

CAPÍTULO 19

Tectónica de placas

Deriva continental: una idea que se adelantó a su época

- Encaje de los continentes
- Evidencias fósiles
- Tipos de rocas y semejanzas estructurales
- Evidencias paleoclimáticas

El gran debate

- Objeciones a la hipótesis de la deriva continental
- La deriva continental y el método científico

Deriva continental y paleomagnetismo

- Paleomagnetismo
- Deriva polar

Comienzo de una revolución científica

- Expansión del fondo oceánico
- Inversiones magnéticas

Tectónica de placas: una versión moderna de una idea antigua

- Bordes de placa

Bordes divergentes

Bordes convergentes

- Convergencia océano-continente
- Convergencia océano-océano
- Convergencia continente-continente

Bordes de falla transformante (bordes pasivos)

Comprobación del modelo de la tectónica de placas

- Tectónica de placas y terremotos
- Pruebas procedentes de sondeos oceánicos
- Puntos calientes

Pangea: antes y después

- Fragmentación de Pangea
- Antes de Pangea

Mecanismo impulsor

- Corrientes de convección
- Empuje y arrastre de las placas
- Plumas ascendentes y placas descendentes

A principios de este siglo, las ideas geológicas sobre la edad de las cuencas oceánicas estaban dominadas por la creencia en su antigüedad. Además, la mayoría de los geólogos aceptaba la permanencia geográfica de los océanos y los continentes. Se pensaba que las montañas eran el resultado de contracciones de la Tierra causadas por el enfriamiento gradual a partir de un estado fundido antiguo. A medida que el interior se enfriaba y se contraía, la superficie sólida externa de la Tierra se deformaba plegándose para ajustarse a la contracción del planeta. Por consiguiente, las montañas se consideraban análogas a las arrugas que aparecen en una pieza de fruta cuando se va secando. Este modelo de los procesos tectónicos de la Tierra, aunque inadecuado, estaba firmemente atrincherado en el pensamiento geológico de la época*.

A partir de los años sesenta se han recogido enormes cantidades de datos nuevos que han cambiado de manera notable nuestro conocimiento de la naturaleza y el funcionamiento de nuestro planeta. Los geólogos saben ahora que los continentes se desplazan de manera gradual sobre la superficie del planeta. En los puntos donde se separan las masas de tierra, se crean nuevas cuencas oceánicas entre los bloques divergentes. Mientras tanto, las porciones más antiguas del fondo oceánico son transportadas de vuelta al manto en las zonas de fosas oceánicas. Debido a este movimiento, los bloques de material continental acaban colisionando y forman las grandes cordilleras montañosas de la Tierra. En resumen, ha surgido un nuevo modelo revolucionario para explicar los procesos tectónicos de la Tierra.

Este completo cambio de la opinión científica ha sido descrito con toda propiedad como una revolución científica. Como en el caso de otras revoluciones científicas, ha transcurrido un periodo considerable entre la concepción de la idea y su aceptación general. La revolución empezó a principios del siglo XX como una propuesta relativamente sencilla de que los continentes derivaban sobre la superficie de la Tierra. Después de muchos años de intenso debate, la idea de la deriva de los continentes fue rechazada por la gran mayoría de los geólogos como improbable.

El concepto de una Tierra móvil desagradaba de manera particular a los geólogos norteamericanos, quizá porque la mayor parte de las pruebas que apoyaba el movimiento había sido recogida de los continentes del hemisferio sur, con los cuales la mayoría de los geólogos norteamericanos estaba esencialmente poco familiarizada. Sin embargo, durante las décadas de los años cincuenta y sesenta, nuevas pruebas empezaron a reavivar el interés por esta propuesta que estaba casi abandonada. En 1968, esos nuevos avances indujeron la exposición de una teoría mucho más completa que incorporaba aspectos de la deriva continental y de la expansión del fondo oceánico: una teoría conocida como **tectónica de placas**.

En este capítulo examinaremos los acontecimientos que llevaron a este gran cambio de la opinión científica en

un intento de proporcionar una visión de cómo funciona la ciencia. Describiremos brevemente los avances que tuvieron lugar desde la concepción del concepto de deriva continental hasta la aceptación general de la teoría de la tectónica de placas. También se comentarán las pruebas que apoyan el concepto de una Tierra móvil.

Deriva continental: una idea que se adelantó a su época

La idea de que los continentes, sobre todo Sudamérica y África, encajan como las piezas de un rompecabezas, se originó con el desarrollo de mapas mundiales razonablemente precisos. Sin embargo, se dio poca importancia a esta idea hasta 1915, cuando Alfred Wegener, meteorólogo y geofísico alemán, publicó *El origen de los continentes y los océanos**. En este libro, Wegener estableció el esbozo básico de su radical hipótesis de la **deriva continental**.

