

Los continentes se desplazan sobre grandes fragmentos de la corteza terrestre, lo cual es interpretado en el marco de la Teoría de Tectónica de Placas, una explicación actualizada y con fuerte fundamento teórico que reemplaza a la Deriva Continental. Así como la posición relativa de los continentes cambia, la circulación atmosférica y oceánica también lo hace. Consecuentemente, cambian permanentemente los ambientes y condiciones de vida en cada continente, proveyendo y quitando posibilidades a las nuevas especies que se originan. Por eso, para entender la Historia Natural, es crucial tener en cuenta la dinámica de los continentes.

## 2

# Los continentes en danza

Las rocas son el sustrato de la vida, y los hábitats están estrechamente ligados a la posición y estructura de los continentes. Como estos cambian lentamente a lo largo del tiempo, las condiciones de vida se modifican. En este capítulo estudiamos las claves para entender cómo cambiaron los continentes y como esto pudo afectar a la evolución de la vida.

### 1. EPPUR SI MUOVE

#### Reconociendo la deriva continental

En 1596, el cartógrafo alemán Abraham Ortel, conocido como Ortelius (1527-1598), y en 1620 el filósofo inglés Francis Bacon sostuvieron la posibilidad de que los continentes se movieran y que América, atendiendo a lo complementario de sus costas, podría haber estado unida a África y Europa. Posteriormente, el conde de Buffon, propuso el movimiento continental basado en la antigua distribución de la biota según los climas.

Antes y después, la explicación mas común a cualquier especie compartida entre dos continentes era la existencia de puentes terrestres temporarios o la dispersión accidental por balsas naturales. Pocos se atrevieron a plantear algo tan osado e improbable como que la montaña verdaderamente pudiera ir a Mahoma. Es decir, que los continentes se movieran.

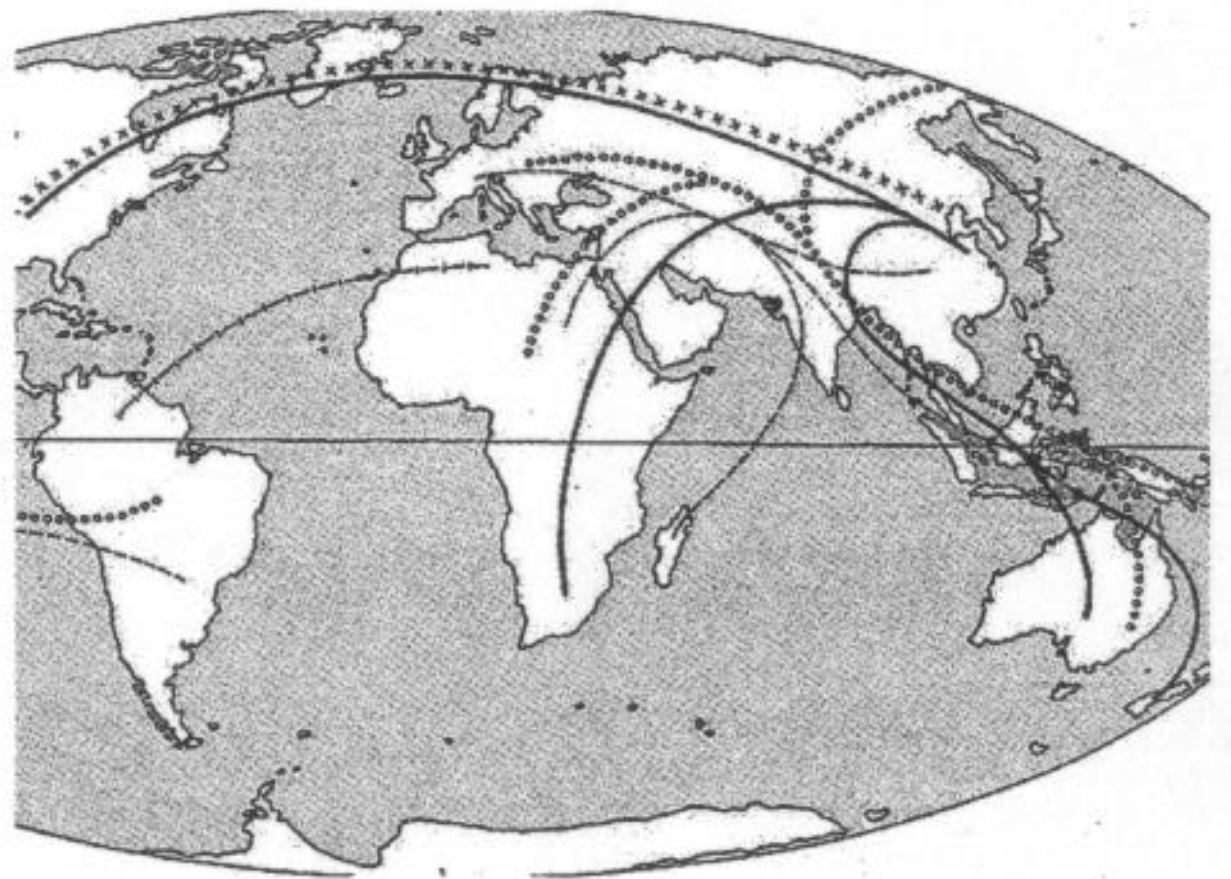
El concepto de Pangea, como un supercontinente que contenía a todos los actuales, fue enunciado recién en 1915 por el meteorólogo alemán Alfred Lothar Wegener (1880-1930) en su libro *On the Origin of Continents and Oceans* en el que postulaba que partes de la corteza se hallaban a la deriva sobre un núcleo líquido. El mismo año, el barón Ferenc Nopcsa (1877-1933) publicaba explicaciones de migraciones faunísticas por posibles puentes terrestres (Fig. 2.0). Luego, seguiría Wegener.

La aceptación de su propuesta demandó décadas de datos más precisos incluyendo fósiles similares de distintas regiones, como el género *Lystrosaurus* que hallara

en la Antártida el paleontólogo Edwin (Ned) H. Colbert (1905-2001), la comparación geológica entre Argentina y Sudáfrica realizada por A. du Toit en 1927, la descripción del movimiento polar basado en estudios paleomagnéticos por Keith Runcorn (1956) y la descripción de las franjas magnéticas de las dorsales oceánicas por Fred Vine y Drum Matthews (1963). Todo esto llevó a la aceptación de la Deriva Continental y de Pangea, hacia 1960.

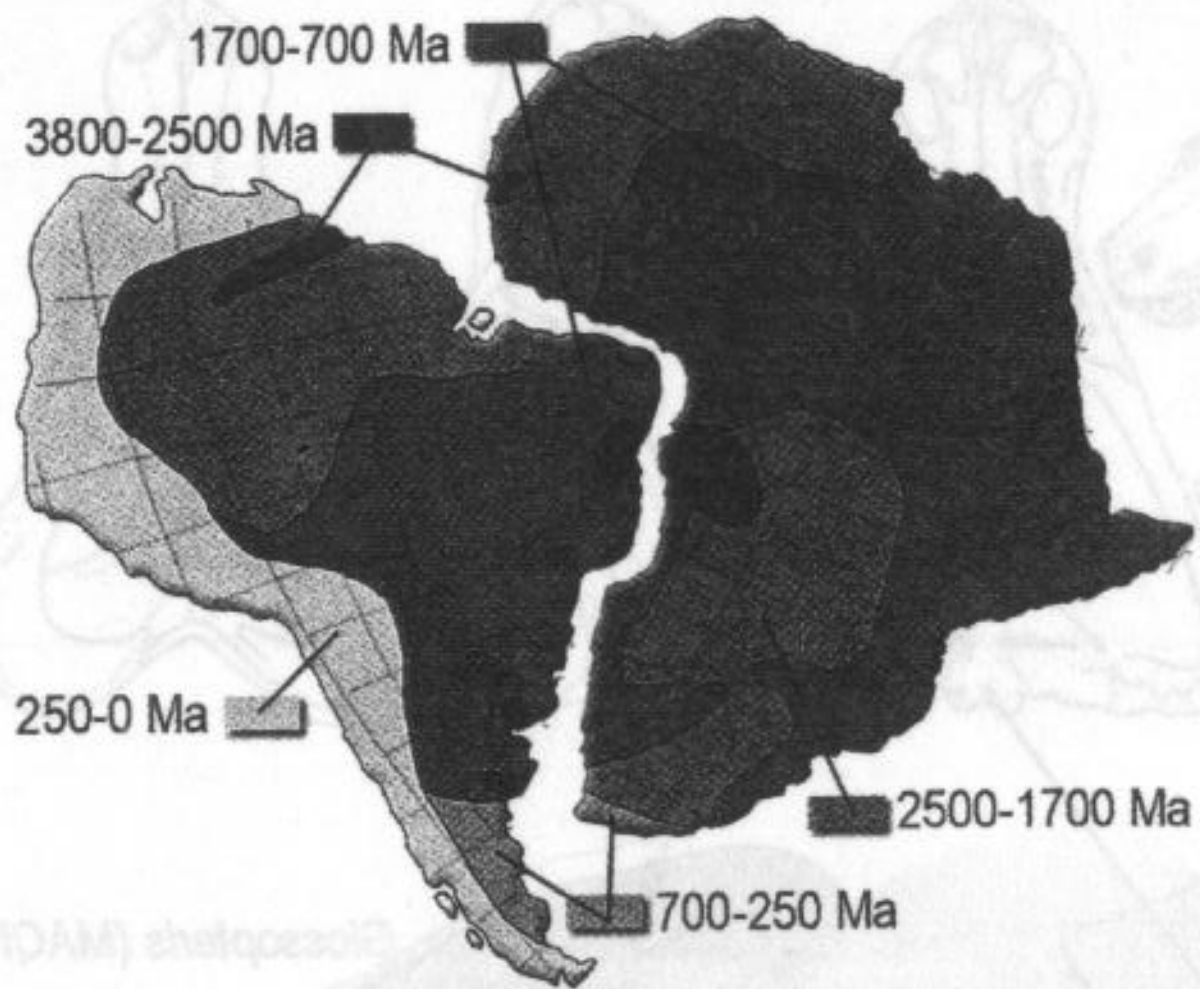
Pangea existió como una sola masa territorial rodeada de un gran océano, Panthalassa, hasta el Jurásico, hace unos 180 Ma. Es el momento en que se inició su separación en dos grandes masas, Laurasia al norte y Gondwana al sur, con el Mar de Tethys entre ambas (ver el paleomapa jurásico en el dorso de tapa). La fragmentación continuó, y aun hoy lo hace en diversas secciones, configurando los continentes actuales.

