los glaciares y los ríos han removido enormes cantidades de material a través de la lenta incisión del relieve. Ese material es acarreado dentro del volumen de hielo o agua hacia sectores más allá de las montañas en los cuales, producto del derretimiento o pérdida de velocidad del flujo, es depositado en el fondo de lagos, lagunas, planicies de ríos de llanuras, o inclusive en las plataformas marinas. La sucesión de camadas de partículas provenientes de la desintegración de montañas conforma estratos (Figura 8.2). Estos estratos albergan, además, los restos de la vida, o fósiles que habitaba en los medios antes mencionados. Al haber variado la vida en formas a través de los millones de años, el análisis de los diferentes estratos y de sus fósiles, permite inferir el paso del tiempo (Figuras 8.3 y 8.4).



Figura 8.2. Estratos inclinados formados en el fondo de una plataforma marina hace unos 190 millones de años dada la edad de los restos fósiles que contienen. Su inclinación se debe a que el proceso de subducción de corteza oceánica ha desarrollado montañas en este sector de los Andes intermitentemente desde hace unos 120 millones de años.

Existen estratos tan antiguos como 3.800 a 4.000 millones de años que albergan restos de la vida cuando ésta era tan sólo unicelular. Los estratos en la Tierra han mostrado la enorme variabilidad y complejización por las que ha incursionado la vida en el tiempo.

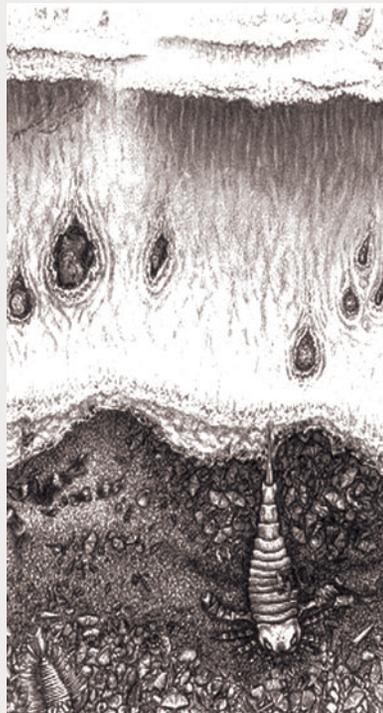


Figura 8.3. Asociación de organismos que habitaron las plataformas marinas hace unos 430 millones de años y que suelen ser encontrados en estratos de esa edad ascendidos en diferentes cordilleras de la Tierra.  
Autores del Dibujo: Turazzini y Ercoli.

---

## Segundo Acto

---

### 3. Rodinia, Gondwana, Laurasia y Pangea o la historia de nunca acabar

---

El supercontinente más antiguo del cual se cuenta con una certeza aceptable, en cuanto al ordenamiento general de las piezas que le dieran origen, es el de Rodinia (**Figura 8.4**). Este gran continente se formó a través del cierre de una serie de cuencas oceánicas que conllevó a la formación de una serie de cadenas montañosas de colisión, comúnmente reunidas en la fase de deformación Greenvilliana. Estas cadenas, dada su edad avanzada, han sido borradas de la faz de la Tierra por subsecuentes fenómenos de desgaste del relieve montañoso debido a la acción de glaciares y ríos. Sin embargo se han conservado sus raíces que han sido fechadas por métodos radimétricos, tales como los expuestos en el anterior capítulo, en unos 1.100 a 1.000 millones de años. Los fenómenos colisionales generan altas condiciones de presión y temperatura debido a la superposición de dos placas en la zona de deformación, lo que conlleva a la transformación de los minerales que forman las rocas en esas áreas en nuevos tipos minerales. Estas nuevas especies se forman en el momento en el cual la colisión se desarrolla por lo que la determinación de su edad indica, puntualmente, la edad de colisión.