Wegener sugirió que en el pasado había existido un *supercontinente* único denominado **Pangea** (que significa "toda la Tierra") (Figura 19.1). Además planteó la hipótesis de que hace unos 200 millones de años este supercontinente empezó a romperse en continentes más pequeños, que "derivaron" a sus posiciones actuales.

Wegener y quienes defendían esta hipótesis recogieron pruebas sustanciales que apoyaban sus afirmaciones. El ajuste de Sudamérica y África, las evidencias fósiles, las estructuras rocosas y los climas antiguos parecían apoyar la idea de que esas masas de tierra, ahora separadas, estuvieron juntas en alguna ocasión. Examinemos sus pruebas.

Encaje de los continentes

Como algunos antes que él, Wegener sospechó por primera vez que los continentes podrían haber estado unidos en alguna ocasión al observar las notables semejanzas existentes entre las líneas de costa situadas a los dos lados del Atlántico sur (Figura 19.2). Sin embargo, su utilización de las líneas de costa actuales para hacer encajar los continentes fue inmediatamente contestada por otros geólogos. Estos últimos sostenían, correctamente, que las líneas de costa están siendo continuamente modificadas por procesos erosivos y sedimentarios. Aun cuando hubiera tenido lugar el desplazamiento de los continentes, sería improbable un buen ajuste en la actualidad. Además, las muchas evidencias fósiles indican que la mayor parte de las áreas emergidas del planeta han experimentado periodos de levantamiento o de subsidencia

*Por *tectónica* se entienden las deformaciones de la corteza terrestre, que provoca la formación de estructuras como las montañas.

*Las ideas de Wegener fueron realmente precedidas por las de un geólogo estadounidense, F. B. Taylor, que publicó en 1910 un artículo sobre la deriva continental. El artículo de Taylor proporcionó pocas pruebas que corroborasen la deriva continental, lo que pudo ser la razón de que tuviera un impacto relativamente pequeño en la comunidad científica.

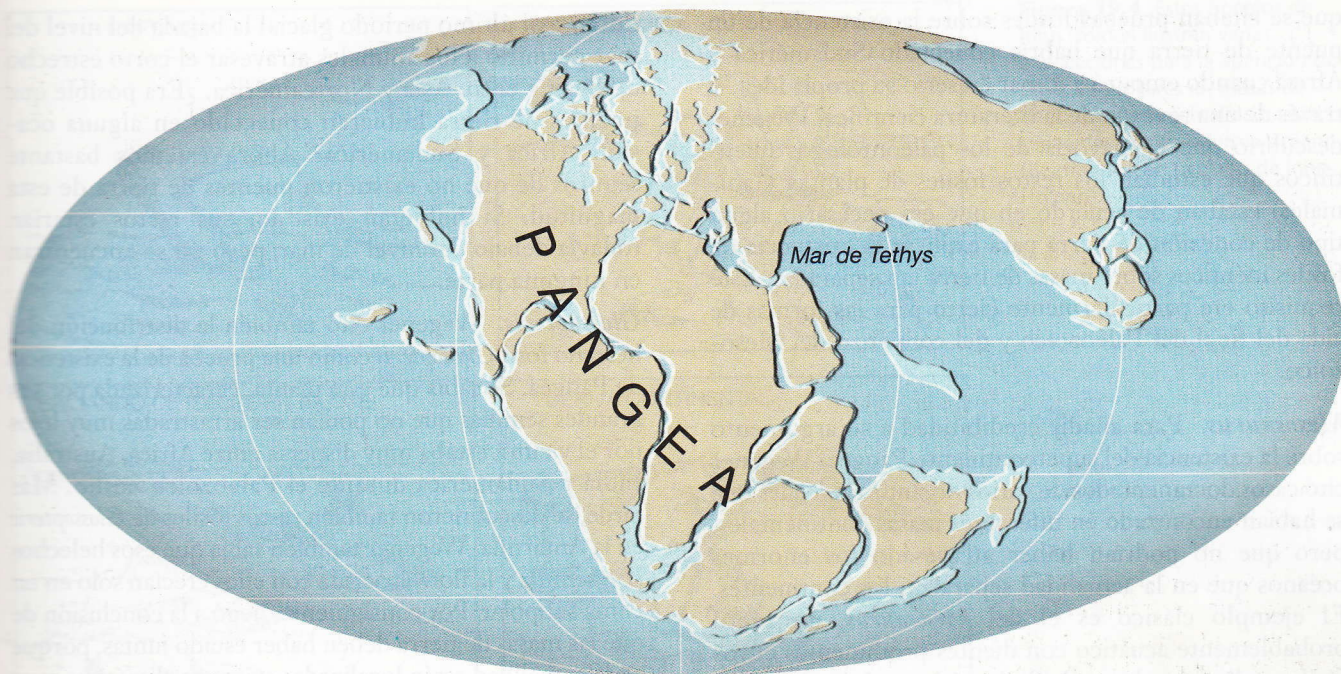


Figura 19.1 Reconstrucción de Pangea como se piensa que era hace 200 millones de años.