El movimiento continental fue verificado por pruebas geológicas como el ajuste de los continentes, las glacia-



**2.0.** A comienzos del siglo XX, el barón Nopcsa se enfrentó a la difícil tarea de explicar la biogeografía. Es decir, la distribución de los seres vivos y los fósiles en el mundo, utilizando mapas como este. Hacia 1925, ya era un firme partidario de la Deriva Continental de Wegener.





**2.1. El ajuste de los continentes y la edad de los bloques continentales antiguos (cratones) fue la primera prueba que se presentó para señalar la existencia de Gondwana.**

ciones y el paleomagnetismo. Es más, actualmente es seguido por satélites que miden con precisión la velocidad de cada masa continental, que ronda entre los cinco y diez centímetros anuales.

El movimiento de los continentes ha permitido explicar la distribución de la biota en el planeta.

### Un rompecabezas con continentes

La agregación continental es el proceso que unió a las placas continentales en un supercontinente: Pangea (un proceso similar se había producido anteriormente cuando se formó el previo supercontinente Rodinia). Más tarde, en esta agregación se produjeron episodios de separación (llamados *rifting*) que produjeron nuevos continentes y mares entre ellos.

Para comprobar el ajuste de los continentes se usó la isóbata (línea de igual profundidad) de 2000 m, por ser el límite de las placas continentales. De esta forma se realizó una interconexión teórica de la superficie de Pangea. El uso de la superficie continental sumergida es importante para "llenar huecos", como el que se encuentra al este de las Islas Malvinas y que encierra un área extensa entre África, América y Antártida, los tres grandes bloques que formaban Gondwana, junto a Australia e India.

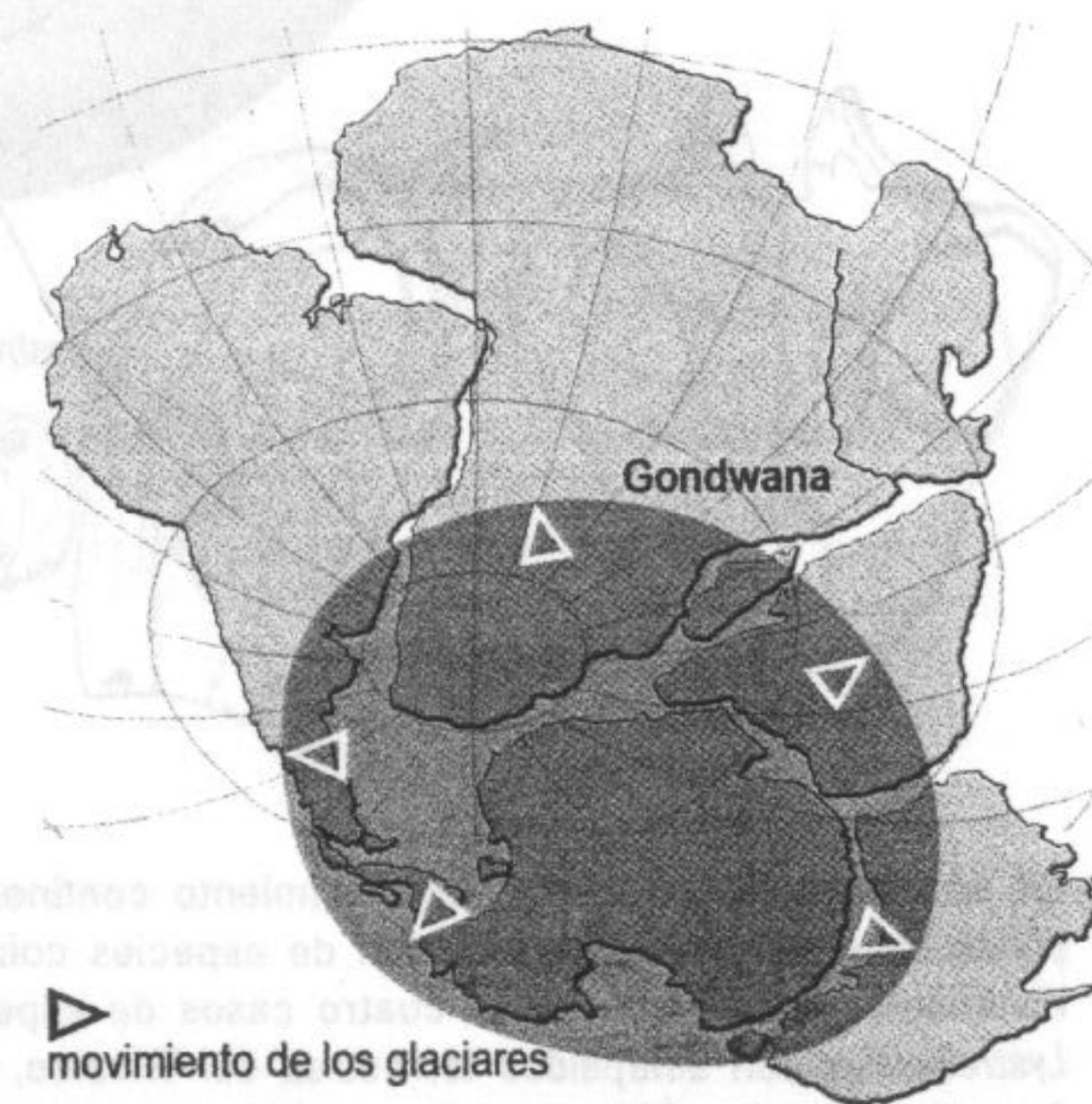
Pero no solo la forma de los continentes coincide sino también la edad de las rocas que los componen. Por ejemplo, las rocas del extremo sur de África y de la Patagonia no andina son iguales y se estima que se formaron hace unos 700 Ma con períodos de reju-

venecimiento posteriores (Fig. 2.1). Este bloque es, sin embargo, anterior a Gondwana y se unió a ella hace unos 300 Ma. Luego fue fragmentado de forma tal que hoy se observa una parte del bloque en cada continente. Las dos piezas fundamentales que forman el corazón geológico de la Patagonia son el Macizo Nordpatagónico (sobre el que se desarrolla la Meseta de Somuncura) y, más al sur, el Macizo del Deseado.

### Las glaciaciones

Las glaciaciones entre el Carbonífero y Pérmico ocurridas en el hemisferio sur abarcan a casi todos los continentes australes y no dejan lugar a dudas de que ocurrieron en una única masa de tierra (Fig. 2.2).

El estudio de las glaciaciones no solo es importante como prueba de la aglomeración de los continentes, sino que es sustancial para conocer cómo estos eventos afectaron la vida del planeta. Nuestro planeta tiene una larga historia de glaciaciones, que incluyen una Precámbrica, originada hace 3500 Ma por la actividad de algas fotosintéticas. Estas redujeron el dióxido de carbono atmosférico y, al quitar el efecto invernadero, el planeta se heló. Tras esa etapa, entre los sobrevivientes surgieron los organismos pluricelulares. Durante la



**2.2. La glaciación al final del Pérmico involucró a diversas regiones que estaban unidas en Gondwana y que hoy se encuentran dispersas. Las flechas indican la dirección de movimiento de los hielos que quedaron marcados en las rocas y que prueban que los continentes estaban unidos.**

glaciación al final del Ordovícico (438 Ma) se produjo una gran catástrofe ambiental cuya consecuencia fue la extinción del 85% de las especies marinas cuando aun la vida en la tierra era incipiente. Las evidencias apuntan a la existencia de un casquete glaciario sobre Gondwana, de gran extensión pero de corta duración (1 Ma) que influyó sobre la vida de los invertebrados marinos de todo el planeta.

Todo ciclo glaciario tiene dos etapas, la inicial en la que se produce el enfriamiento global, acompañado por el descenso del nivel del mar y un incremento en la circulación oceánica. Allí se ven afectadas las especies que habitan las zonas templadas y superficiales de los océanos, que son reemplazadas por otras de origen bentónico (de niveles profundos y fríos) que normalmente muestran una baja diversidad biológica.

