

Cuando una placa descendente alcanza una profundidad de unos 100 a 150 kilómetros, el calor impulsa el agua y otros componentes volátiles de los sedimentos subducidos hacia el manto suprayacente. Esas sustancias actúan como fundentes, induciendo la fusión parcial de las rocas del manto a temperaturas reducidas. La fusión parcial de la roca del manto genera magmas que tienen una composición basáltica o, posiblemente, andesítica. Los magmas recién formados, al ser menos densos que las rocas del manto, ascenderán por flotación. A menudo, el magma se acumulará debajo de la corteza continental situada encima, donde puede fundir parte de las rocas de la corteza ricas en sílice. Por fin, una parte de este magma rico en sílice puede migrar a la superficie, donde dará lugar a erupciones volcánicas, algunas de las cuales son explosivas.

El arco andino que recorre el flanco occidental de Sudamérica es el producto de los magmas generados a medida que la placa de Nazca desciende por debajo del continente (véase Figura 19.15). En la sección central de los Andes meridionales, el ángulo de subducción es muy bajo, lo que probablemente explica la ausencia de vulcanismo en este área. A medida que la placa Sudamericana se desplaza hacia el oeste, cabalga sobre la placa de Nazca. El resultado es una migración hacia el mar de la fosa de Perú-Chile y una reducción del tamaño de la placa de Nazca.

Montañas como las de los Andes, que se producen en parte por la actividad volcánica asociada con la subducción de la litosfera oceánica, se denominan **arcos volcánicos continentales**. Otro arco volcánico continental activo está localizado en el oeste de Estados Unidos. La cordillera Cascade de Washington, Oregon y California consiste en varias montañas volcánicas bien conocidas, entre ellas el monte Rainier, el monte Shasta y el monte Santa Helena (véase Figura 4.33). Como testifica la actividad continua del monte Santa Helena, la cordillera Cascade sigue estando activa. Los magmas surgen aquí por la fusión desencadenada por la subducción de un pequeño resto de la placa Farallón, de la cual la placa Juan de Fuca constituye el segmento septentrional mayor.

Un resto de un arco volcánico continental antiguamente muy extenso es Sierra Nevada de California, en la cual está localizado el Parque Nacional Yosemite. Sierra Nevada es mucho más antigua que la cordillera Cascade y ha estado inactiva durante varios millones de años como demuestra la ausencia de conos volcánicos. Aquí, la erosión ha destruido gran parte de los rastros obvios de la actividad volcánica y ha dejado expuestas las grandes cámaras de magma cristalizado que una vez alimentaron los grandes volcanes.

Convergencia océano-océano

Cuando convergen dos placas oceánicas, una desciende por debajo de la otra, iniciando la actividad volcánica de una manera similar a lo que ocurre en un borde convergente océano-continente. En este caso, sin embargo, los volcanes se forman en el fondo oceánico, antes que en un continente (Figura 19.20B). Si esta actividad se mantiene, acabará por construir estructuras volcánicas que emergen como islas. Las islas volcánicas suelen estar separadas aproximadamente 80 kilómetros y están formadas sobre dorsales sumergidas de unos cuantos centenares de kilómetros de anchura. Esta tierra recién formada que consiste en una cadena en forma de arco de pequeñas islas volcánicas se denomina **arco de islas volcánicas**. Las Aleutianas, las islas Marianas y las Tonga, son ejemplos de arcos de islas volcánicas. Arcos de islas como éstos están localizados generalmente a 200-300 kilómetros del eje de la fosa. Adyacentes a los arcos de islas antes mencionados se encuentran la fosa de las Aleutianas, la fosa de las Marianas y la fosa de las Tonga (véase Figura 19.21).

La mayoría de los arcos de islas volcánicas está localizada en el Pacífico occidental. Algunos, como los arcos de las Nuevas Hébridas y de las Marianas, tienen un pequeño prisma de acreción o ninguno. Por tanto, o bien se deposita muy poco sedimento en estas fosas o bien la mayor parte del sedimento es transportado al manto por la placa en subducción. En estos lugares, la corteza Pacífica que subduce, es relativamente antigua y densa y, por consiguiente, se hundirá fácilmente en el manto. Se piensa que esto explica el gran ángulo de descenso (que a menudo se aproxima a 90 grados) común en las fosas del Pacífico occidental. Muchas de esas zonas de subducción carecen de los grandes terremotos que están asociados con algunas otras zonas convergentes, como la fosa Perú-Chile.