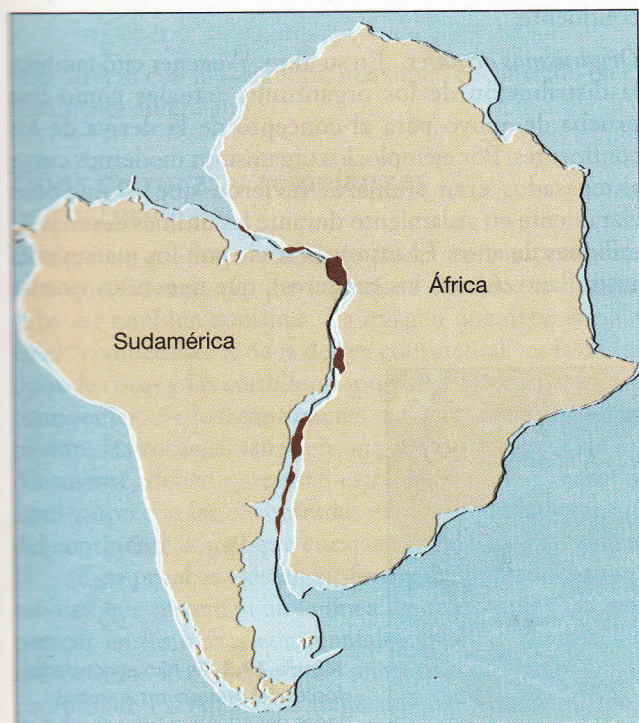


Figura 19.2 Aquí se muestra el mejor ajuste entre Sudamérica y África a lo largo del talud continental a una profundidad de unos 900 metros. Las áreas de solapamiento entre los bloques continentales están coloreadas en marrón. (Tomado de A. G. Smith, "Continental Drift." En *Understanding the Earth*, editado por L. G. Gass, cortesía de Artemis Press).

en el pasado geológico reciente. Esto habría alterado de manera notable la posición de las líneas de costa globales. Wegener parecía consciente de esos problemas y, de hecho, su ajuste original de los continentes era muy aproximado.

Una aproximación mucho mejor del verdadero límite externo de los continentes es la plataforma continental. En la actualidad, el borde de la plataforma continental que se dirige al mar se encuentra sumergido, unos cuantos centenares de metros por debajo del nivel del mar. A principios de la década de los sesenta Sir Edward Bullard y dos de sus colaboradores produjeron un mapa en el que se intentaba ajustar los bordes de las plataformas continentales sudamericana y africana a una profundidad de 900 metros. El notable ajuste que se obtuvo se muestra en la Figura 19.2. Aunque los continentes se solapaban en unos pocos lugares, se trata de regiones donde las corrientes han depositado grandes cantidades de sedimentos, aumentando con ello el tamaño de las plataformas continentales. El ajuste global fue incluso mejor de lo que habrían sospechado quienes apoyaban la teoría de la deriva continental.

Evidencias fósiles

Aunque Wegener estaba intrigado por las notables semejanzas de las líneas de costa a ambos lados del Atlántico, al principio pensó que la idea de una Tierra móvil era improbable. No fue hasta la aparición de un artículo en el

que se citaban pruebas fósiles sobre la existencia de un puente de tierra que habría conectado Sudamérica y África cuando empezó a tomar en serio su propia idea. A través de una revisión de la literatura científica, Wegener descubrió que la mayoría de los paleontólogos (científicos que estudian los restos fósiles de plantas y animales) estaban de acuerdo en que era necesario algún tipo de conexión de tierra para explicar la existencia de fósiles idénticos sobre masas de tierra tan separadas. Este requisito era particularmente cierto para las formas de vida del final del Paleozoico y del comienzo del Mesozoico.

Mesosaurus. Para añadir credibilidad a su argumento sobre la existencia del supercontinente Pangea, Wegener citó casos documentados de varios organismos fósiles que se habían encontrado en diferentes masas continentales, pero que no podrían haber atravesado los enormes océanos que en la actualidad separaban los continentes. El ejemplo clásico es el del *Mesosaurus*, un reptil probablemente acuático con dientes prominentes cuyos fósiles se limitan al este de Sudamérica y al sur de África (Figura 19.3). Si el *Mesosaurus* hubiera sido capaz de nadar lo suficiente para atravesar el enorme océano Atlántico meridional, sus restos deberían tener una distribución más amplia. Como esto no era así, Wegener supuso que Sudamérica y África debieron haber estado juntas de alguna manera.