En la etapa siguiente, muchas de las especies que logran resistir el enfriamiento global no pueden adaptarse al aumento de temperatura posterior. El siguiente ascenso del nivel del mar produce el afloramiento de aguas con elementos tóxicos y la estratificación de las aguas del océano. Esta segunda extinción en serie afecta a otro grupo diferente de organismos.

Procesos de glaciación semejantes al descrito ocurrieron tanto al final del Ordovícico como del Pérmico.

La hipótesis más fuerte que explica la causa de una glaciación es la reducción del dióxido de carbono en la atmósfera, el gas responsable del efecto invernadero.

Existen varios sospechosos de capturar y retener el dióxido de carbono reduciendo la temperatura global. Por ejemplo, en el Ordovícico la glaciación coincide con el desarrollo de las briofitas (plantas carentes de un sistema vascular pero capaces de acumular carbono) en la superficie terrestre (capítulo 5). Otros sospechosos son los organismos fotosintetizadores que habitan en el mar, que podrían haber acumulado el carbono. Pero los responsables más directos pueden haber sido los organismos marinos con conchillas calcáreas. También pudo haber afectado al clima global el cambio en la configuración de los continentes, que habría producido modificaciones en la circulación de los océanos, como parece haberse repetido luego en el Pérmico.

Las glaciaciones mejor conocidas ocurrieron en los dos últimos millones de años. El período Pleistoceno, iniciado hace 1,8 Ma, coincide con una inversión del campo magnético y con el avance de los hielos en el hemisferio norte. En él ocurrieron una sucesión de períodos de baja y alta temperatura que acumularon hielo en los polos y las cadenas montañosas.

El avance y retroceso de los glaciares modeló el terreno, cambió el clima y aisló especies. El descenso de la temperatura, en este caso, se produjo por varias

causas, entre ellas la modificación de las corrientes oceánicas cálidas que hacían templado al norte de Europa.

Durante el más reciente período glaciario se dieron varios aumentos y descensos del nivel del mar. En la región del Río de la Plata y la provincia de Buenos Aires (Argentina), pueden percibirse los dos extremos. Hace unos 20.000 años, el océano se había retirado a unos 300 km de la costa actual, y las aguas estaban a 120 m por debajo del nivel de hoy. Hace 6.000 años por la alta temperatura del período interglaciario, se produjo un importante avance del mar, que cubrió las costas de la bahía de Samborombón y el actual Delta del Río Paraná y es lo que explica el hallazgo frecuente de restos de ballenas en Ingeniero Mastchwitz y otros lugares tierra adentro de la provincia de Buenos Aires. A la vez, el cambio del clima convirtió lo que hoy es Amazonia en un paisaje similar a la pampa actual y a ésta en un ambiente estepario patagónico (para más detalles ver el capítulo 14).

El movimiento de los continentes fue responsable directo de las variaciones del clima.

### El paleomagnetismo

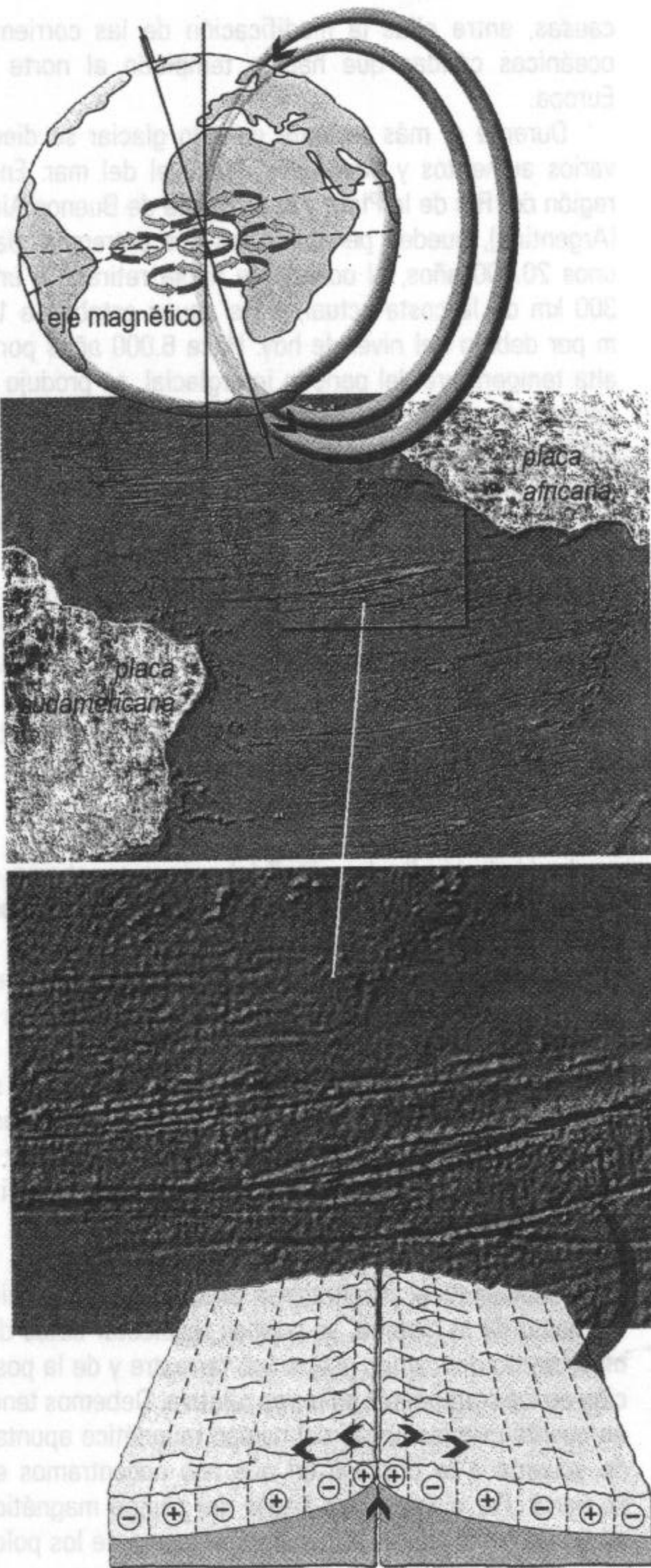
La hipótesis fundamental del paleomagnetismo es que el núcleo de la Tierra funciona como un gigantesco imán (Fig. 2.3).

El magma del interior de la Tierra sale a la superficie en las interfaces de separación entre placas o a través de los volcanes. Antes de solidificarse el magma, los minerales de hierro que lo componen se orientan siguiendo al magnetismo terrestre de ese momento; de esta manera se conserva la dirección y la intensidad del campo magnético. Esto permite estudiar las variaciones y direcciones de ese magnetismo a lo largo del tiempo.

Conociendo el magnetismo existente en cualquier momento de la historia, se pueden recolectar datos del movimiento del campo magnético terrestre y de la posición de los continentes en forma relativa. Debemos tener en cuenta que las líneas del campo magnético apuntan de acuerdo a la posición en que nos encontramos en la Tierra. Por ejemplo, las líneas del campo magnético serán perpendiculares a la superficie cerca de los polos y paralelas al terreno en el ecuador.

Con el paleomagnetismo se obtiene información de dirección y posición respecto a los polos. La orientación y paleolatitud obtenidas tienen un error de 10° de desviación de la latitud con el 95% de seguridad. Este error equivale a ±500 km, lo que no es poco a escala humana, sin embargo, este grado de aproximación no puede ser alcanzado con otras técnicas.





2.3. El eje magnético y el geográfico (sobre el que gira la Tierra) no son coincidentes. El eje magnético tiene una deriva a largo plazo y frecuentes inversiones (cambio de polaridad). El paleomagnetismo es una prueba de la separación continental debido a la simetría que muestran los cambios de polaridad a ambos lados del rift centro-oceánico.

El paleomagnetismo permite estudiar la historia de la tierra y el movimiento de los continentes.

En las dorsales centro-oceánicas, donde las placas continentales se separan, se crean nuevas rocas que emanan del manto de la Tierra. La dorsal del centro del Océano Atlántico, escindió hacia la izquierda a las Américas y a la derecha África y Europa.

Cuando se mide el paleomagnetismo de las rocas que forman el basamento del océano, se observa que la intensidad del campo magnético fluctúa y que existen frecuentes inversiones. La simetría del paleomagnetismo a ambos lados del Atlántico indica que el suelo oceánico se ha formado de esta manera y que los continentes se separan. El paleomagnetismo puede llegar a ser alterado por las altas temperaturas que causan la remagnetización de las rocas.

### La distribución de las especies

Los argumentos a favor de la deriva continental fueron aportados por el estudio de las rocas y de la biota. El argumento biológico se apoya en la distribución de las especies, cuya historia es estudiada por la biogeografía.

Hay cuatro ejemplos típicos de especies que hoy se encuentran en lugares muy distantes entre sí, pero que formaban parte de Gondwana (Fig. 2.4).