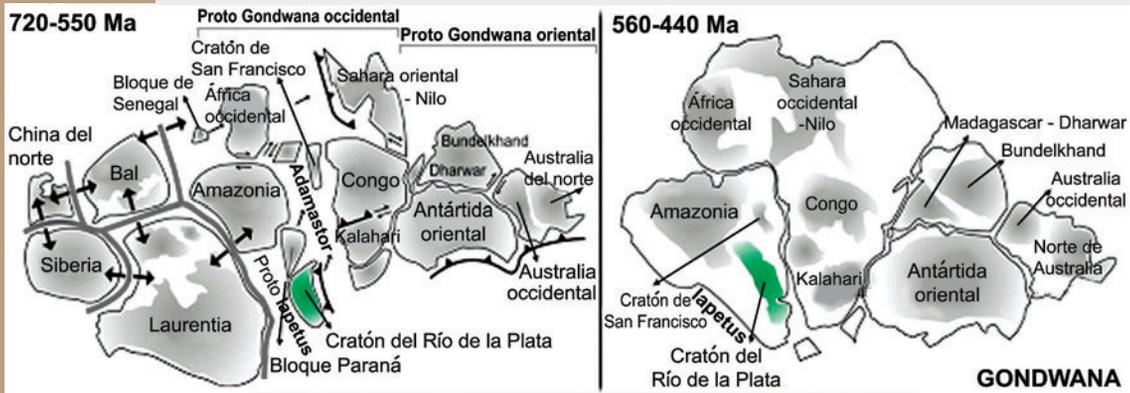


Figura 8.4. Supercontinente de Rodinia a la izquierda formado hace unos 1100 millones de años y desintegrado a partir de unos 700 millones de años y de Gondwana, a la derecha, formado a partir de la desintegración del primero hace unos 550 millones de años.

**Nótese para el primer caso que sólo algunas piezas continentales actuales pueden ser parcialmente reconocidas, mientras que para el segundo los grandes continentes surgirán como parte de su desintegración. Nótese que los porteños, santafesinos, uruguayos y sudbrasileros ocupábamos una posición intermedia entre Norteamérica (Laurentia) y algunos bloques que luego formarían Africa a los tiempos del Rodinia.**

Por los fenómenos de sobrecalentamiento antes expuestos, Rodinia ha sido una configuración inestable que derivó en múltiples sistemas de rifts con edades fechadas en unos 700 millones de años a más jóvenes, dada la edad determinada para las rocas ígneas asociadas a los mismos. Algunos sistemas de rifts siguieron evolucionando en cuencas oceánicas que, a partir de su crecimiento, dispersaron las piezas que habían integrado al supercontinente de Rodinia. Sin embargo gran parte de esos nuevos océanos precozmente empezaron a cerrarse a través de nuevas zonas de subducción que alimentaron arcos volcánicos sobre el perímetro de algunos continentes que así empezaron a acercarse. Las primeras colisiones desarrolladas con posterioridad a la desintegración del Rodinia comenzaron a ocurrir casi al tiempo del inicio de la misma, sin embargo, el clímax de procesos colisionales ocurrió hace unos 550 millones de años y el resultado fue la formación de un nuevo supercontinente: El Gondwana, que poseería una larga vida cercana a los 400 millones de años (Figura 8.4). La formación del mismo también se asoció a múltiples cadenas de colisión agrupadas en lo que se conoce como ciclo Brasiliano. Los restos de estas colisiones, al igual que en el caso anterior, están representados por raíces de sistemas montañosos arrasados de la faz terrestre que poseen minerales fechados mediante métodos radiométricos en el intervalo 700 a 550 millones de años atrás.

Veremos que Laurasia y Pangea representan otras dos configuracio-

nes supercontinentales desarrolladas en los últimos 400 millones de años. Nos encontramos transitando la fase de desintegración póstuma del Pangea que comenzó hace 180 millones de años. A juzgar por la historia aprendida, quizás en unos 50 a 100 millones de años, nuevas zonas de subducción se desarrollen en los márgenes de algunos continentes dando lugar al comienzo del cierre de los océanos que conocemos, actualmente, para desembocar en la formación de un futuro supercontinente tal como algunos científicos ya pronostican. Esta historia se repetirá mientras exista calor emitido desde el interior de la Tierra, que provoque que los continentes estallen en múltiples sistemas de rifts que, eventualmente, deriven en nuevos océanos, que produzcan la deriva de los continentes.

