

Comparando las Figuras 19.29D y 19.29E, podemos ver que la separación de Groenlandia de Eurasia fue un acontecimiento reciente en la historia geológica. Obsérvese también la formación reciente de la península de California Baja, junto con el golfo de California. Este acontecimiento empezó hace menos de 10 millones de años.

### Antes de Pangea

Antes de la formación de Pangea, las masas de tierra, probablemente, atravesaron varios episodios de fragmentación similar a lo que vemos que está ocurriendo en la actualidad. También como hoy, esos continentes antiguos se separarían unos de otros sólo para colisionar de nuevo en alguna otra localización. El supercontinente bien documentado más antiguo, conocido como *Rodinia*, se formó aproximadamente hace 1.000 millones de años. *Rodinia* parece haber abarcado la mayoría de los continentes, pero en una configuración bastante diferente de Pangea. Hace aproximadamente 725 millones de años, *Rodinia* empezó a fragmentarse. Fueron estos fragmentos continentales, que se separaron, los que se combinaron más tarde para formar Pangea durante el periodo que va desde los 500 millones de años hasta hace 250 millones de años. Las pruebas de la formación de Pangea incluyen los Urales de Rusia y los Apalaches, que flanquean la costa oriental de Norteamérica.

Hace unos 500 millones de años, el continente septentrional (conocido como *Laurasia*) se fragmentó en tres secciones principales: Norteamérica, norte de Europa (el sur de Europa formaba parte de África) y Siberia, separada cada sección por un océano de tamaño considerable. El continente meridional *Gondwana*, probablemente, estuvo intacto y se encontraba cerca del polo sur. La primera colisión se produjo cuando Norteamérica y Europa cerraron el pre-Atlántico norte. Esta actividad provocó la formación de los Apalaches septentrionales. Partes del fondo del océano primitivo pueden verse en la actualidad encima del nivel del mar en Nueva Escocia. La franja del este de Canadá y de Estados Unidos que se encuentra hacia el mar en el lugar donde se produjo esta colisión es verdaderamente un fragmento de Europa. Se piensa también que antes de que Norteamérica y Europa colisionaran, parte de Escocia, Irlanda y Noruega estaban unidas a la placa norteamericana. Mientras Norteamérica y Europa se estaban uniendo, Siberia estaba cerrando el hueco existente entre ella y Europa. Este cierre culminó hace unos 300-350 millones de años con la formación de los Urales. La consolidación de esas masas de tierra completó el continente septentrional de Laurasia.

Durante los siguientes 50 millones de años, las masas de tierra del norte y del sur convergieron, produ-

ciendo el supercontinente Pangea. En esta época (hace unos 300-250 millones de años), África y Norteamérica colisionaron para producir los Apalaches del sur.

## Mecanismo impulsor

La teoría de la tectónica de placas *describe* el movimiento de las placas y los *efectos* de este movimiento. Por consiguiente, la aceptación de este modelo no depende del conocimiento de la fuerza o las fuerzas que mueven las placas. Esto es una fortuna, porque ninguno de los mecanismos conductores propuestos hasta ahora puede explicar *todas* las principales facetas del movimiento de las placas. No obstante, está claro que la distribución desigual del calor en el interior de la Tierra es la fuerza motriz subyacente al movimiento de las placas.