Sólo hay dos arcos de islas volcánicas en el Atlántico: el arco de las Antillas Menores adyacente al mar Caribe, y las islas Sandwich del Sur en el Atlántico sur. Las Antillas Menores son el producto de la subducción de la placa Atlántica debajo de la placa Caribeña. Localizada dentro de este arco se encuentra la isla de la Martinica, donde la montaña Pelée hizo erupción en 1902 destruyendo la ciudad de San Pedro y cobrándose una cantidad estimada en 28.000 vidas humanas, y la isla de Montserrat, donde se ha producido actividad volcánica muy recientemente (véase Recuadro 4.4).

En unos pocos lugares, los arcos de islas volcánicas se forman sobre corteza oceánica y continental. Por ejemplo, la sección occidental del arco de las Aleutianas consiste en numerosas islas formadas sobre corteza oceánica, mientras que los volcanes del extremo oriental de la

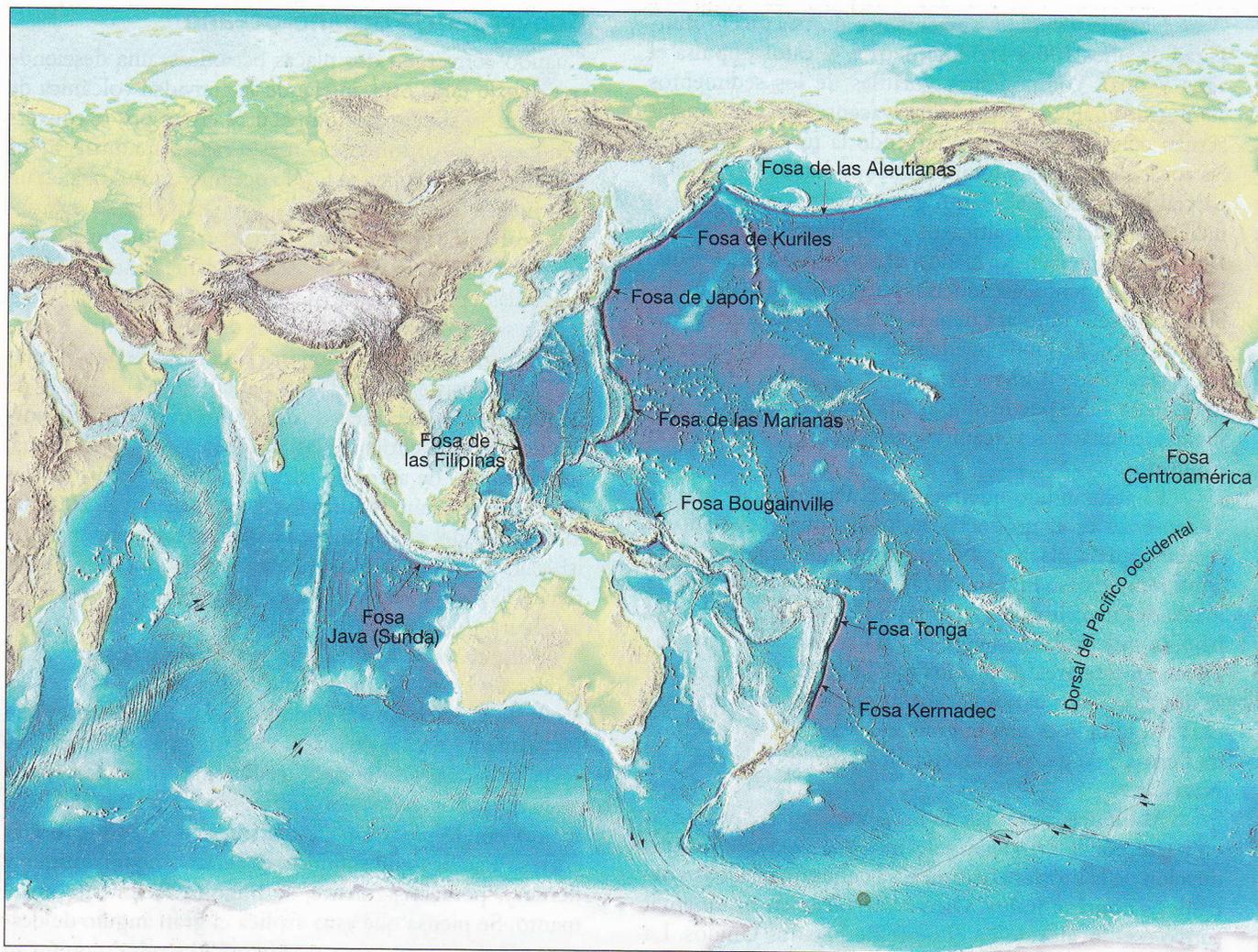


Figura 19.21 Distribución de las fosas oceánicas, del sistema de dorsales, de las zonas de las fracturas y de las fallas transformantes del mundo. Donde las fallas transformantes cortan los segmentos de la dorsal, permiten un cambio de dirección de la dorsal (curva), como la observada en el océano Atlántico.