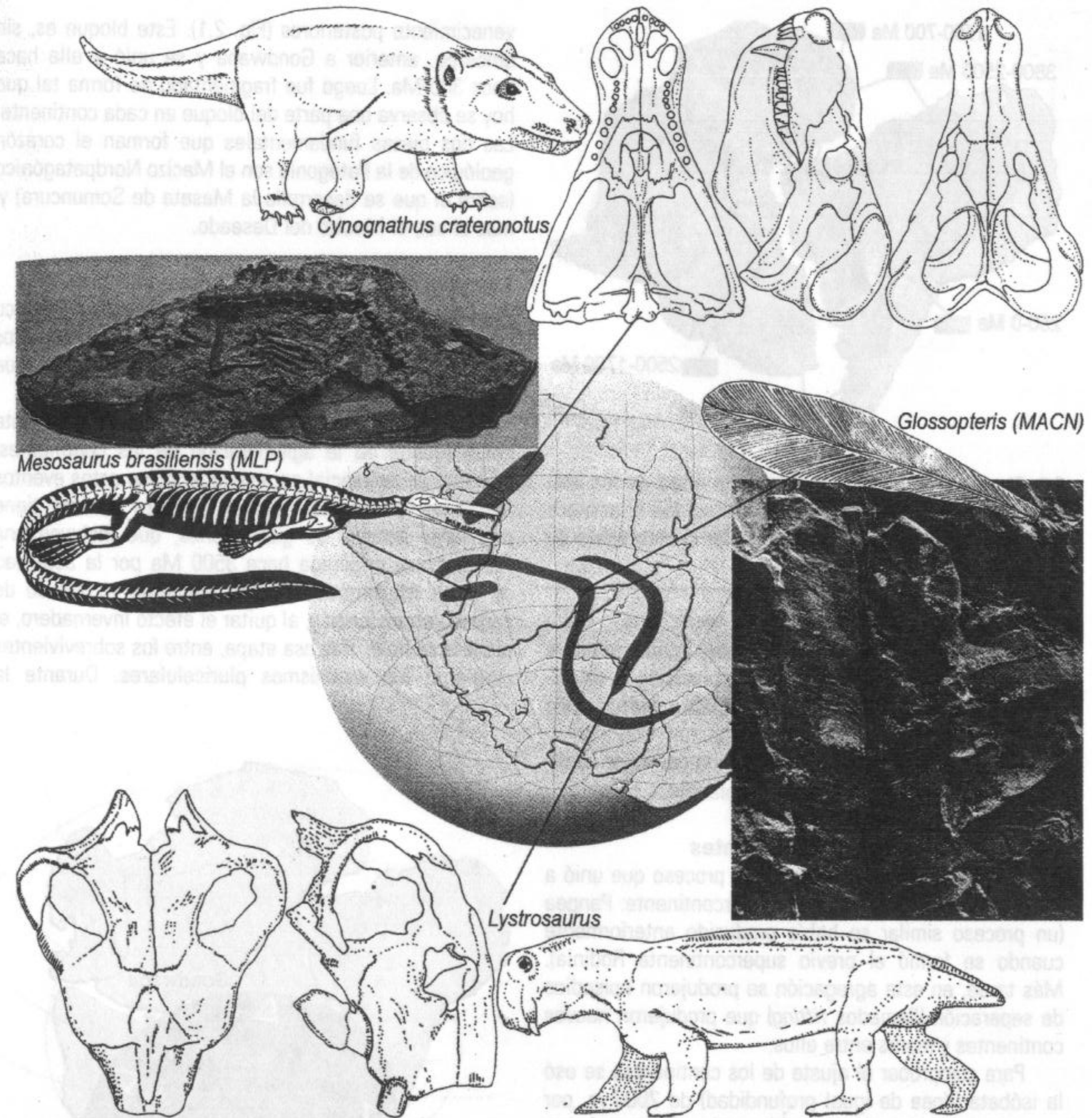
Estos casos fueron en su momento evidencias contundentes, pero en la actualidad los ejemplos son innumerables. De hecho hoy, la evidencia más sólida es la del movimiento de los continentes, y es en este marco que se analiza la historia biogeográfica de cada especie.

El primer caso es el de los mesosaurios (no confundir con los lagartos mosasaurios del capítulo 11), reptiles acuáticos que muestran una distribución en la costa este de América del Sur y oeste de África, lo que formaba por aquellos días el mar interior surpangéico.

Se caracterizan por un cuerpo largo con una cola aplanada que facilitaba la natación. Las órbitas oculares se hallan muy desarrolladas y poseían grandes anillos escleróticos que contribuían a soportar la presión del agua. Los miembros delanteros, eran más cortos que los posteriores y los largos dedos poseían una membrana interdigital que les permitía nadar mejor.

Algunas especies estaban mejor capacitadas para vivir en ambientes acuáticos poco profundos y otras para aguas más profundas. Probablemente llegaban a tierra para poner los huevos en la arena. Poseían dientes largos, delgados y densos, lo que sugiere que se alimentaban por filtrado.

Con una distribución geográfica muy similar, pero en tierra firme, *Cynognathus* es parte del gran grupo de sinápsidos carnívoros que originó a los mamíferos. Se han encontrado sus fósiles en Sudamérica y África.



2.4. Las pruebas biológicas del movimiento continental. A partir de la flora y fauna de hace 250 Ma se puede observar que la distribución de especies coincidía en continentes que hoy se encuentran aislados. Históricamente se mencionan cuatro casos de especies distribuidas en regiones conexas. *Cynognathus* y *Lystrosaurus* son sinápsidos terrestres del Triásico, pero mientras que a *Cynognathus* se lo encuentra en Argentina, Brasil y África, a *Lystrosaurus* se lo ubica en África, India y Antártica. *Cynognathus crateronotus* es una especie que ha sido denominada en 15 oportunidades con nombres distintos, pero el record se lo lleva *Plateosaurus engelhardti* que posee 20 sinonimias. También se menciona el caso de *Mesosaurus*, un reptil acuático de agua bajas que habitaba África y América. *Glossopteris* es un vegetal ampliamente distribuido en esa época y que se piensa dispersado a partir de la India.



Poseían una cola larga y gruesa, dientes puntiagudos y hay evidencias de que disponían de pelos como bigotes. *Lystrosaurus* también es un sinápsido, pero herbívoro, que ocupaba ambientes áridos de lo que hoy es África, India y Antártica.

El último ejemplo lo provee un abundante vegetal conocido como *Glossoptris*. En realidad, es parte del vasto grupo de las *Glossoptridales*, que incluye a muchísimas especies, entre las que había desde el tamaño de un arbusto hasta el de un árbol de treinta metros de altura. El tronco era de madera relativamente blanda similar a las araucarias. Las hojas tenían forma lanceolada. Se cree que vivía en zonas húmedas de terrenos anegados y se lo encuentra en rocas del período Pérmico en todos los subcontinentes que formaron Gondwana.

Solo en la India se conocen unas setenta especies, lo que sugiere que pudieron originarse allí, dispersándose luego hacia el resto de Gondwana.

El marco del movimiento de los continentes traza un hilo conductor que permite seguir linajes a lo largo del tiempo y del espacio. Por ejemplo, en el caso de la controvertida historia de las aves corredoras conocidas como paleognatas, una teoría explica su surgimiento en Sudamérica (donde vive aun el *randú* y los tinamúes) y su expansión al África (el *avestruz*) y a Australia (donde habita el casuario), cuando todos estos continentes estaban unidos, por lo que, sería razonable hallar algún día restos fósiles en la Antártida. Sin embargo, una segunda hipótesis sugiere que esas aves no están relacionadas entre sí, sino que sus semejanzas obedecen a convergencias. Este es solo un ejemplo de los muchos que abordaremos a lo largo de la Historia Natural.

## 2. La tectónica de placas

### Las interfaces entre placas

El movimiento de los continentes se explicó originalmente por la Deriva Continental (continentes que se desplazaban sobre el manto de la Tierra). Hoy la teoría de la Tectónica de Placas, esbozada inicialmente por Ampferer (1906) y mejorada por Harry Hess (1909-1969) en 1962 sostiene que la capa superficial de la Tierra está formada por placas independientes que se mueven en forma relativa una respecto de la otra. No hay placas inmóviles y el ritmo promedio de este movimiento es de algunos centímetros al año.

Existen tres tipos de interfaces entre placas (Fig. 2.5). La de *convergencia* producida por el choque de las placas entre sí, como la placa de India con la de Asia, lo que genera cadenas montañosas, como el Himalaya o la cordillera de los Andes. La de *divergencia* ocurre cuando las placas que se separan, como en el centro del Océano Atlántico. El *deslizamiento* se produce cuando dos placas se corren lateralmente y pueden ser tres como en la falla de San Andrés en California o Aysén en Chile. El norte y sur de América estuvieron separados mucho tiempo, pero fueron unidos en diferentes oportunidades.

Sudamérica en la actualidad continúa su desplazamiento alejándose de África debido a la apertura del centro del Océano Atlántico. Este movimiento hacia el oeste produce el choque con la base del Océano Pacífico (la Placa de Nazca) que se desliza bajo Sudamérica produciendo la elevación de la Cordillera de los Andes y la activación de sus volcanes.

El rozamiento entre el continente y la placa oceánica que se sumerge lentamente por debajo de él, acumula tensiones que se liberan en forma de terremotos en los países andinos y vulcanismo en la Patagonia andina. El magma generado por la fusión parcial de la placa que se hunde, asciende a la superficie, se enfría y precipita en minerales metálicos.

¿Qué fuerza puede producir el movimiento de estas placas? La hipótesis más aceptada es que el movimiento se debe a la existencia de corrientes de convección en el manto terrestre, donde las rocas se hallan en un estado fluido, y cuyo funcionamiento sería similar a la circulación atmosférica y oceánica. Sería una corriente parecida a la que se produce en una olla con agua en ebullición. Pero aun queda mucho por aclarar sobre los mecanismos de convección en el interior de la Tierra ya que el estudio siempre es indirecto.