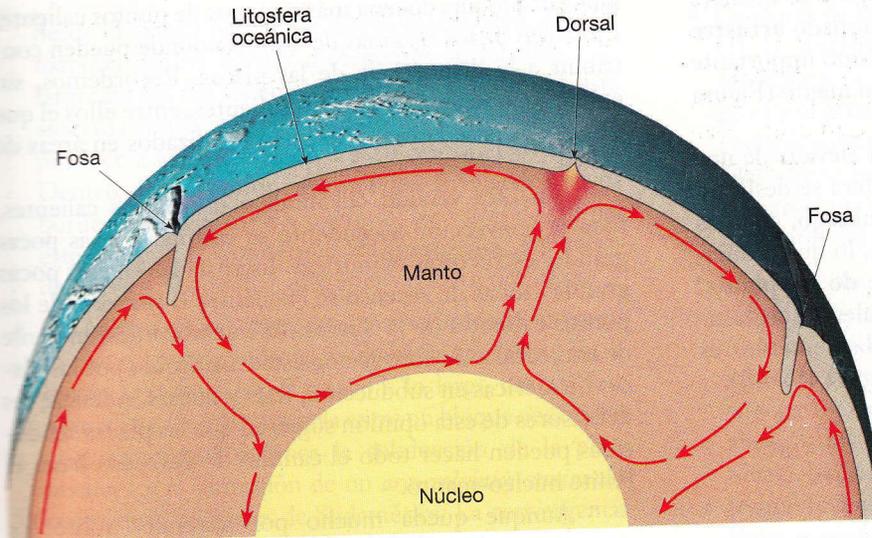
### Corrientes de convección

Uno de los primeros modelos para explicar los movimientos de las placas fue propuesto por el eminente geólogo inglés Arthur Holmes como un mecanismo impulsor posible para la deriva continental. Adaptada a la tectónica de placas, esta hipótesis sugiere que grandes corrientes de convección del manto (en las cuales la roca caliente, menos densa, asciende y el material más frío y denso se hunde) impulsan el movimiento de las placas (Figura 19.30A). Según esta propuesta, el material caliente y menos denso del manto inferior asciende muy despacio en las regiones de las dorsales oceánicas. A medida que el material se expande lateralmente, arrastra la litosfera a lo largo, como los paquetes en una cinta transportadora. Al final, el material se enfría y empieza a hundirse de nuevo en el manto inferior, donde vuelve a calentarse.

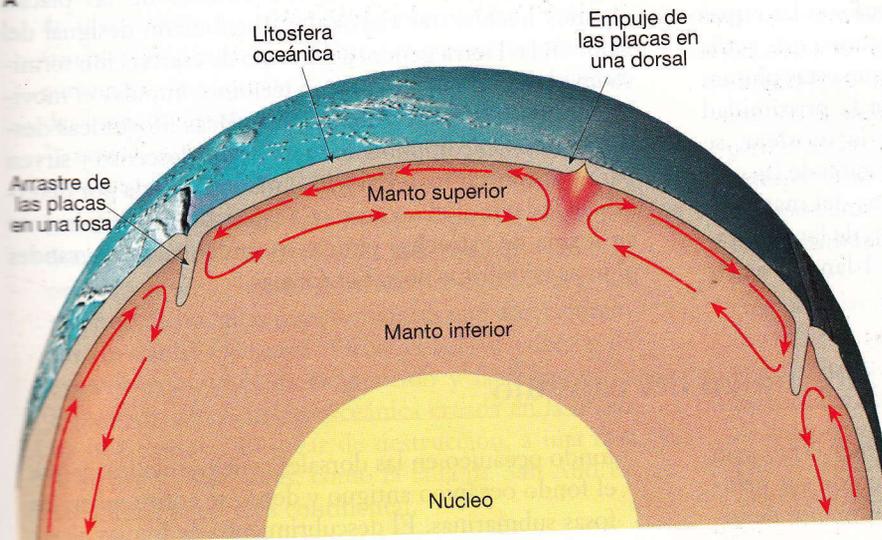
En parte debido a su simplicidad, esta hipótesis fue aceptada de manera generalizada. Sin embargo, en la actualidad, los investigadores saben, gracias a las técnicas de investigación modernas, que el flujo del material en el manto es bastante más complejo que el de simples células de convección. Además, ahora está claro que las placas litosféricas no son pasajeros transportados por corrientes de convección, sino que, al contrario, forman parte de esa circulación.