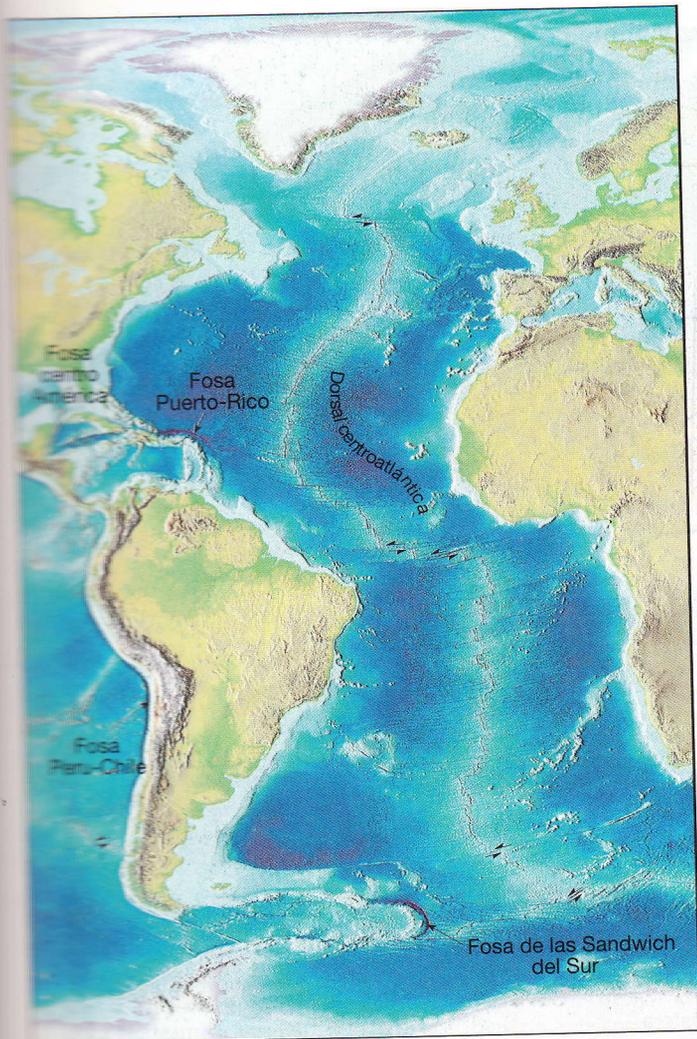
cadena están localizados en la península de Alaska. Además, algunos arcos de islas volcánicas se forman sobre fragmentos de corteza continental que se han separado del continente principal. Un ejemplo de este tipo de arco de islas volcánicas son las Filipinas y Japón.

Convergencia continente-continente

Cuando convergen dos placas que llevan corteza continental, ninguna de las placas subducirá debajo de la otra, debido a su baja densidad y, por tanto, la naturaleza flotante de las rocas continentales. El resultado es una colisión entre los dos bloques continentales (Figura 19.20C). Una colisión semejante se produjo cuando el subcontinente de India “embistió” Asia y produjo el Himalaya: la cordillera montañosa más espectacular de la Tierra

(Figura 19.22). Durante esta colisión, la corteza continental se abombó, se fracturó y, en general, se acortó y engrosó. Además del Himalaya, se han formado otros diversos sistemas montañosos importantes, entre ellos los Alpes, los Apalaches y los Urales, durante colisiones continentales.

Antes de una colisión continental, las masas de tierra afectadas están separadas por una cuenca oceánica. A medida que los bloques continentales convergen, el fondo oceánico que queda entre ellos es subducido debajo de una de las placas. La subducción inicia la fusión parcial de las rocas del manto suprayacente, lo cual, a su vez, provoca la formación de un arco de islas volcánicas. Dependiendo de la localización de la zona de subducción, el arco de islas volcánicas podría desarrollarse en cualquier



ra de las masas de tierra convergentes o, si la zona de subducción se desarrollara varios centenares de kilómetros hacia el mar desde la costa, se formaría un arco de islas volcánicas. Por último, a medida que se consume el fondo oceánico situado entre medias, esas masas continentales colisionan. Esto pliega y deforma los sedimentos acumulados a lo largo del margen continental como si estuvieran colocados en una prensa gigante. El resultado es la formación de una nueva cordillera montañosa compuesta por rocas sedimentarias deformadas y metamorfiizadas, fragmentos del arco de islas volcánicas y posiblemente fragmentos de corteza oceánica.