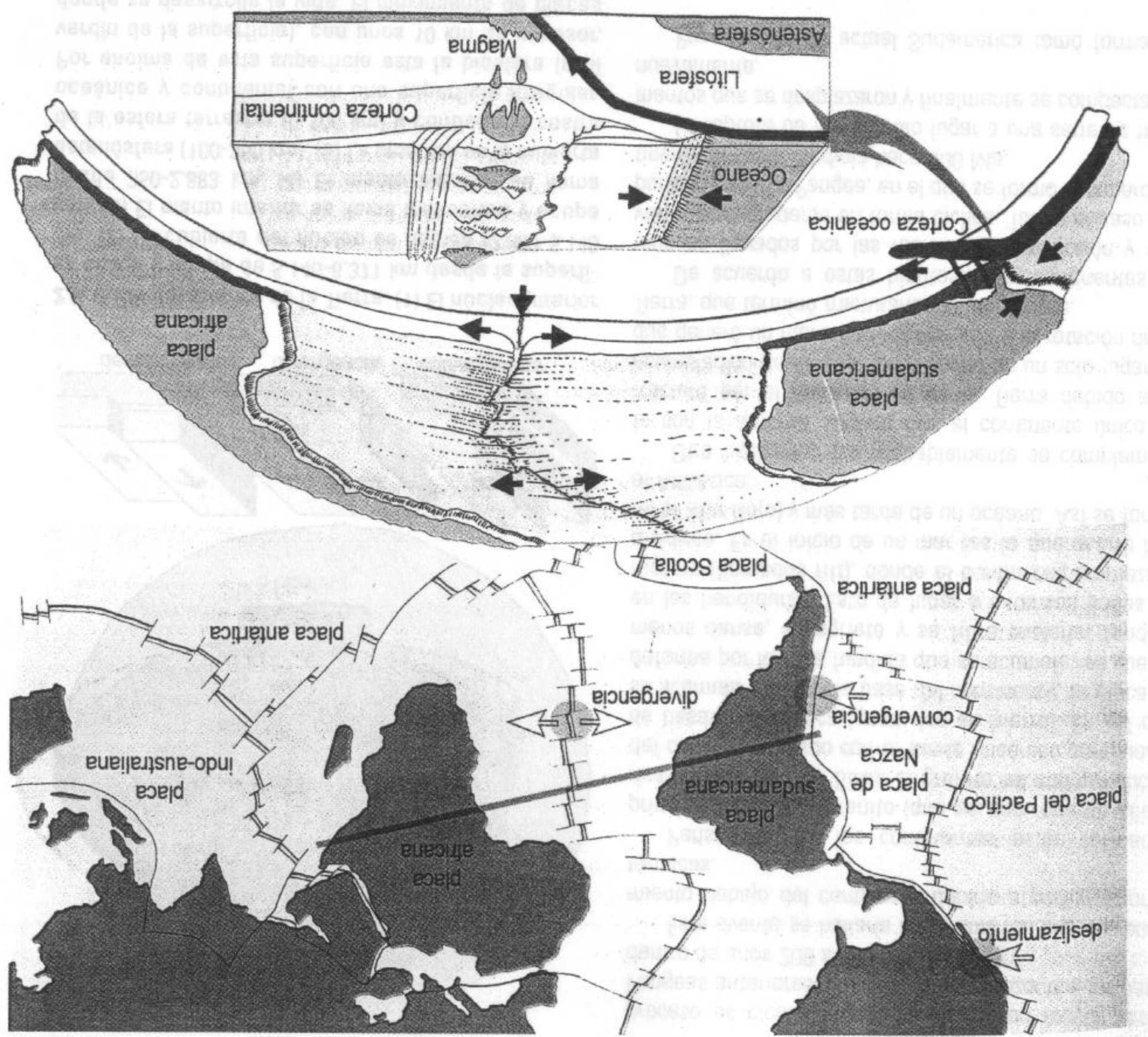
La Tierra es una esfera cuyo radio es de 6.370 km y el manto ocupa la zona exterior al núcleo (Fig. 2.6). En este enorme espacio se producirían las corrientes de convección en forma de células interconectadas (con zonas de ascenso y zonas de descenso). Se supone que la energía básica para el movimiento proviene del calor provocado por la radioactividad de minerales en el núcleo de la Tierra. Este núcleo, que ocupa desde 2.880 hasta 6.370 km de profundidad, es el que genera el campo magnético de la Tierra.

### El ciclo de Wilson

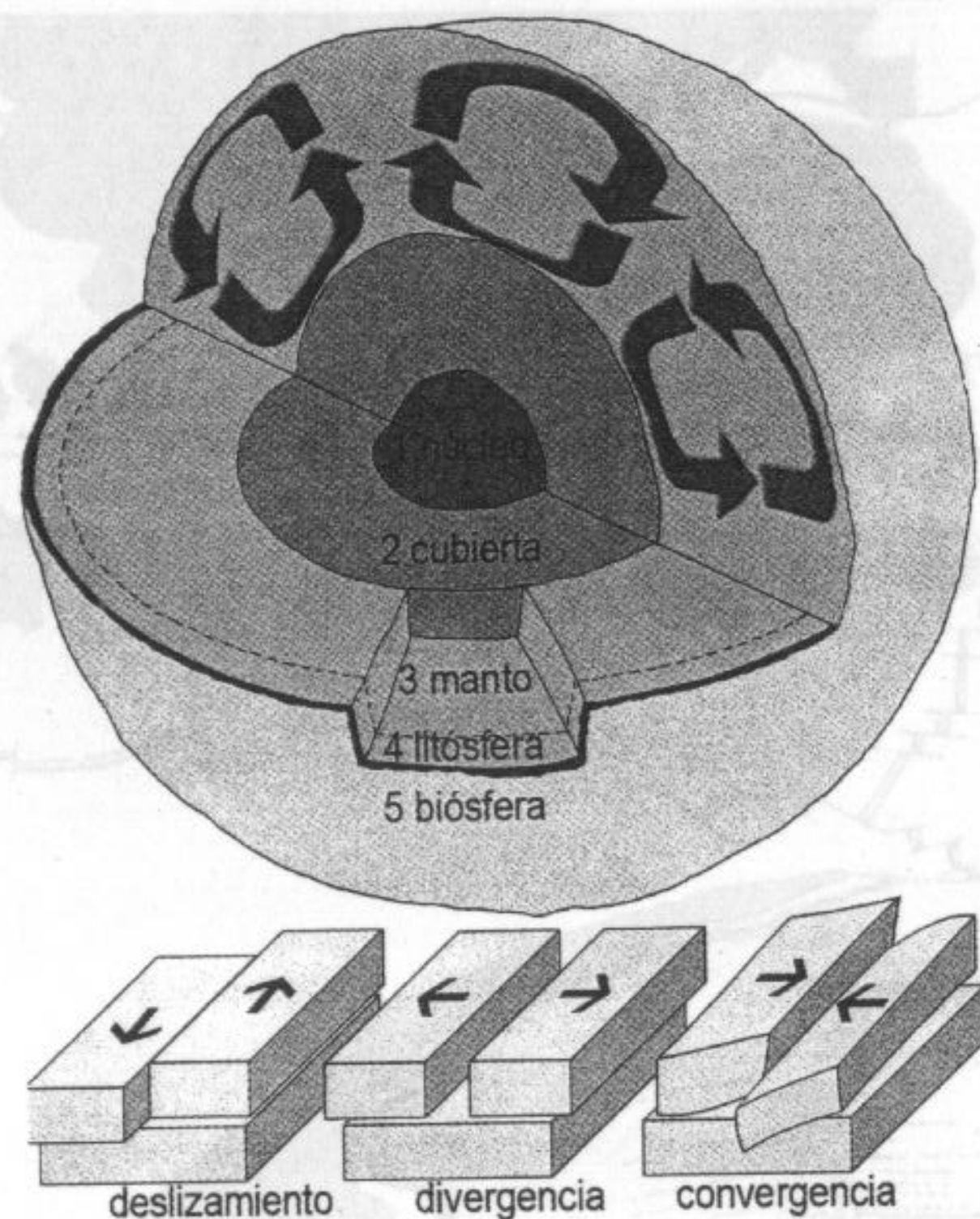
En las cadenas dorsales del centro de los océanos (por ejemplo, en el centro del Atlántico) se genera corteza oceánica. En las zonas de subducción (por ejemplo, debajo de la margen occidental de Sudamérica) se reabsorbe la corteza, destruyéndose al ingresar en el interior de la Tierra.

Es por esto que el piso de los océanos se genera y destruye en forma cíclica, y no existen fondos oceánicos de más de 170 Ma de antigüedad.