### Empuje y arrastre de las placas

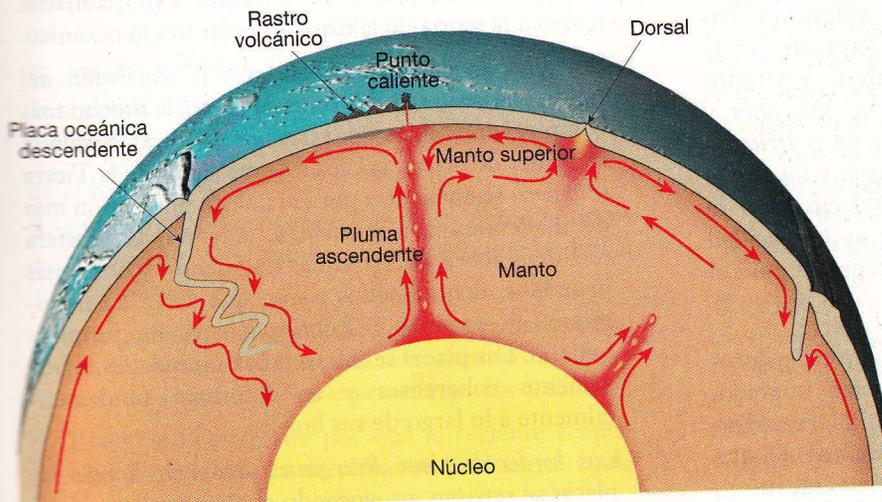
Se han sugerido muchos otros mecanismos que pueden contribuir al movimiento de las placas. Uno se basa en el hecho de que, a medida que una placa recién formada de corteza oceánica se separa de la cresta de la dorsal, se enfría de manera gradual y aumenta su densidad. Por fin, la placa oceánica fría se hace más densa que la astenosfera subyacente y empieza a hundirse. Cuando esto ocurre,



A



B



C

**Figura 19.30** Modelos propuestos para la fuerza motriz que impulsa la tectónica de placas. **A.** Grandes células de convección en el manto pueden transportar la litosfera de una manera semejante a como funciona una cinta transportadora. **B.** El arrastre de las placas se produce porque la placa subducida es más densa que el material subyacente. El empuje de la placa es una forma de deslizamiento por gravedad causada por la posición elevada de la litosfera en las dorsales. **C.** El modelo de pluma caliente sugiere que toda la convección ascendente está confinada a unas pocas plumas estrechas, mientras que los miembros descendentes de esas células de convección son las placas oceánicas subducentes frías y densas.

la placa fría que se hunde empuja consigo a la litosfera que tiene detrás. Este mecanismo denominado **arrastre de las placas** se piensa que es un mecanismo importante de transporte del material frío de vuelta al manto (Figura 19.30B).

Otra posibilidad es que la posición elevada de una dorsal oceánica podría hacer que la litosfera se deslizara bajo la influencia de la gravedad. Sin embargo, algunos sistemas de dorsales han sido subducidos, lo que reduciría la eficacia del mecanismo de **empuje de las placas**. No obstante, en algunos sistemas de dorsales parece activo el fenómeno de empuje, pero, probablemente, es mucho menos efectivo que el arrastre (Figura 19.30B).

### Plumas ascendentes y placas descendentes

Una versión del modelo de convección térmica sugiere que las plumas calientes y flotantes de roca son las ramas de flujo ascendente del mecanismo convectivo que actúa en el manto (Figura 19.30C). Se supone que estas plumas calientes se extienden hacia arriba desde la proximidad del límite manto-núcleo. Tras alcanzar la litosfera, se expanden lateralmente y facilitan la separación de las placas sobre la zona de ascenso. Estas plumas del manto se revelan ellas mismas como áreas volcánicas de larga duración (puntos calientes) en lugares como Islandia. Se ha

identificado una docena más o menos de puntos calientes a lo largo de los sistemas de dorsales donde pueden contribuir a la divergencia de las placas. Recordemos, sin embargo, que muchos puntos calientes, entre ellos el que generó las islas Hawaii, no están localizados en áreas de dorsal.

En otra versión del modelo de plumas calientes, toda la convección ascendente se confina a unas pocas grandes estructuras cilíndricas. Incrustadas en esas pocas grandes zonas de ascenso se encuentra la mayoría de los puntos calientes de la Tierra. El miembro descendente de esas células de convección está constituido por las placas litosféricas en subducción, frías y densas. Además, los defensores de esta opinión sugieren que las placas subducidas pueden hacer todo el camino de descenso hasta el límite núcleo-manto.

Aunque queda mucho por aprender sobre los mecanismos que causan el movimiento de las placas, algunos hechos son claros. La distribución desigual del calor en la Tierra genera algún tipo de convección térmica en el manto que, en último término, impulsa el movimiento de las placas. Además, las placas litosféricas descendentes son componentes activos del descenso y sirven para transportar material frío al manto. Queda por determinar todavía si el ascenso se realiza fundamentalmente en forma de estrechas plumas ascendentes o de grandes plumas cilíndricas de varias formas.