¿Cómo explicaban los científicos de la época de Wegener el descubrimiento de organismos fósiles idénticos en lugares separados por miles de kilómetros de mar abierto? La idea de puentes de tierra era la solución generalmente más aceptada para el problema de la migración (Figura 19.4). Sabemos, por ejemplo, que

durante el último periodo glacial la bajada del nivel del mar permitió a los animales atravesar el corto estrecho de Bering entre Asia y Norteamérica. ¿Era posible que puentes de tierra hubieran conectado en alguna ocasión África y Sudamérica? Ahora estamos bastante seguros de que no existieron puentes de tierra de esta magnitud. Si hubieran existido, sus restos estarían todavía debajo del nivel de mar, pero no se encuentran en ninguna parte.

Glossopteris. Wegener citó también la distribución del helecho fósil *Glossopteris* como una prueba de la existencia de Pangea. Se sabía que esta planta, caracterizada por sus grandes semillas que no podían ser arrastradas muy lejos por el viento, estaba muy dispersa entre África, Australia, India y Sudamérica durante el Paleozoico tardío. Más tarde, se descubrieron también restos fósiles de *Glossopteris* en la Antártida. Wegener también sabía que esos helechos con semilla y la flora asociada con ellos crecían sólo en un clima subpolar. Por consiguiente, llegó a la conclusión de que las masas de tierra deben haber estado juntas, porque en la actualidad están localizadas en zonas climáticas muy diferentes de las que soportan el crecimiento de plantas a quienes les gusta el frío. Para Wegener, los fósiles eran pruebas convincentes de que había existido un supercontinente.

Organismos actuales. En su libro, Wegener citó también la distribución de los organismos actuales como una prueba de apoyo para el concepto de la deriva de los continentes. Por ejemplo, los organismos modernos cuyos antepasados eran similares tuvieron que evolucionar claramente en aislamiento durante las últimas decenas de millones de años. El caso más obvio son los marsupiales australianos (como los canguros), que tienen un vínculo

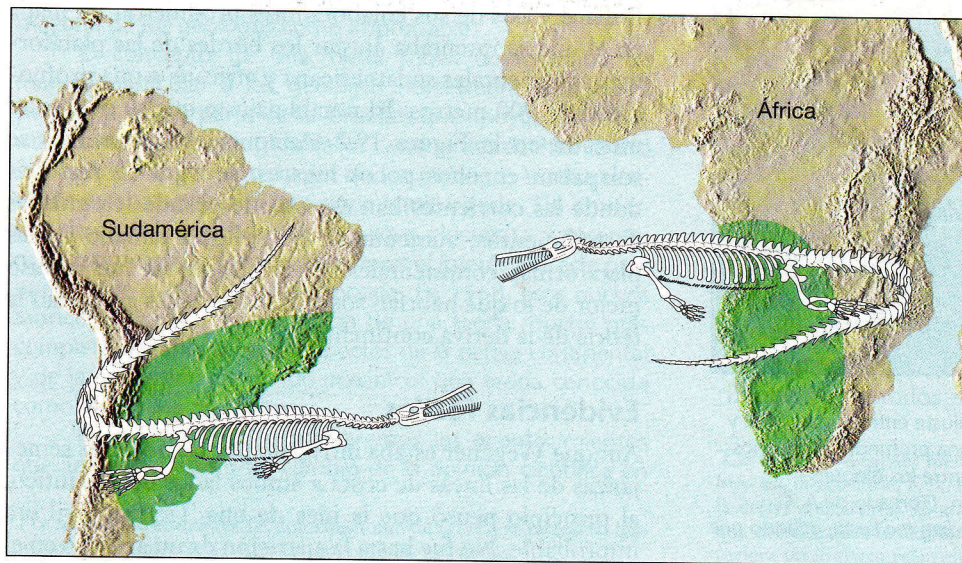


Figura 19.3 Se han encontrado fósiles del *Mesosaurus* a ambos lados del Atlántico sur y en ningún otro lugar del mundo. Los restos fósiles de éste y otros organismos en los continentes africano y sudamericano parecen unir estas masas de tierra entre el final del Paleozoico y el comienzo del Mesozoico.