---

#### 4. Gondwana: Un supercontinente obstinado

---

Pero regresemos a la fase en la cual el supercontinente de Gondwana terminó por desarrollarse hace 550 millones de años. Este supercontinente tendría una evolución relativamente particular: Lejos de haberse puramente fragmentado en forma paroxística, tiempo después de su formación, hecho que de alguna manera ocurriría unos 400 millones de años más tarde con la formación de los océanos Atlántico, Índico y Mar de Weddel, precozmente eyecta continentes a través del desarrollo de sistemas de rifts que derivaron en océanos. Para ser más claros, toda la zona norte del Gondwana experimentaría en forma recurrente fenómenos de extensión que conducirían al desarrollo de sistemas de rifts que, eventualmente, generarían fondos oceánicos. Así, olas de continentes serían eyectados hacia el norte, hasta derivar en fenómenos colisionales contra el sur de Asia y Europa, en al menos en cuatro oportunidades. Mientras el sector norte de Gondwana concentraría este comportamiento por unos 400 millones de años (para ser más exactos, luego de su desintegración este comportamiento persistió con la eyección hacia el norte de la India y Arabia), su sector sur constituyó una zona de subducción del fondo oceánico adyacente que se asoció al desarrollo de un arco volcánico que, intermitentemente, convivió con fenómenos de levantamiento de montañas. La primera ola de continentes eyectados hacia Asia por parte de Gondwana ocurrió rápidamente, luego de su formación. Esta generación de continentes entre los cuales se encuentra la famosa Avalonia, colisionaría contra Eurasia conformando, actualmente, los fundamentos de gran parte de la Europa más austral. Gran parte de lo que hoy es Europa pertenece a nuestra precursora Gondwana de la cual surgiría gran parte de Sudamérica. En la peregrinación de estos continentes hacia la vieja patria se abriría un océano tras su paso, denominado el Reico y se consumiría otro por delante (hacia el norte), a través de zonas de subducción, el Iapetus-Tornquist (**Figura 8.5**).

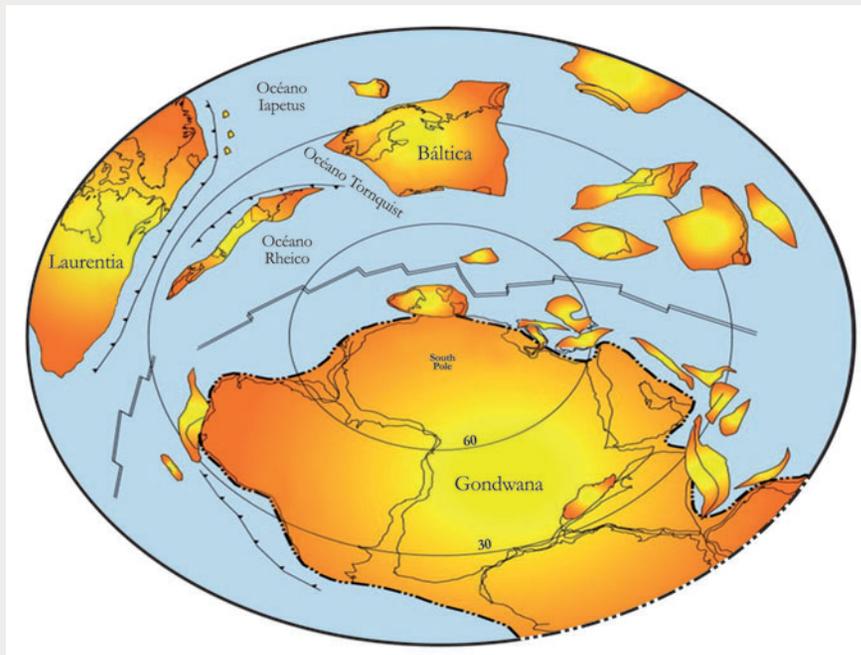


Figura 8.5. El supercontinente de Gondwana hace unos 460 millones de años y su interrelación con otras piezas continentales