## Resumen del capítulo

- A principios del siglo XX: *Alfred Wegener* estableció la hipótesis de la *deriva continental*. Uno de sus principales principios era que un supercontinente denominado *Pangea* empezó a separarse en continentes más pequeños hace unos 200 millones de años. Los fragmentos continentales menores “emigraron” entonces a sus posiciones actuales. Para apoyar la afirmación de que los continentes ahora separados estuvieron unidos en alguna ocasión, Wegener y otros utilizaron *el ajuste entre Sudamérica y África, la evidencia fósil, los tipos y estructuras rocosas y los climas antiguos*. Una de las principales objeciones a la hipótesis de la deriva continental fue su incapacidad para proporcionar un mecanismo aceptable para el movimiento de los continentes.
- Del estudio del *paleomagnetismo* los investigadores aprendieron que los continentes habían migrado, como proponía Wegener. En 1962, Harry Hess formuló la idea de la *expansión del fondo oceánico*, que establece que se está generando continuamente nuevo fondo oceánico en las dorsales centrooceánicas y que el fondo oceánico antiguo y denso se consume en las fosas submarinas. El descubrimiento de franjas alternas de magnetismo de intensidad alta y baja, que son paralelas a las crestas de las dorsales, proporcionaron apoyo a la teoría de la expansión del fondo oceánico.
- En 1968, la deriva continental y la expansión del fondo oceánico se unieron en una teoría mucho más completa conocida como *tectónica de placas*. Según la tectónica de placas, la capa externa rígida de la Tierra (*litosfera*) se encuentra por encima de una región más débil, denominada *astenosfera*. Además, la litosfera está dividida en siete grandes fragmentos y otros más pequeños, denominados *placas*, que están en movimiento y cambiando continuamente de forma y tamaño. Las placas se mueven como unidades relativamente coherentes y se deforman fundamentalmente a lo largo de sus bordes.
- Los *bordes de placa divergentes* aparecen donde las placas se separan, provocando el ascenso de material

desde el manto para crear nuevo fondo oceánico. La mayoría de los bordes divergentes se localiza a lo largo del eje del sistema de dorsales oceánicas y está asociada con la expansión del fondo oceánico, que se produce a velocidades de 2 a 20 centímetros al año. Dentro de un continente pueden formarse nuevos bordes divergentes (por ejemplo, los valles de rift del este de África), donde pueden fragmentar las masas de tierra y desarrollar una nueva cuenca oceánica.

- Los *bordes de placa convergentes* aparecen donde las placas se juntan, provocando la subducción (consumo) de la litosfera oceánica en el manto a lo largo de una fosa submarina. La convergencia entre un bloque oceánico y uno continental provoca la subducción de la placa oceánica y la formación de un *arco volcánico continental* como el de los Andes de Sudamérica. La convergencia océano-océano produce una cadena en forma de arco de islas volcánicas denominada *arco de islas volcánicas*. Cuando dos placas que transportan corteza continental convergen, las dos placas tienen demasiada capacidad de flotación como para subducir. El resultado es una "colisión" que provoca la formación de una cadena montañosa como la del Himalaya.
- Los *bordes (pasivos) de falla transformante* se producen donde las placas se desplazan una con respecto a la otra sin producción ni destrucción de litosfera. La mayoría de las fallas transformantes une dos segmentos de dorsal oceánica. Otras conectan centros de expansión a zonas de subducción y facilitan así el transporte de la corteza oceánica creada en la cresta de una dorsal a su lugar de destrucción, a una fosa submarina. Aun otras, como la falla de San Andrés, atraviesan la corteza continental.
- La teoría de la tectónica de placas se ve apoyada por: (1) la distribución global de los *terremotos* y su estrecha asociación con los bordes de placa; (2) la edad y el grosor de los *sedimentos* de los fondos de las cuencas submarinas, y (3) la existencia de cadenas de islas que se formaron sobre *puntos calientes* y proporcionaron un entramado de referencia para trazar la dirección del movimiento de las placas.
- Se han reconstruido a grandes rasgos los detalles de las migraciones de los continentes a lo largo de los últimos 1.000 millones de años. *Pangea empezó a separarse hace unos 200 millones de años*. Norteamérica se separó de África hace entre 200 y 165 millones de años. Antes de la formación de Pangea las masas de tierra habían atravesado ya varios episodios de fragmentación similares al que vemos que ocurre en la actualidad.
- Se han propuesto varios modelos para el mecanismo impulsor de las placas. Un modelo, la *hipótesis de la corriente de convección*, implica varias *células de convección* dentro del manto, que transportan las placas suprayacentes como paquetes en una cinta transportadora. La *hipótesis del arrastre de las placas* propone que, cuando el material oceánico denso y frío es subducido, arrastra con él la litosfera situada por detrás. Puede producirse un *empuje de las placas* cuando la gravedad coloca a las placas elevadas sobre la cresta de una dorsal en expansión. Otro modelo sugiere que *plumas calientes*, relativamente estrechas, de roca dentro del manto contribuyen al movimiento de las placas. Ninguno de los mecanismos motores puede explicar por sí solo todas las facetas principales del movimiento de las placas.