### 2.5. La Tectónica de Placas. El planeta se encuentra dividido en placas que se mueven en forma relativa una con respecto a otras. El proceso de fragmentación de Pangea se inició hace unos 180 Ma y aun continúa. Sudamérica y África se separan a partir de nuevo material que surge de la cadena centro-oceánica del Atlántico. En este lugar se genera basalto que forma el piso del océano, desplazando a los continentes hacia los costados. En tanto, del otro lado, Sudamérica choca contra la placa de Nazca en el Pacífico. Esta placa se sumerge debajo del continente deformándolo (Cordillera de los Andes) y se produce un cordón de volcanes al oeste, por donde surge el material derretido en profundidad, generando un reciclaje de la corteza terrestre. La corteza continental ocupa más de un tercio de la superficie del planeta. Cerca del 40% si se incluye la plataforma marina junto a las costas. Es menos densa que la base de los océanos y por ello permanece en la superficie, mientras la corteza oceánica se hunde. El espesor de la corteza continental es mayor. Se calcula entre 35 y 40 km de profundidad en los continentes (con máximo de 60 km en el altiplano andino) y entre 7 y 10 km en los océanos. La corteza continental se ha generado en forma permanente desde hace 3.900 Ma y aunque sufre cambios se la puede encontrar en la superficie. Esto contrasta con la corteza oceánica que se crea y destruye permanentemente. No existen rocas oceánicas con más de 170 Ma.







**2.6. Corte del interior de la Tierra.** (1) El núcleo interior es sólido y ocupa de 5.140-6.371 km desde la superficie. (2) La cubierta del núcleo es líquida (2.883-5.140 km). (3) El manto interior se llama mesosfera y ocupa desde 350-2.883 km. (4) El manto exterior se llama astenósfera (100-350 km). (5) La litosfera es la cubierta de la esfera terrestre (0-100 km) y contiene la costra oceánica y continental con una superficie irregular. Por encima de esta superficie está la biosfera (o el verdín de la superficie), con unos 10 km de espesor, donde se desarrolla la vida. El movimiento de placas es impulsado por el movimiento de convección en el manto interior de la Tierra. Los tres tipos de movimiento relativos entre placas son el deslizamiento, la separación y el choque y están mostrados debajo.

La corteza continental perdura por más tiempo, se conocen áreas de 3.900 Ma. Sin embargo, la erosión, el vulcanismo y la misma tectónica de placas hace que sufra cambios permanentes por lo que las rocas antiguas se encuentran muy modificadas.

El ciclo de formación de corteza oceánica, subducción y acreción continental ha sido denominado "ciclo de Wilson" (propuesto por John Tuzo Wilson en los años 70). El ciclo señala que a la desagregación de continentes que observamos, le sigue un proceso de agregación. Este ciclo se repetiría cada 400 a 700 Ma. Como el

proceso es cíclico y continuo, debieron existir varias Pangeas anteriores y la próxima comenzaría a formarse dentro de unos 200 a 300 Ma (Fig. 2.7).

Este evento se hallaría en relación al sobrecalentamiento debajo del continente debido a perturbaciones térmicas.

Pensemos que los continentes están formados principalmente por granito (que es una roca de silicio rica en aluminio, el SiAl). El granito es mal conductor del calor comparado con el fondo oceánico compuesto de basalto (una roca ígnea rica en hierro). Es así que se acumula calor en la base del continente, la placa se deforma por la roca fundida que se acumula, se vuelve menos densa, se agrieta y se filtra material fundido en las hendiduras. Esto da lugar a extensos valles de ruptura (llamados rift), donde el continente empieza a dividirse. Es el inicio de un mar (es lo que ocurre hoy en el Mar Rojo) y más tarde de un océano. Así se formó el Atlántico.

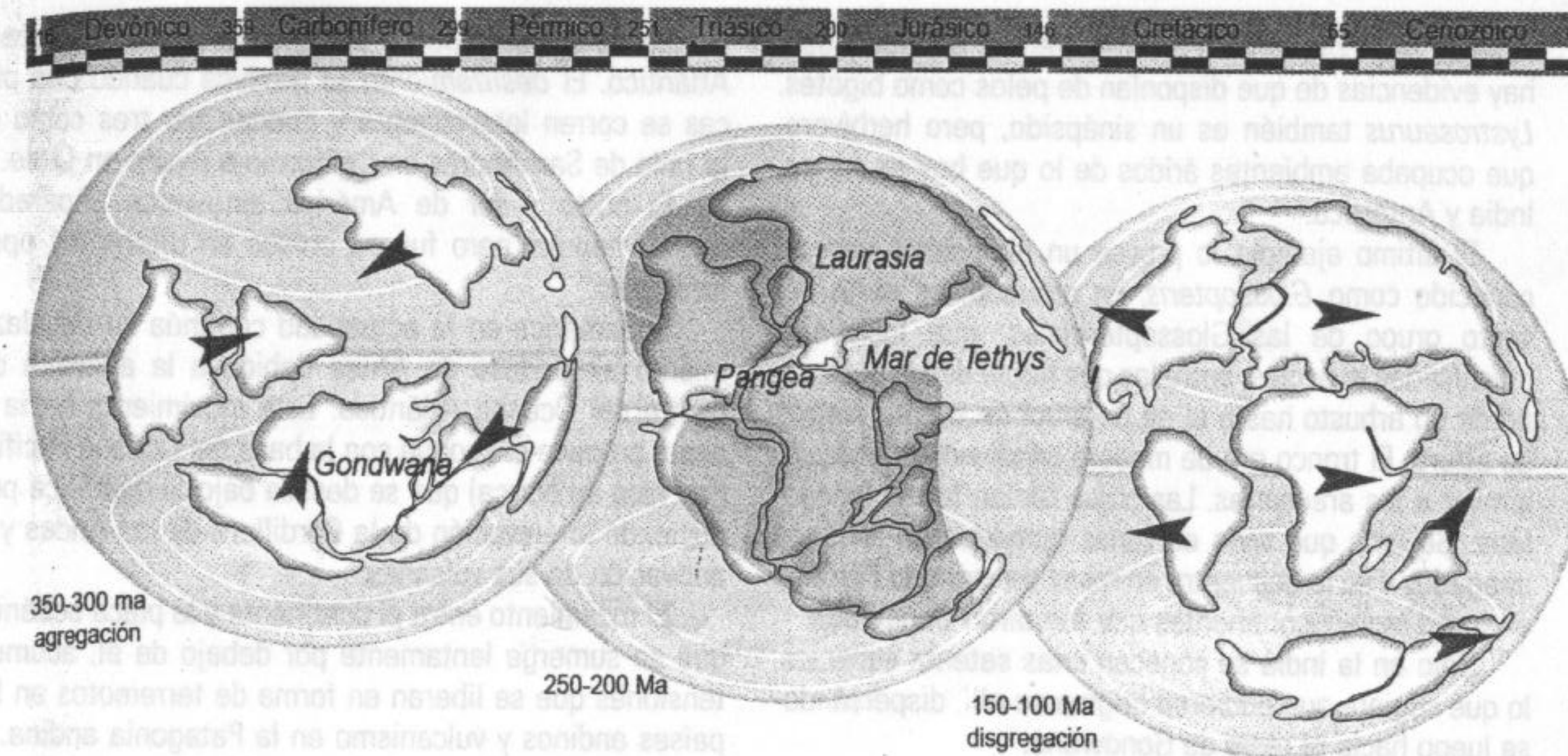
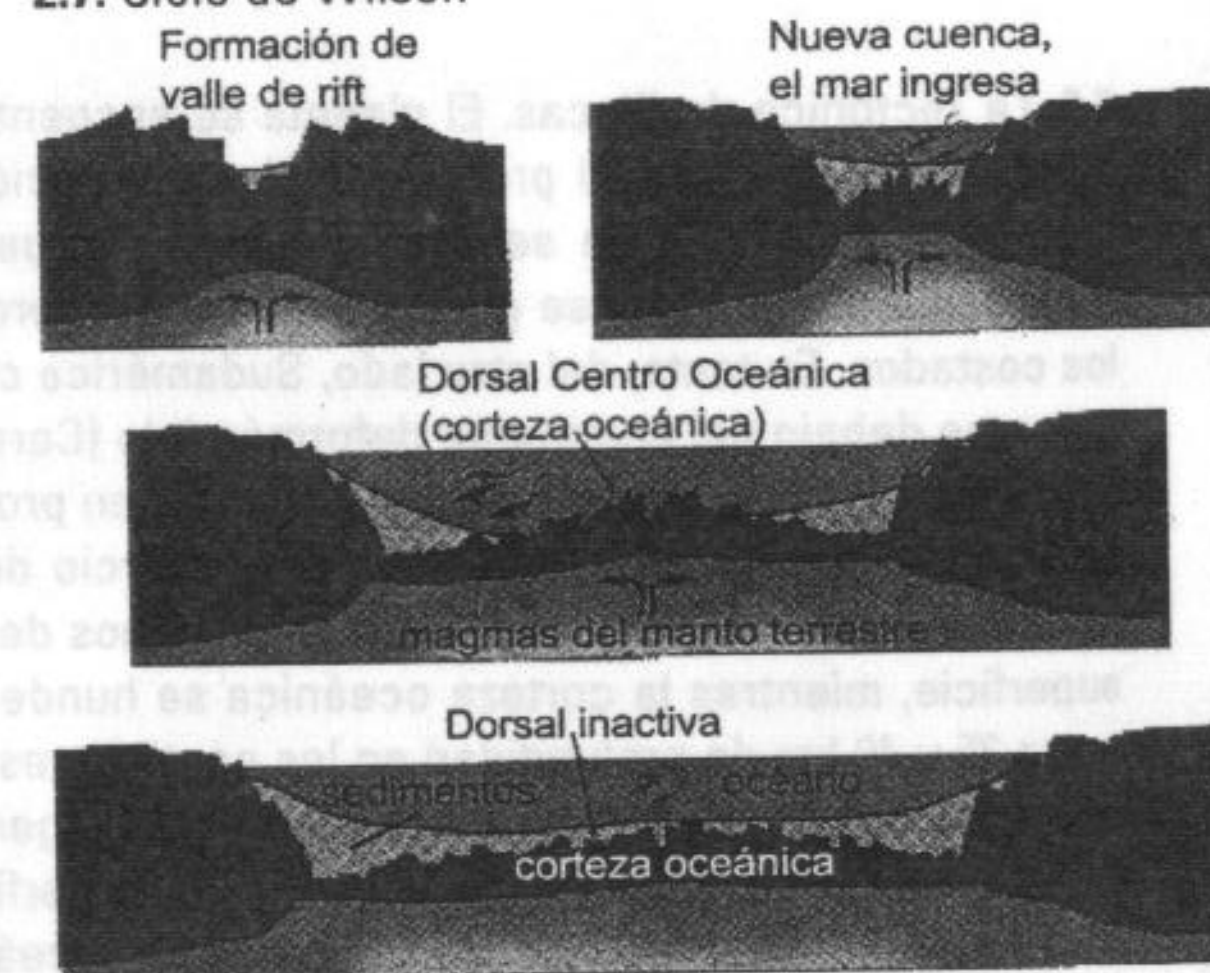
Otra hipótesis, que probablemente se complementa con la anterior sugiere que el continente único se fracturó por el desbalanceo de la Tierra debido a la acumulación de la masa continental en un solo lugar, lo que generó un momento angular sobre la rotación de la Tierra, que terminó fracturando al continente.