Nótese que mientras el sector sur de Gondwana era un sector de subducción de corteza oceánica (indicado por la línea con triángulos negros), el que intermitentemente se asoció a la formación de montañas, el límite norte se asocia a una dorsal centrooceánica que conduce a que, continentes de procedencia gondwánica, se alejen hasta impactar con Laurentia (Norteamérica) y Báltica (Europa nordoccidental). Este comportamiento dual del supercontinente de Gondwana, experimentando fenómenos de subducción en su sector sur y fenómenos de ruptura continental en el sector norte, con la consecuente formación de nuevos océanos, se repetirá unas cuatro veces a lo largo de cientos de millones de años

## 5. Últimas imágenes de una peculiar historia

Indistintamente, Laurasia y Báltica, dos masas continentales surgidas a partir de la ruptura del Rodinia, que no participaron del supercontinente de Gondwana, recibieron los coletazos de múltiples fragmentos continentales eyectados desde el sur. Sin embargo, el mayor proceso colisional acaecido en sus márgenes, hasta la fecha, derivaría en una colisión entre las mismas (Figura 8.6). Hace unos 420 millones de años el océano se interpuso entre ambas y se reduciría a través de zonas de subducción hasta desaparecer en una gran colisión. Los restos, o raíces, de aquellas montañas son conocidos como cordillera Caledónica y, hoy en día, yacen en sectores costaneros de la península

Escandinava y Norteamérica donde no se desarrollan procesos de subducción. La apertura del Océano Atlántico Norte, unos 350 millones de años más tarde, partiría esta cadena colisional en dos, transportando sus dos mitades miles de kilómetros una de otra.

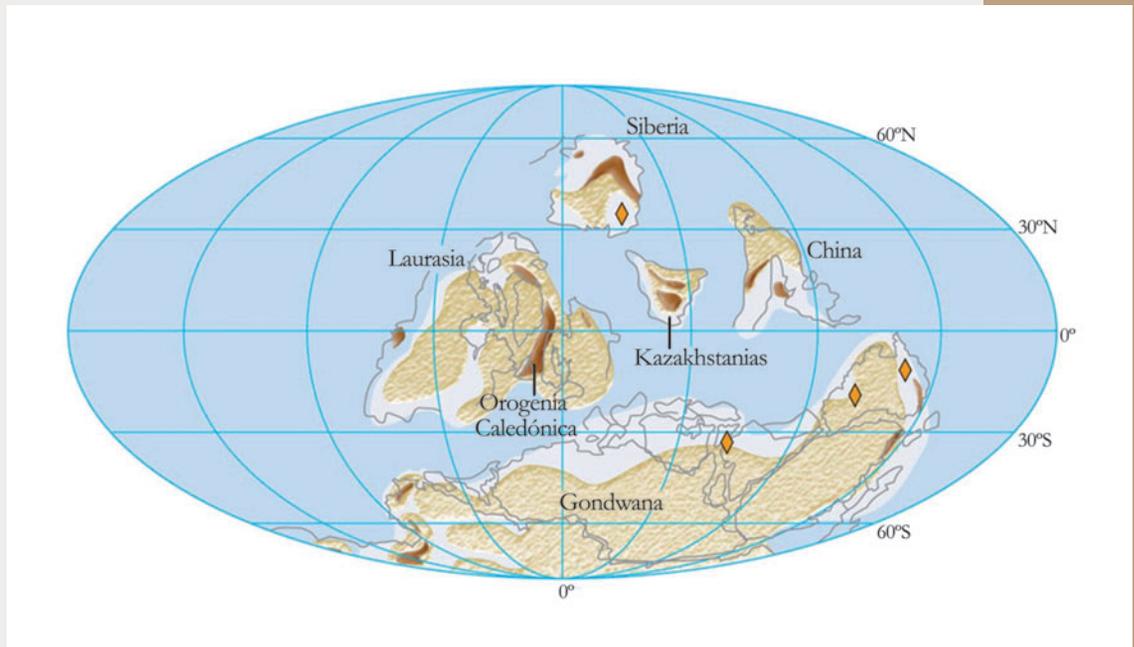


Figura 8.6. Una colisión entre los continentes de Laurasia (Norteamérica) y Báltica (Europa nordoccidental) hace aproximadamente 420 millones de años trajo aparejada la formación de los Caledónides, una cadena de colisión, cuyos restos hoy se encuentran dispersos en ambas márgenes del Océano Atlántico norte luego de la apertura del mismo 300 millones de años después. Modificado de Scotese (2005)