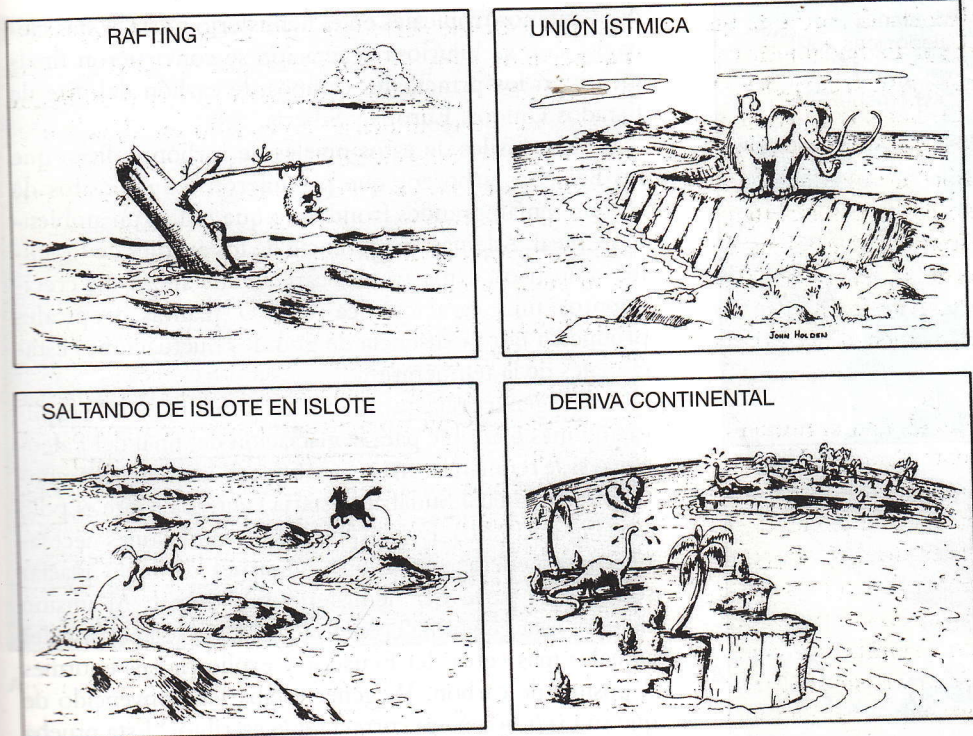


Figura 19.4 Estos bocetos de John Holden ilustran varias explicaciones para la aparición de especies similares en masas de tierra que en la actualidad están separadas por un enorme océano. (Reimpreso con permiso de John Holden).

fósil directo con la zarigüeya, marsupial encontrado en el continente americano.

Tipos de rocas y semejanzas estructurales

Cualquiera que haya intentado hacer un rompecabezas sabe que, además de que las piezas encajen, la imagen debe ser también continua. La imagen que debe encajar en el “rompecabezas de la deriva continental” es la de los tipos de rocas y las cordilleras montañosas situadas en los continentes. Si los continentes estuvieron juntos en el pasado, las rocas situadas en una región concreta de un continente, deben parecerse estrechamente en cuanto a edad y tipo con las encontradas en posiciones adyacentes del continente con el que encajan.

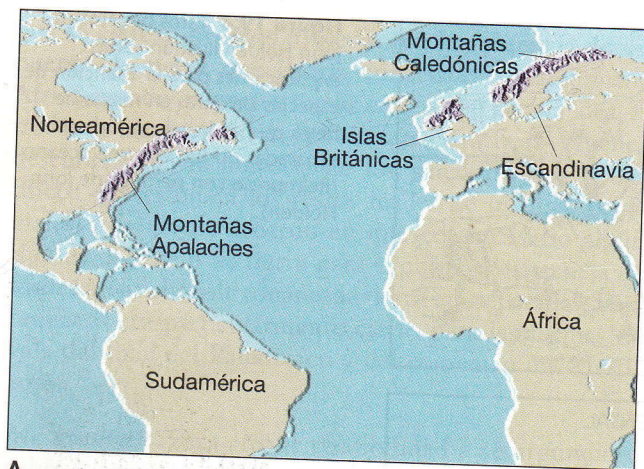
Esas pruebas existen en forma de cinturones montañosos que terminan en la línea de costa, sólo para reaparecer en las masas continentales situadas al otro lado del océano. Por ejemplo, el cinturón montañoso que comprende los Apalaches tiene una orientación noreste en el este de Estados Unidos y desaparece en la costa de Terranova (Figura 19.5A). Montañas de edad y estructuras comparables se encuentran en las Islas Británicas y Escandinavia. Cuando se reúnen esas masas de tierra, como en la Figura 19.5B, las cadenas montañosas forman un cinturón casi continuo.

A Wegener le gustó mucho que las semejanzas en la estructura de las rocas en ambos lados del Atlántico relacionaran esas masas de tierra. En sus propias palabras, “es como si fuéramos a recolocar los trozos rotos de un periódico juntando sus bordes y comprobando después si las líneas impresas coinciden. Si lo hacen, no queda más que concluir que los trozos debían juntarse realmente de esta manera”^{3*}.