### Preguntas de repaso

1. ¿Qué llevó a científicos como Alfred Wegener a sospechar por primera vez que los continentes habían estado unidos en alguna ocasión?
2. ¿Qué es Pangea?
3. Enumere las pruebas que Wegener y sus seguidores recogieron para apoyar la hipótesis de la deriva continental.
4. A principios del siglo XX, ¿cuál era la opinión predominante sobre cómo migraban los animales terrestres a través de los enormes espacios oceánicos?
5. Explique brevemente por qué la reciente aceptación de la tectónica de placas se ha descrito como una "revolución" científica.
6. ¿De qué forma las pruebas de una glaciación Paleozoica tardía en el hemisferio meridional apoyan la hipótesis de la deriva continental?
7. Explique cómo puede utilizarse el paleomagnetismo para establecer la latitud de un lugar específico en algún momento anterior.
8. ¿Qué se entiende por expansión del fondo oceánico? ¿A quién se le atribuye la formulación del concepto de expansión de fondo oceánico?
9. Describa cómo Fred Vine y D. H. Matthews relacionaron la hipótesis de la expansión del fondo oceánico con las inversiones magnéticas.

10. ¿Sobre qué bases fueron establecidos por primera vez los bordes de placa?
11. ¿Dónde se forma la litosfera? ¿Dónde se consume? ¿Por qué la litosfera debe producirse aproximadamente a la misma velocidad que se destruye?
12. ¿Por qué es subducida la porción oceánica de una placa litosférica, mientras que no lo es la porción continental?
13. ¿En qué sentido puede considerarse similar el origen de las islas japonesas y la formación de los Andes? ¿En qué se diferencian?
14. Distinga entre fallas transformantes y los otros dos tipos de bordes de placa.
15. Algunas personas predicen que California se hundirá en el océano. ¿Esta idea es compatible con el concepto de la tectónica de placas?
16. Aplicando la idea de que los puntos calientes permanecen fijos, ¿en qué dirección se estaba moviendo la placa del Pacífico mientras los montes Emperador se estaban formando? (Véase Figura 19.28). ¿Y mientras se formaban las islas Hawaii?
17. ¿Con qué tipo de borde de placa están asociados los siguientes lugares o estructuras? (Sea lo más específico posible): Himalaya, islas Aleutianas, mar Rojo, Andes, falla de San Andrés, Islandia, Japón, monte de Santa Elena.

### Términos fundamentales

arco de islas volcánicas, 445	empuje de las placas, 460	Pangea, 424	rifts, 440
arcos volcánicos continentales, 445	expansión del fondo oceánico, 433	placas, 437	tectónica de placas, 424, 436
arrastré de las placas, 460	fosa submarina, 443	polaridad invertida, 434	valles de rift, 440
astenosfera, 437	litosfera, 437	polaridad normal, 434	zona de subducción, 443
deriva continental, 424	magnetómetros, 435	prisma de acreción, 444	zonas de fractura, 447
	paleomagnetismo, 431	punto caliente, 454	
		punto de Curie, 430	

### Recursos de la web



La "homepage" *Earth* proporciona recursos "en línea" para este capítulo en Internet. Encontrará ejercicios de revisión, actualizaciones específicas para

los temas del capítulo, lecturas sugeridas y vínculos a otras páginas. Visite la "homepage" *Earth* en <http://www.prenhall.com/tarbuck>.