El continente formado a partir de esta colisión recibe el nombre de Laurasia (Figura 8.6). Dos gigantes pesados, Gondwana y Laurasia, reunieron por entonces la mayor cantidad de fragmentos continentales existentes, a excepción de la zona de Siberia, China y otros fragmentos que conformarían, luego, parte del continente Asiático. Estas dos grandes masas colisionarían entre sí hace 280 millones de años para formar Pangea, un continente de particulares y grandes dimensiones. Grandes cadenas de colisión se formaron a partir de este proceso denominadas Alejuénides en forma genérica. La posterior apertura del océano Atlántico durante las etapas iniciales de ruptura del Pangea rompería estas cadenas distribuyendo sus retazos entre los continentes Sud y NordAmericano, África y Europa (Figura 8.7).

Tardíamente el continente de Siberia colisionó con la gran masa de Pangea produciendo una cadena de colisión cuyos restos se encuentran, actualmente, representados por los montes Urales. Llegado este estadio, el tamaño de Pangea llegó a ser excepcional. Tal como sus antecesores, Pangea se tornó inestable ante la imposibilidad de transmitir el calor interno de la

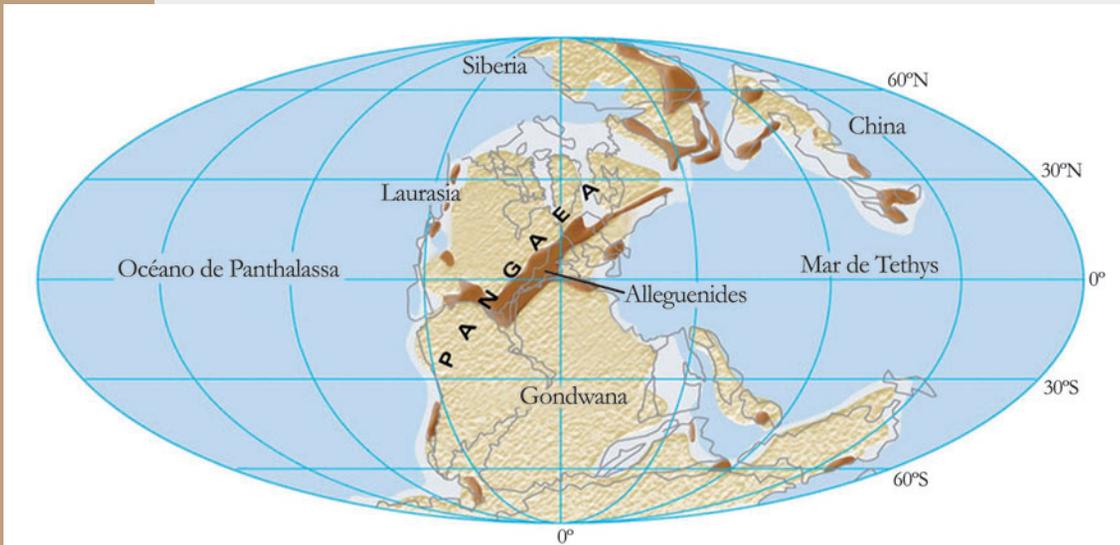


Figura 8.7. Laurasia una vez formado colisionó contra el ya por entonces viejo supercontinente de Gondwana hace 280 millones de años formando los Aleguénides o la cadena Hercínica tal como se conoce a esta fase de deformación en Europa. El resultado fue un peso pesado de los supercontinentes, el supercontinente de Pangea. Modificado de Scotese (2005)