Después de que colisionan los continentes, la placa oceánica subducida puede separarse del bloque continental y continuar su movimiento descendente. Sin embargo, debido a su flotabilidad, la litosfera continental no puede ser transportada muy al interior del manto. En el caso del Himalaya, el borde frontal de la placa India fue subducido parcialmente debajo de Asia, dando lugar a

una litosfera continental de un grosor inusualmente grande. Esta acumulación explica, en parte, la gran elevación del Himalaya y ayuda a explicar la elevada llanura tibetana situada más al norte.



Bordes de falla transformante (bordes pasivos)

El tercer tipo de borde de placa es el pasivo, que se caracteriza por fallas de desplazamiento horizontal (fallas transformantes) en las cuales las placas se desplazan una al lado de la otra sin producir ni destruir litosfera. Las fallas transformantes fueron identificadas en primer lugar allí donde desplazan los segmentos desalineados de una dorsal oceánica (véase Figura 19.21). Al principio se supuso erróneamente que el sistema de dorsales había formado originariamente una cadena larga y continua que fue segmentada por el desplazamiento horizontal a lo largo de esas fallas. Sin embargo, se observó que el desplazamiento a lo largo de esas fallas era en la dirección opuesta a la necesaria para producir los desplazamientos de la dorsal.

La verdadera naturaleza de las fallas transformantes la descubrió en 1965 H. Tuzo Wilson, de la Universidad de Toronto. Wilson sugirió que esas grandes fallas conectan los cinturones activos globales (bordes convergentes, bordes divergentes y otras fallas transformantes) en una red continua que divide la superficie externa de la Tierra en varias placas rígidas. Por tanto, Wilson se convirtió en el primero en sugerir que la Tierra estaba compuesta por placas individuales, a la vez que identificó las fallas a lo largo de las cuales es posible el movimiento relativo entre las placas.

La mayoría de las fallas transformantes une dos segmentos de una dorsal centrooceánica (véase Figura 19.21). Aquí, son parte de unas líneas prominentes de rotura en la corteza oceánica conocidas como **zonas de fractura**, que abarcan las fallas transformantes y sus extensiones inactivas en el interior de las placas. Estas zonas de fractura se encuentran aproximadamente cada 100 kilómetros a lo largo de la dirección del eje de la dorsal. Como se muestra en la Figura 19.23, las fallas transformantes activas se encuentran sólo *entre* los dos segmentos desplazados de la dorsal. Aquí, el fondo oceánico producido en un segmento de la dorsal se desplaza en la dirección opuesta al fondo oceánico generado en el segmento opuesto. Entonces, entre los dos segmentos de la dorsal las dos placas adyacentes se están rozando conforme se desplazan a lo largo de la falla transformante. Más allá de las crestas de la dorsal hay zonas inactivas, donde las fracturas producidas por las fallas en dirección hori-