De acuerdo a estas hipótesis, los continentes se mueven llevados por las fuerzas de convección y volverán a reagruparse en forma cíclica. Tal es el caso del período previo a Pangea, en el que se formó el supercontinente anterior, Rodinia hace 800 Ma.

La ruptura de Rodinia dio lugar a una serie de fragmentos que se desplazaron y finalmente se compactaron nuevamente.

Por ejemplo, la actual Sudamérica tomó forma en

### 2.7. Ciclo de Wilson



**2.8. Del ciclo de Wilson se deduce que los continentes sufren un proceso periódico de acreción (izquierda) y dispersión (derecha).** Pangea existió como único continente en el Triásico (centro). En todo el período de estudio de nuestra Historia Natural (desde hace 550 Ma) Sudamérica se encontró en el hemisferio sur y muchas veces cerca del polo. Esto produjo épocas donde los seres vivos fueron expuestos a duras pruebas de supervivencia.

el período 500-300 Ma. Junto a África, fragmentos de Europa Oriental, la India-Kashmir-Pakistan, Madagascar, la Antártida, Australia y Nueva Zelanda formaron Gondwana, pero estas no eran las placas anteriores (Fig. 2.8).

El Ciclo de Gondwana se extiende hasta 180 Ma y abarca todos los acontecimientos de acreción (la unión de placas aisladas) hasta que comienza el ciclo de fragmentación (desde 120 Ma hasta hoy día).

Los componentes iniciales de dicha acreción que hoy forma Sudamérica son las siguientes placas (Fig. 2.9):

- Amazonia (Am en la figura) y San Francisco (SF) en Brasil. Esta placa estaba unida a África.
- Al sur se encontraban las placas de Río de la Plata (RP) y Pampia (Pa).
- En el período 400-340 Ma se unió la microplaca de Caba-Preme (CP) sobre la costa de Chile y más tarde se les agrega Chileña (Ch).
- Al sur se une finalmente la placa de Patagonia-Malvinas (PM).

Esta unión de placas generó en cada caso cadenas bajas de montañas que hoy se encuentran muy erosionadas. Hasta la división de Gondwana y el movimiento de Sudamérica hacia el oeste no comenzaron a generarse los Andes, que forman hoy el borde occidental de América del Sur.

### ¡Arribita la Puna!: Levantamiento de los Andes Centrales

Los Andes son un ejemplo de subducción de la placa oceánica (la Placa de Nazca) debajo del continente (la Placa Sudamericana). Esta colisión produce la deformación del continente y la acumulación de energía que forma montañas genera cadenas de volcanes y produce frecuentes terremotos.

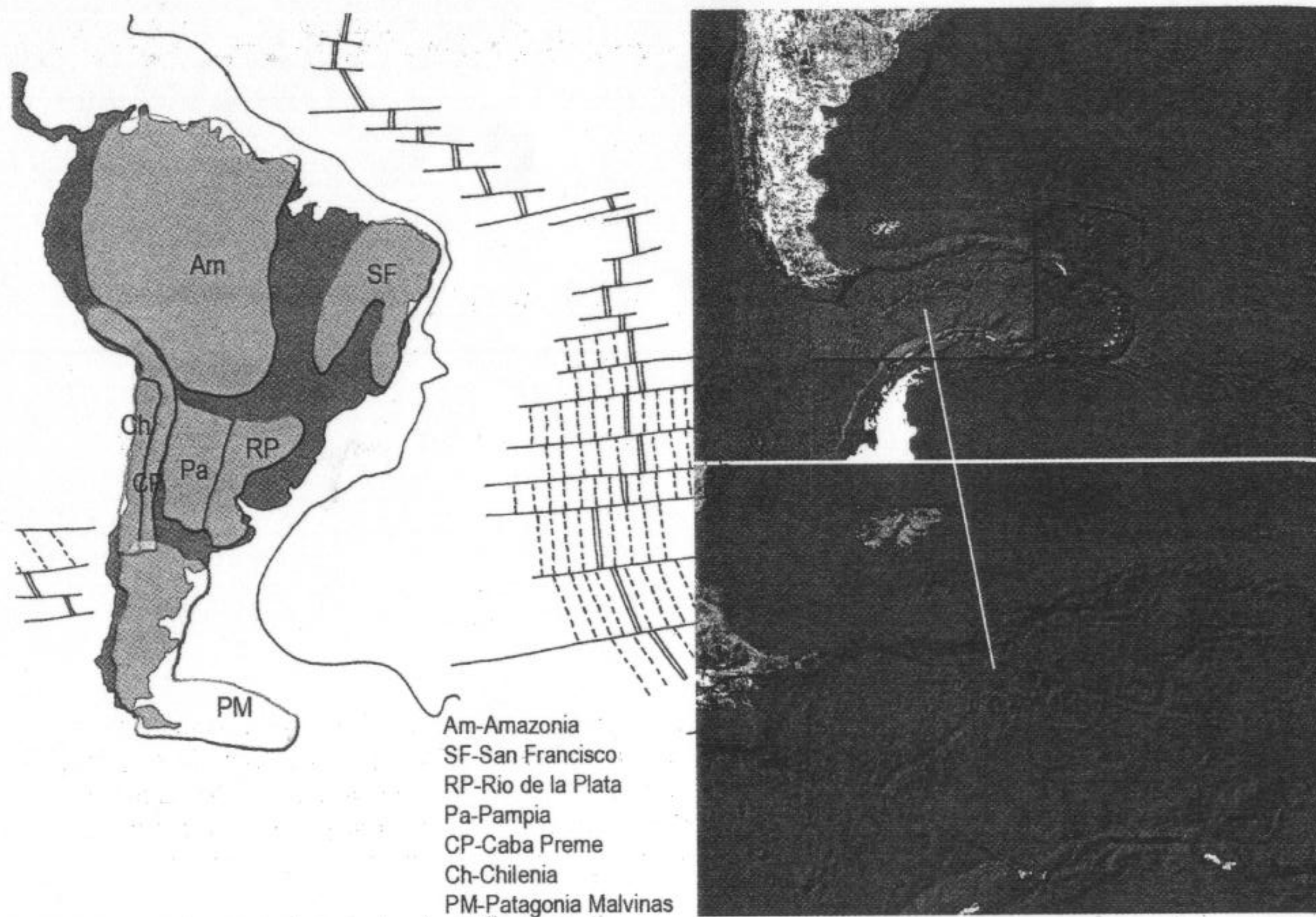
Por ello es interesante conocer su evolución y las consecuencias que ha tenido en el clima del centro y oriente de Sudamérica.

Los Andes forman una barrera para la circulación de los vientos que provienen desde el sudoeste, que contribuyen al enfriamiento de esta parte del planeta desde hace unos 23 Ma.

La Patagonia actual es yerma debido a que la cordillera, aunque no muy alta, interrumpe la circulación de los vientos húmedos, por lo que las precipitaciones se producen principalmente en territorio de Chile en el bosque Valdiviano. Más al norte, en Bolivia, el altiplano divide un oriente amazónico de un oeste árido.

Los métodos para estimar las fechas de elevación de los Andes son indirectos. Se aplica la estratigrafía; la historia climática; la paleoflora; el estudio de la corteza; el análisis de superficies de igual formación; la erosión y sedimentación y el vulcanismo.