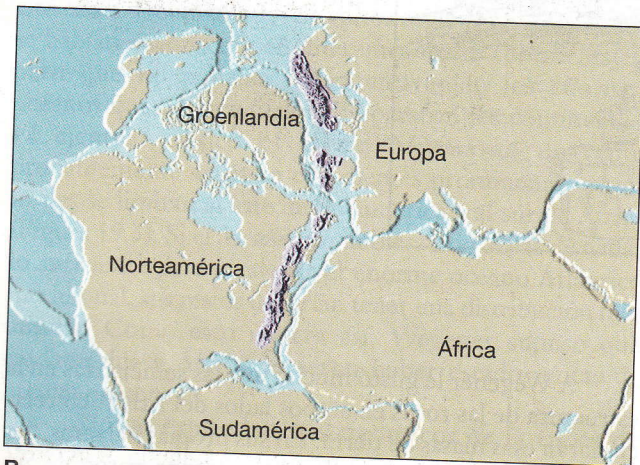
Evidencias paleoclimáticas

Dado que Wegener era meteorólogo de profesión, estaba muy interesado en obtener datos paleoclimáticos (de climas antiguos) en apoyo de la deriva continental. Sus esfuerzos se vieron recompensados cuando encontró pruebas de cambios climáticos globales aparentemente notables. En concreto, dedujo de depósitos glaciares antiguos, que grandes masas de hielo cubrían extensas áreas del hemisferio Sur, a finales del Paleozoico (entre 220 y 300 millones de años). En el sur de África y en Sudamérica se encontraron capas de till glaciar de la misma edad, así como en India y en Australia. Debajo de esos estratos de derrubios glaciares había rocas estriadas y acanaladas. En algunas localizaciones, las estrías y las aca-

³Alfred Wegener, *El origen de los continentes y los océanos*. Traducido al español de la cuarta edición alemana revisada de 1929 por J. Birman (Long Methuen, 1966).



A



B

Figura 19.5 Unión de cordilleras montañosas a través del Atlántico Norte. **A.** Los Apalaches se sitúan a lo largo del flanco oriental de América del Norte y desaparecen de la costa de Terranova. Montañas de edad y estructuras comparables se encuentran en las Islas Británicas y Escandinavia. **B.** Cuando esas masas de tierra se colocan en sus posiciones previas a la separación, esas cadenas montañosas antiguas forman un cinturón casi continuo. Esos cinturones montañosos plegados se formaron hace aproximadamente 300 millones de años conforme las masas de tierra colisionaron durante la formación del supercontinente Pangea.

naladuras indicaban que el hielo se había desplazado sobre la tierra desde lo que ahora es el mar (Figura 19.6A). Gran parte de las zonas que contienen pruebas de esta glaciación paleozoica tardía se encuentra en la actualidad en una franja de 30 grados en torno al Ecuador en un clima subtropical o tropical. ¿Pudo la Tierra haber atravesado un periodo de frío suficiente como para generar extensos glaciares de casquete en lo que es una región tropical en la actualidad? Wegener rechazó esta explicación, porque durante el mismo periodo, existieron gran-

des pantanos tropicales en el hemisferio norte. Estas ciénagas, con su lujuriosa vegetación se convirtieron finalmente en los principales campos de carbón del este de Estados Unidos, Europa y Siberia.

Los fósiles de estos niveles de carbón indican que los helechos arbóreos que produjeron los depósitos de carbón tenían grandes frondas, lo que indica un ambiente tropical. Además, a diferencia de los árboles de los climas más fríos, estos árboles carecían de anillos de crecimiento, una característica de las plantas tropicales producida por la ausencia de grandes fluctuaciones estacionales de la temperatura.

Wegener creía que podría proporcionarse una explicación más plausible para la glaciación del final del Paleozoico si se reunían las masas continentales en un supercontinente en el cual Sudáfrica estaría centrada sobre el polo sur (Figura 19.6B). Esto explicaría las condiciones necesarias para generar extensiones enormes de hielo glaciar sobre gran parte del hemisferio meridional. Al mismo tiempo, esta geografía colocaría las masas septentrionales actuales más cerca del Ecuador y explicaría sus enormes depósitos de carbón. Wegener estaba tan convencido de que su explicación era correcta que escribió: "Esta prueba es tan convincente que, por comparación, todos los demás criterios deben ocupar una posición secundaria."

¿Cómo se desarrolló un glaciar en la caliente y árida Australia? ¿Cómo migran los animales terrestres a través de extensiones enormes de mar abierto? Por muy convincente que esta evidencia pudiera haber sido, pasaron 50 años antes de que la mayoría de la comunidad científica la aceptara y las conclusiones lógicas que de ella se derivan.