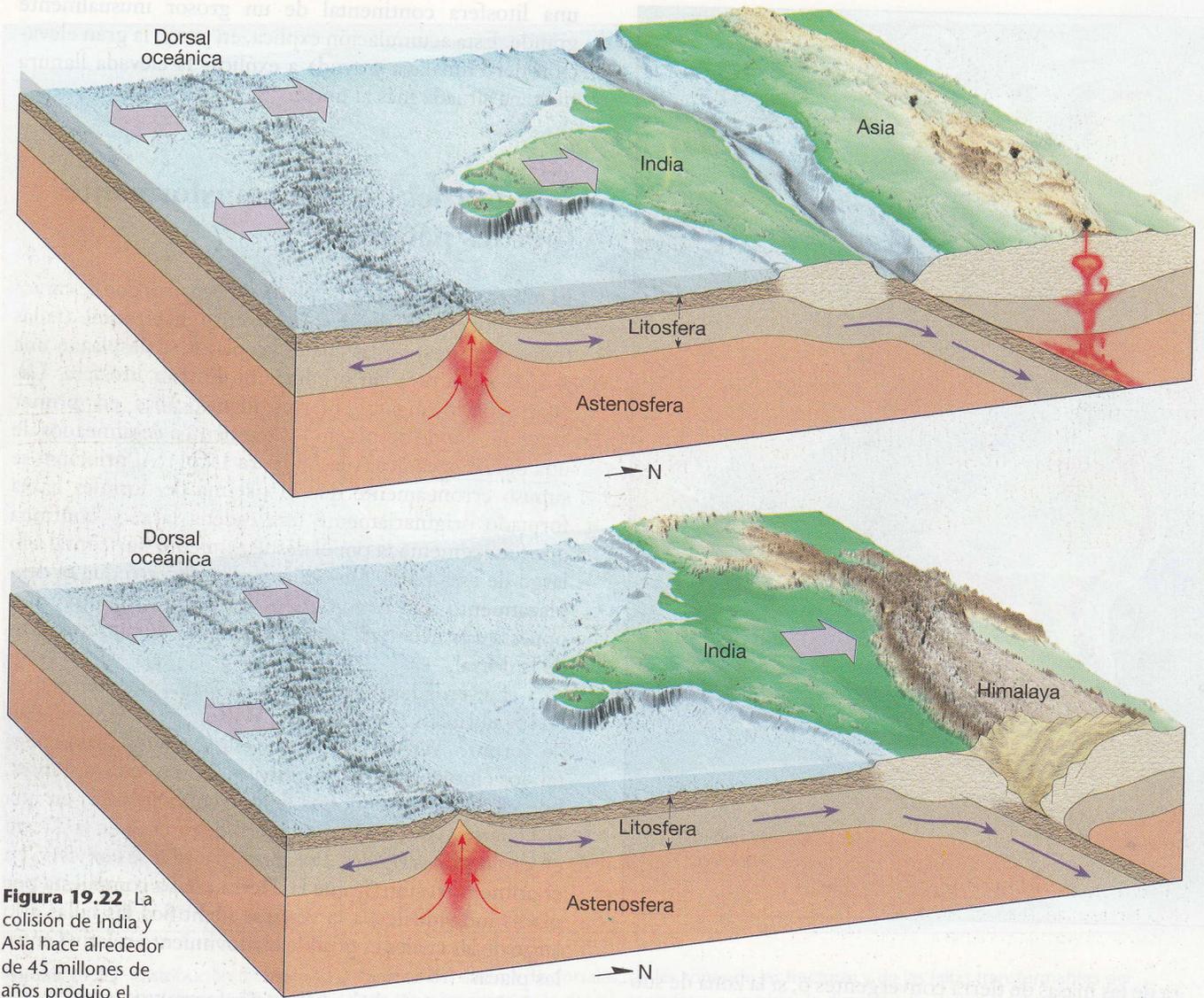


Figura 19.22 La colisión de India y Asia hace alrededor de 45 millones de años produjo el majestuoso Himalaya.

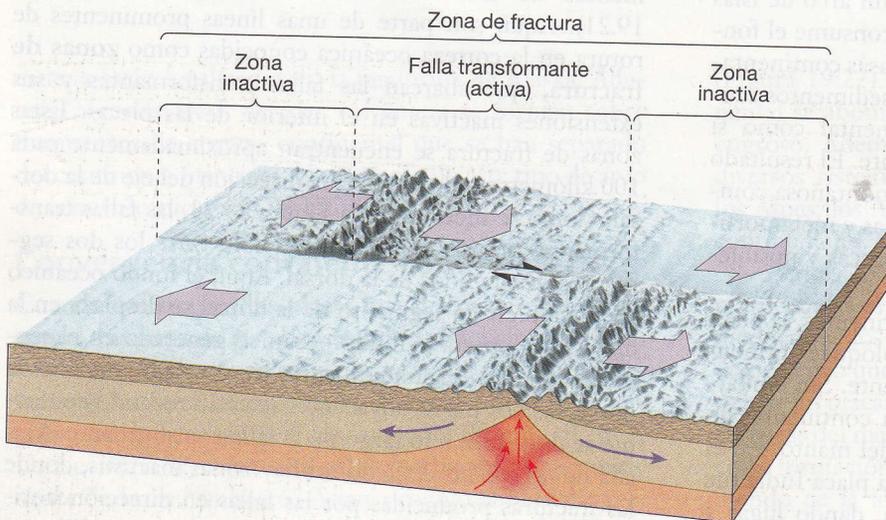


Figura 19.23 Diagrama que ilustra un borde de falla transformante (pasivo) que desplaza los segmentos de un borde divergente (dorsal oceánica).