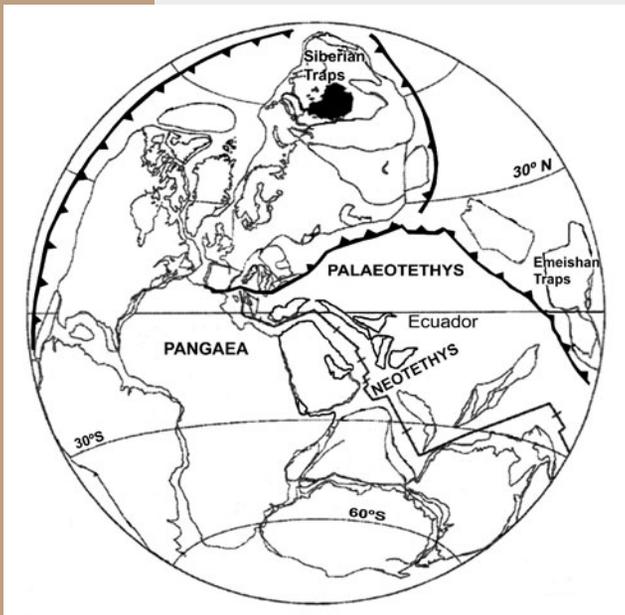


Figura 8.8. Ola de continentes eyectados desde el norte de Gondwana hace 250 millones de años, con el consecuente cierre del océano Paleotetis y la consecuente apertura del Neotetis (modificado de Torsvik y Cocks, 2004). Producto de estas colisiones se formarán una serie de cadenas de colisión en el entonces sector austral del continente euroasiático.

Tierra hacia la superficie. El hinchamiento de su sector central conllevó a fenómenos extensionales asociados a múltiples sistemas de rifts que, descomprimiendo el manto por debajo del continente, produjeron fundidos que ascendieron hacia la superficie. Grandes volúmenes de lavas fueron eruptadas sobre Siberia tan sólo 30 millones de años después de su colisión con Pangea, preanunciando la incipiente ruptura del gran supercontinente (Figura 8.8).

A medida que Pangea comenzaba su desintegración, Gondwana, formando parte de la misma, continuaba con su clásico comportamiento primigenio: nuevas olas de continentes eran eyectados consumiendo el océano Paleotethys, dirigidos contra los sectores asiáticos. De esta manera se inaugura un comportamiento en el cual un supercontinente expele fragmentos que colisionarán con la otra faz del mismo, dado su gran tamaño.

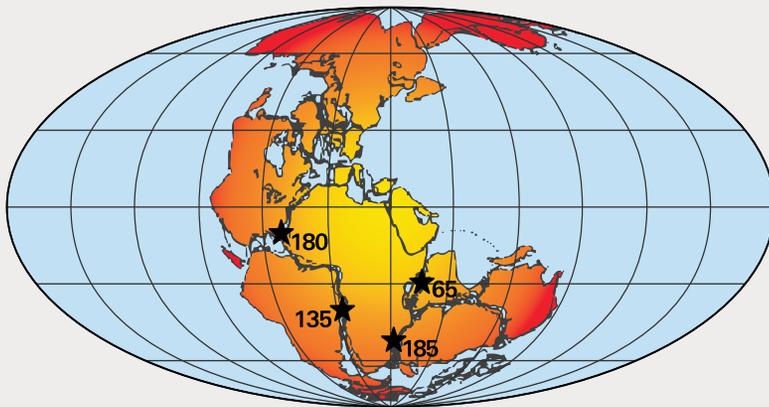


Figura 8.9. Principales zonas de magmatismo (puntos calientes) asociadas a sistemas de rifts que han conllevado a la ruptura del Pangea desde hace unos 190 a 180 millones de años atrás.

Estos volúmenes ígneos, asociados a extensión, han antecedido la formación de los océanos que se generarían a partir de ellos. Nótese que el punto caliente más antiguo es aquél que se superpone a la que sería la línea de costa entre el continente antártico y África, conllevando a la formación del mar de Weddel desde hace 150 millones de años. Posteriormente, un punto caliente ubicado entre la costa este norteamericana y la africana conllevaría desde hace 180 millones de años atrás a la formación del Océano Atlántico Norte. El Océano Atlántico Sur es 50 millones de años más joven y se genera a partir de la pluma que afectó el sur de Brasil y la Mesopotamia argentina. El último océano en formarse a partir de la ruptura del Gondwana es el Índico, consecuencia de una pluma tardía que impactó al continente hace tan sólo 65 millones de años.