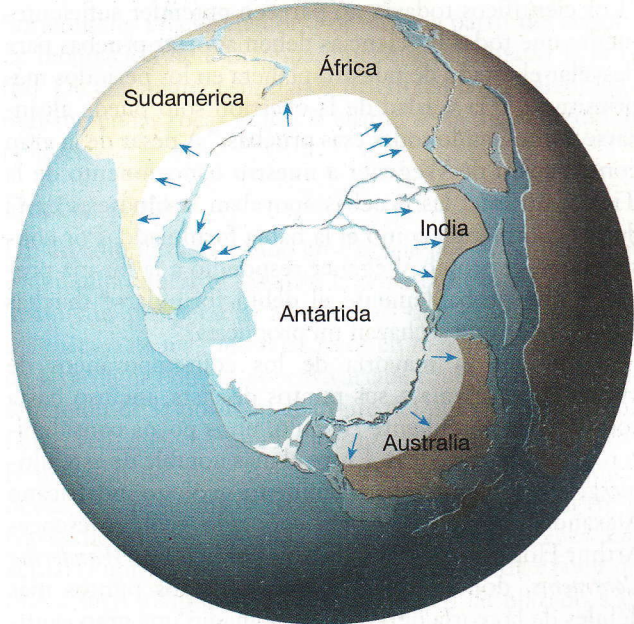
El gran debate

La propuesta de Wegener no fue muy discutida hasta 1924, cuando su libro fue traducido al inglés, alemán, español y ruso. Desde ese momento hasta su muerte, en 1930, su hipótesis de la deriva tuvo muchas críticas hostiles. Para citar al respetado geólogo norteamericano R. T. Chamberlain: "La hipótesis de Wegener es en general del tipo de las hipótesis poco fundadas, en la que se toman considerables libertades con nuestro planeta, y está menos ligada por restricciones o atada por hechos desagradables e inconvenientes que la mayoría de sus teorías rivales. Su atractivo parece radicar en el hecho de que se desarrolla un juego en el cual hay pocas reglas restrictivas y un código de conducta poco estipulado."

W. B. Scott, antiguo presidente de la Sociedad Filosófica Norteamericana, expresó la opinión que predominaba en Norteamérica sobre la deriva continental en menos palabras al describir la hipótesis como "un completo disparate".



A



B

Figura 19.6 A. Estrías glaciares en un estrato de roca de Hallet Cove, sur de Australia, que indican la dirección del movimiento del hielo. (Foto de W. B. Hamilton, U. S. Geological Survey). B. Dirección del movimiento del hielo en el supercontinente meridional denominado Gondwana según quienes desarrollaron la hipótesis de la deriva continental.

Objeciones a la hipótesis de la deriva continental

Una de las principales objeciones a la hipótesis de Wegener procedía de su incapacidad para indicar un mecanismo capaz de mover los continentes a través del planeta. Wegener propuso que la influencia mareal de la Luna era lo bastante fuerte como para impulsar el movimiento de los continentes hacia el oeste. Sin embargo, el destacado físico Harold Jeffreys contestó rápidamente con el argumento de que una fricción mareal de la magnitud necesaria para desplazar los continentes habría frenado la rotación de la Tierra en cuestión de unos pocos años.

Wegener sugirió también que los continentes más grandes y pesados cruzaron la corteza oceánica, de manera muy parecida a como los rompehielos atraviesan el hielo. Sin embargo, no existían pruebas que sugirieran que el suelo oceánico era lo bastante débil como para permitir el paso de los continentes sin deformarse él mismo de manera apreciable en el proceso.

En 1929, las críticas de la idea de Wegener procedían de todas las áreas de la comunidad científica. A pesar de estas afrentas, Wegener escribió la cuarta y última edición de su libro, manteniendo su hipótesis básica y añadiendo nuevas pruebas de apoyo.

En 1930, hizo su tercer y último viaje a la zona glaciar de Groenlandia. Aunque el objetivo fundamental de

esta expedición era estudiar el duro clima invernal en esta isla cubierta de hielo, Wegener planeaba comprobar también su hipótesis de la deriva continental. Wegener creía que si establecía con precisión las localizaciones de una serie de puntos y luego medía la modificación de su posición a lo largo de un periodo de varios años, podría demostrar la deriva de Groenlandia hacia el oeste con respecto a Europa. En noviembre de 1930, mientras volvía de Eismitte (una estación experimental localizada en el centro de Groenlandia), Wegener murió junto con su compañero. Su intrigante idea, sin embargo, no murió con él.

La deriva continental y el método científico

¿Por qué no fue capaz Wegener de modificar el punto de vista científico establecido en su época? Aunque su hipótesis era correcta en principio, contenía muchos detalles incorrectos. Por ejemplo, los continentes no se abren paso a través del suelo oceánico, y la energía de las mareas no es el mecanismo impulsor del movimiento de los continentes. Para que cualquier punto de vista científico gane aceptación general, deben encontrarse pruebas que lo apoyen desde todos los ámbitos de la ciencia.

Esta misma idea fue comentada muy bien por el propio Wegener en respuesta a sus críticos cuando dijo:

“Los científicos todavía no parecen entender suficientemente que todas las ciencias deben aportar pruebas para desvelar el estado de nuestro planeta en los periodos más primitivos, y la verdad de la cuestión sólo puede alcanzarse combinando todas esas pruebas.” A pesar de la gran contribución de Wegener a nuestro conocimiento de la Tierra, no *todas* las pruebas apoyaban la hipótesis de la deriva continental como él la había formulado. Por consiguiente, el propio Wegener respondió a la misma pregunta que probablemente él debió formularse muchas veces: “¿Por qué rechazan mi propuesta?”