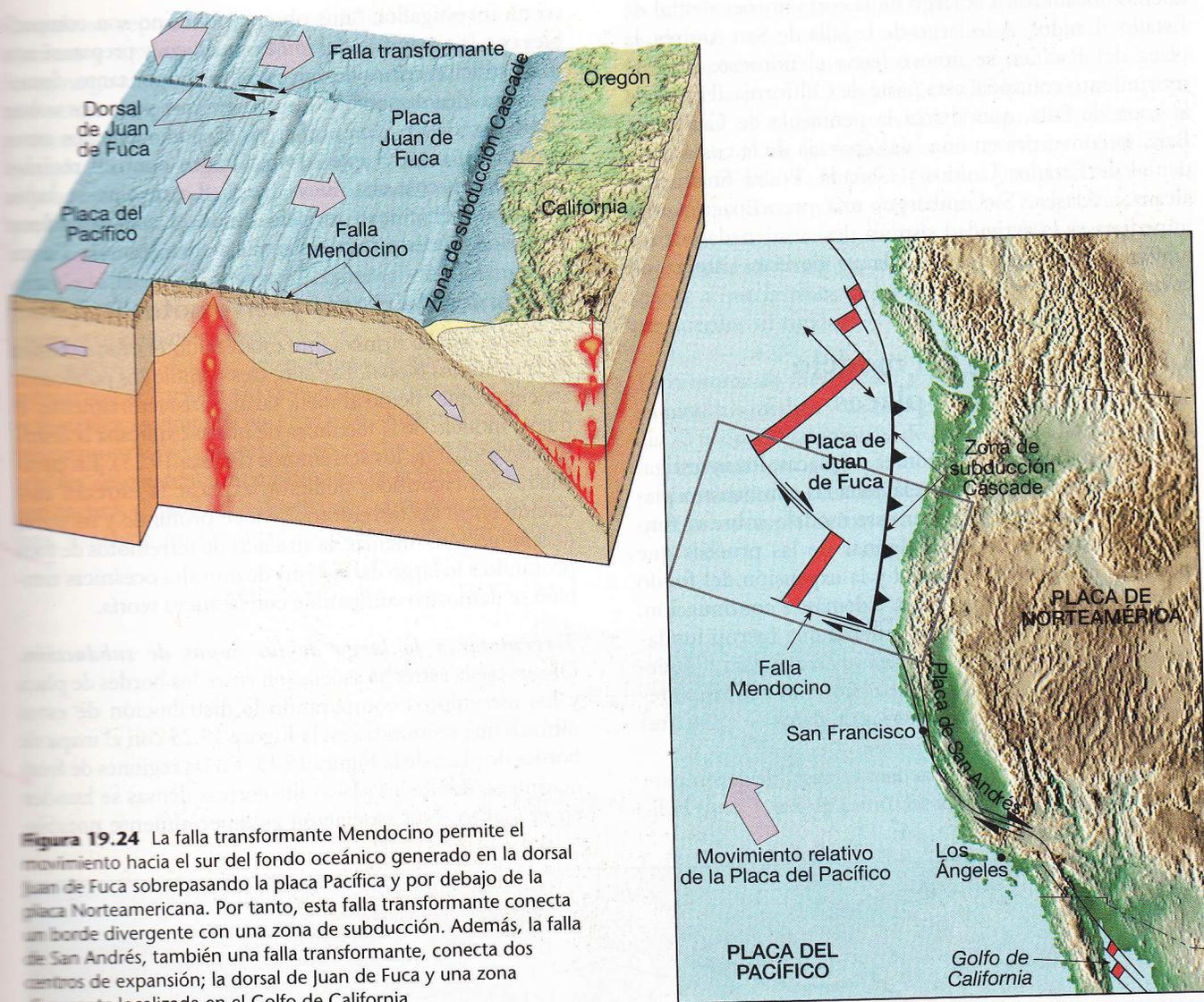


Figura 19.24 La falla transformante Mendocino permite el movimiento hacia el sur del fondo oceánico generado en la dorsal Juan de Fuca sobrepasando la placa Pacífica y por debajo de la placa Norteamericana. Por tanto, esta falla transformante conecta un borde divergente con una zona de subducción. Además, la falla de San Andrés, también una falla transformante, conecta dos centros de expansión; la dorsal de Juan de Fuca y una zona divergente localizada en el Golfo de California.

montal se conservan como cicatrices topográficas lineales. Estas zonas de fractura tienden a curvarse de manera que pequeños segmentos discurren paralelos a la dirección del movimiento de la placa en el momento de su formación.