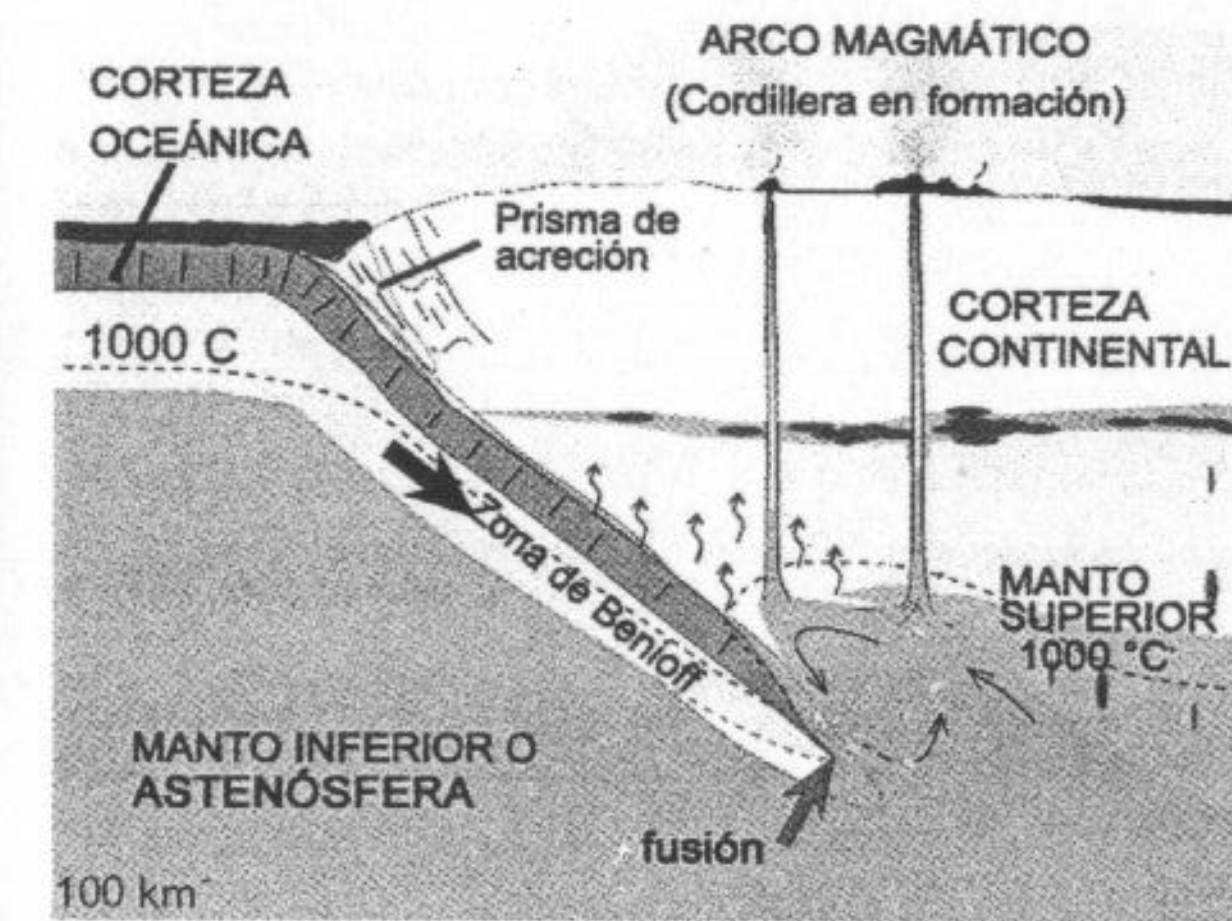
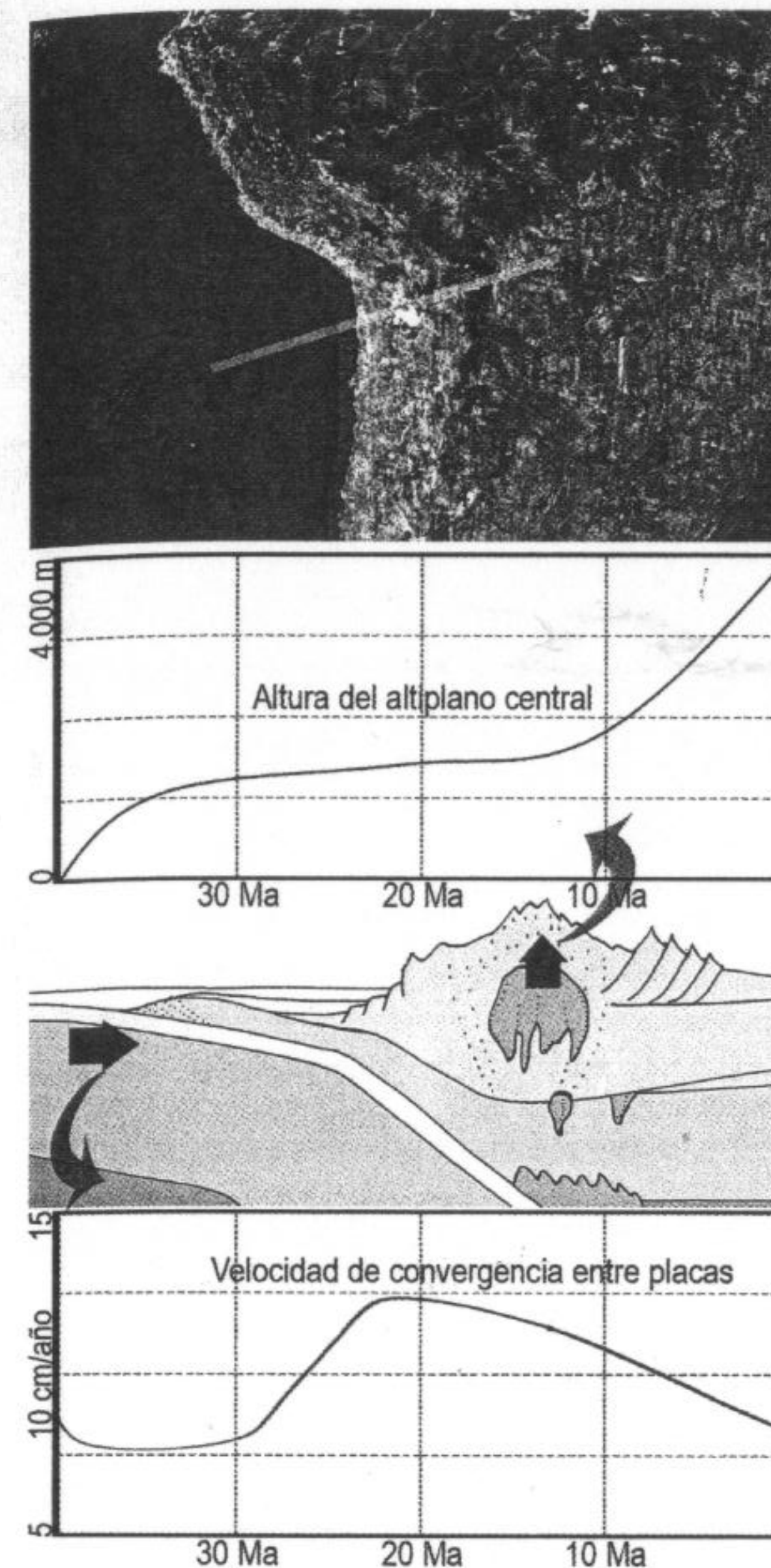
2.9. Sudamérica se formó como el aglutinado de varias pequeñas placas hace más de 300 Ma.

Con las herramientas actuales se ha podido determinar que los primeros indicios del choque entre placas (Nazca y Sudamericana) ocurrieron hace 89 Ma, llenando de ceniza volcánica a los ambientes poblados por dinosaurios en varios lugares de Sudamérica. Parte de ello llegó al yacimiento de "La Buitrera" dejando una capa blanca entre las arenas coloradas y enterrando cocodrilos, serpientes con patas y carnívoros como *Buitreraptor*. Sin embargo, las edades no son iguales para toda la línea norte-sur del evento.

La progresiva elevación del terreno a lo largo del tiempo llevó antiguos depósitos marinos de 67 Ma de antigüedad hasta los 3.000 m de promedio en el Altiplano actual. Sin embargo, la mitad del alzamiento del Altiplano ocurrió en los últimos 10 Ma (Fig. 2.10), llevando al Altiplano y sus desiertos al estado de aridez actual.

Aunque el primer enfriamiento climático del Cenozoico ocurrió hace 35 Ma, entre 15 y 12,5 Ma el clima global se enfrió nuevamente. En ese momento se expandió la capa de hielo antártico, las aguas profundas se enfriaron, la circulación atmosférica y oceánica se intensificó lo que contribuyó al desecamiento del Altiplano. Al mismo tiempo ocurría el secamiento de Australia y el norte de África.

Resumiendo, la conformación reciente de Sudamérica tuvo las siguientes etapas. Un período de acreción (500-300 Ma) donde pequeñas placas se unieron al conglomerado principal formado por Brasil y África. Un período de estabilidad (300-100 ma) donde no existía la cordillera de los Andes y se inicia la separación desde África. Un período final incluyó la fragmentación y movimiento con la formación de los Andes en el oeste.



2.10. Formación de los Andes Centrales. Se muestra la evolución en los últimos 40 Ma en lo referente a la altura del altiplano actual y la velocidad de choque entre las placas, que luego de un máximo hace 25 Ma se desacelera.

Arriba, se observa como la losa de corteza oceánica subductada llega a la zona de Benioff y comienza a fundirse. El material incandescente sale por los volcanes, que se ubicarán más cerca (Mendoza) o mas lejos de la costa (Córdoba) según el ángulo en que se introdujo la placa. Estudiando las rocas no muy derretidas que salen de los volcanes (xenolitos), los geólogos pueden conocer como era la losa subductada.