Aunque la mayoría de los contemporáneos de Wegener se oponía a sus puntos de vista, incluso hasta considerarlo claramente ridículo, unos pocos consideraron plausibles sus ideas. Entre el más notable de este último grupo se encontraba el eminente geólogo sudafricano Alexander du Toit y el bien conocido geólogo escocés Arthur Holmes. En 1937, du Toit publicó *Our Wandering Continents*, donde eliminó algunos de los puntos más débiles de la teoría de Wegener y añadió una gran cantidad de nuevas pruebas en apoyo de su revolucionaria idea. Arthur Holmes propuso un mecanismo impulsor plausible para la deriva continental. En el libro de Holmes *Geología física*, sugería que las corrientes de convección que actúan dentro del manto, eran responsables de la propulsión de los continentes a través del planeta.

Para estos pocos geólogos que continuaron la búsqueda, el apasionante concepto del movimiento de los continentes atraía su interés. Otros consideraban la deriva continental como una solución a observaciones previamente inexplicables.

Deriva continental y paleomagnetismo

En el periodo transcurrido entre el fallecimiento de Wegener, en 1930, y principios de la década de los cincuenta se arrojó poca luz nueva sobre la hipótesis de la deriva continental. Poco se sabía sobre la tierra que había debajo del mar, que representa más del 70% de la superficie terrestre. Esta zona relativamente inexplorada tenía la clave para revelar muchos secretos de nuestro planeta.

Quizá el ímpetu inicial para el renovado interés por la deriva continental procedió del magnetismo de las rocas, un campo de estudio relativamente nuevo. Los primeros estudios del magnetismo de las rocas abordaron la investigación de los cambios antiguos del campo magnético terrestre con la esperanza de comprender mejor la naturaleza del campo magnético actual. Cualquiera que haya utilizado una brújula sabe que el campo magnético tiene un polo norte y un polo sur. Estos polos magnéticos se alinean estrecha, pero no exactamente, con los polos

geográficos. (Los polos geográficos son simplemente la parte superior e inferior de la esfera en rotación sobre la que vivimos, y los puntos donde ésta es atravesada por el eje de rotación.)

Paleomagnetismo

En muchos aspectos, el campo magnético es similar al generado por una barra imantada. Líneas invisibles de fuerza atraviesan la Tierra y se extienden de un polo al otro (Figura 19.7). La aguja de una brújula, un pequeño imán con libertad para moverse de un lado a otro, se alinea con esas líneas de fuerza y apunta, por tanto, hacia los polos magnéticos.

La técnica utilizada para estudiar los campos magnéticos antiguos se basa en el hecho de que ciertas rocas contienen minerales que sirven como “brújulas fósiles”. Estos minerales ricos en hierro, como la magnetita, son abundantes en las coladas de lava de composición basáltica. Cuando se calientan por encima de una temperatura conocida como el **punto de Curie**, estos minerales magnéticos pierden su magnetismo. Sin embargo, cuando esos granos ricos en hierro se enfrían por debajo de su punto de Curie (aproximadamente 580 °C), se magnetizan según una dirección paralela a las líneas de fuerza magnéticas existentes en ese momento. Una vez que los minerales se solidifican, el magnetismo que poseen permanecerá “congelado” en esa posición. A este respecto, se comportan de manera muy parecida a como lo hace la aguja de una brújula: “apuntan” hacia los polos magnéticos existentes cuando se enfriaron. Luego, si la roca se

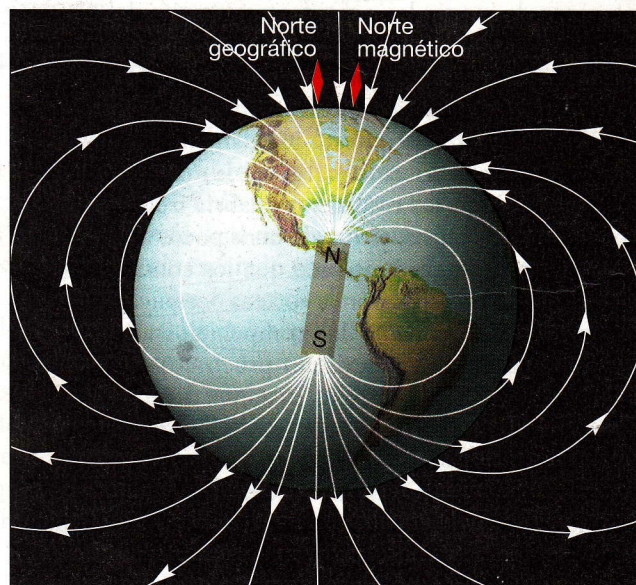


Figura 19.7 El campo magnético de la Tierra consiste en líneas de fuerza muy parecidas a las que produciría una barra imantada gigante si se colocara en el centro de la Tierra.