Otro papel de las fallas transformantes es proporcionar el medio mediante el cual la corteza oceánica creada en las crestas de la dorsal puede ser transportada a una zona de destrucción, las fosas submarinas. En la Figura 19.24 se ilustra esta situación. Obsérvese que la placa de Juan de Fuca se mueve en dirección sureste, siendo finalmente subducida bajo la costa occidental de Estados Unidos. El extremo sur de esta placa relativamente pequeña está limitado por la falla transformante de Mendocino. Este borde de falla transformante conecta la dorsal de Juan de Fuca con la zona de subducción de Cascade

(Figura 19.24). Por consiguiente, facilita el movimiento del material de la corteza creado en la dorsal hasta su destino, debajo del continente Norteamericano (Figura 19.24). Otro ejemplo de falla transformante *dorsal-fosa* se encuentra al sureste de la punta de Sudamérica. En este lugar, fallas transformantes situadas en los márgenes norte y sur de la placa Scotia conectan la fosa con un corto eje de expansión (véase Figura 19.15).

Aunque la mayoría de las fallas transformantes está localizada dentro de las cuencas oceánicas, unas pocas, entre ellas la famosa falla de San Andrés, en California, atraviesan la corteza continental. Obsérvese en la Figura 19.24 que la falla de San Andrés conecta un centro de expansión localizado en el golfo de California con la zona de subducción Cascade y la falla transformante de Men-

docino, localizada a lo largo de la costa noroccidental de Estados Unidos. A lo largo de la falla de San Andrés, la placa del Pacífico se mueve hacia el noroeste. Si este movimiento continúa, esta parte de California al oeste de la zona de falla, que abarca la península de California Baja, se convertirá en una isla separada de la costa occidental de Estados Unidos y Canadá. Podrá finalmente alcanzar Alaska. Sin embargo, una preocupación más inmediata es la actividad sísmica desencadenada por los movimientos ocurridos a lo largo de este sistema de fallas.

Comprobación del modelo de la tectónica de placas

Con el desarrollo de la tectónica de placas, los investigadores de todas las ciencias relacionadas con nuestro planeta empezaron a comprobar este modelo sobre el funcionamiento de la Tierra. Algunas de las pruebas que apoyaron la deriva continental y la expansión del fondo oceánico ya se han presentado. Además, a continuación, se comentarán algunas de las pruebas que fueron fundamentales para que esta nueva idea se consolidara. Obsérvese que muchas de estas pruebas no eran nuevas; antes bien, eran interpretaciones nuevas de datos ya existentes que modificaron la opinión general.

Además, algunos de los datos se establecieron para refutar, antes que apoyar, la tectónica global. Como indi-

có un investigador, "mis observaciones no son compatibles con la expansión del fondo oceánico, y prepararé una demostración crítica de que esto es así y, por tanto, demoleré esta idea disparatada de manera que podamos volver todos a trabajar." Sin embargo, él, como muchos otros científicos, mostró que sus resultados eran en realidad compatibles con esta nueva teoría. La revolución había producido un nuevo modelo desde el cual considerar todos los procesos tectónicos que actúan sobre la Tierra.

Tectónica de placas y terremotos

En 1968, estaba firmemente establecido el esbozo básico de la tectónica global. Ese año, tres sismólogos publicaron artículos que demostraban cuán satisfactoriamente el nuevo modelo de la tectónica de placas explicaba la distribución global de los terremotos (Figura 19.25). En particular, esos científicos pudieron explicar la estrecha asociación entre los terremotos de foco profundo y las zonas de subducción. Además, la ausencia de terremotos de foco profundo a lo largo del sistema de dorsales oceánicas también se demostró compatible con la nueva teoría.

Terremotos a lo largo de las zonas de subducción. Obsérvese la estrecha asociación entre los bordes de placa y los terremotos comparando la distribución de estos últimos que se muestra en la Figura 19.25 con el mapa de bordes de placa de la Figura 19.15. En las regiones de fosas oceánicas, donde las placas litosféricas densas se hunden en el manto, esta asociación es especialmente notable.

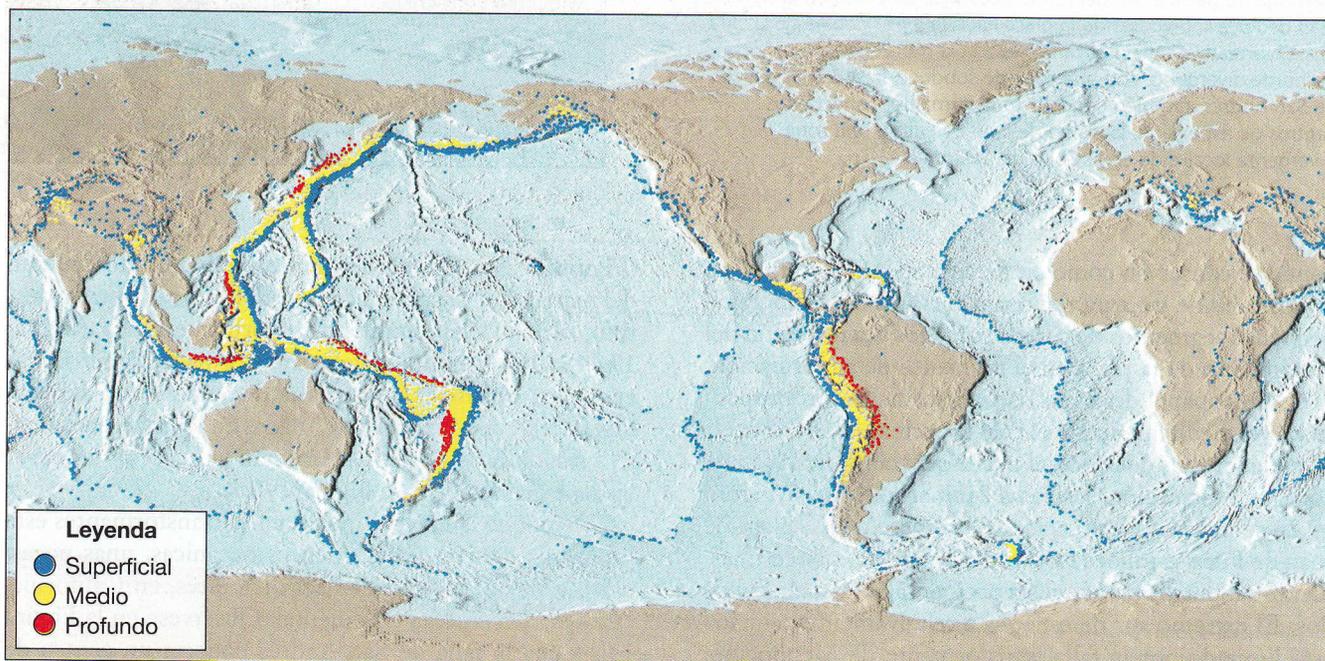


Figura 19.25 Distribución de los terremotos de foco superficial, medio y profundo. Nótese que los terremotos de foco profundo sólo se producen en asociación con bordes de placa convergentes y zonas de subducción. (Datos tomados de NOAA).

Cuando se representan las profundidades de los focos sísmicos y sus localizaciones dentro de los sistemas de fosas, surge un modelo interesante. La Figura 19.26, en la que se muestra la distribución de los terremotos en la proximidad de la fosa de Japón, constituye un buen ejemplo. En este lugar, los terremotos más superficiales se producen dentro de la fosa, o adyacente a ella, mientras que los terremotos medios o de foco profundo se producen hacia tierra adentro. Un modelo de distribución similar existe a lo largo del margen occidental de Sudamérica, donde la placa Nazca está siendo subducida debajo del continente Sudamericano.

En el modelo de la tectónica de placas, las fosas submarinas se forman allí donde placas densas de litosfera oceánica se hunden en el manto (Figura 19.26). Los terremotos de foco superficial se producen a medida que la placa descendente interactúa con la litosfera situada por encima. Cuanto más descende la placa en la astenosfera, a mayor profundidad se generan los terremotos.

Debido a que los terremotos se producen dentro de la rígida placa que subduce, antes que en el manto "plástico", proporcionan un método para seguir la pista al descenso de la placa. Recordemos, de lo dicho en el Capítulo 16, que las zonas de actividad sísmica inclinada que se extienden desde la fosa hacia el manto se denominan *zonas de Wadati-Benioff* debido a los dos sismólogos que llevaron a cabo amplios estudios sobre la distribución de los focos sísmicos. Por debajo de los 690 kilómetros, se han registrado muy pocos terremotos, debido posiblemente a que la placa se ha calentado lo suficiente como para perder su rigidez.

Terremotos de foco medio y profundo. La causa de los terremotos medios y de foco profundo que ocurren entre los 70 y los 690 kilómetros de profundidad ha constituido un enigma en geología durante mucho tiempo. A profundidades por debajo de unos 70 kilómetros, se espera que las rocas se deformen por flujo dúctil, en vez de

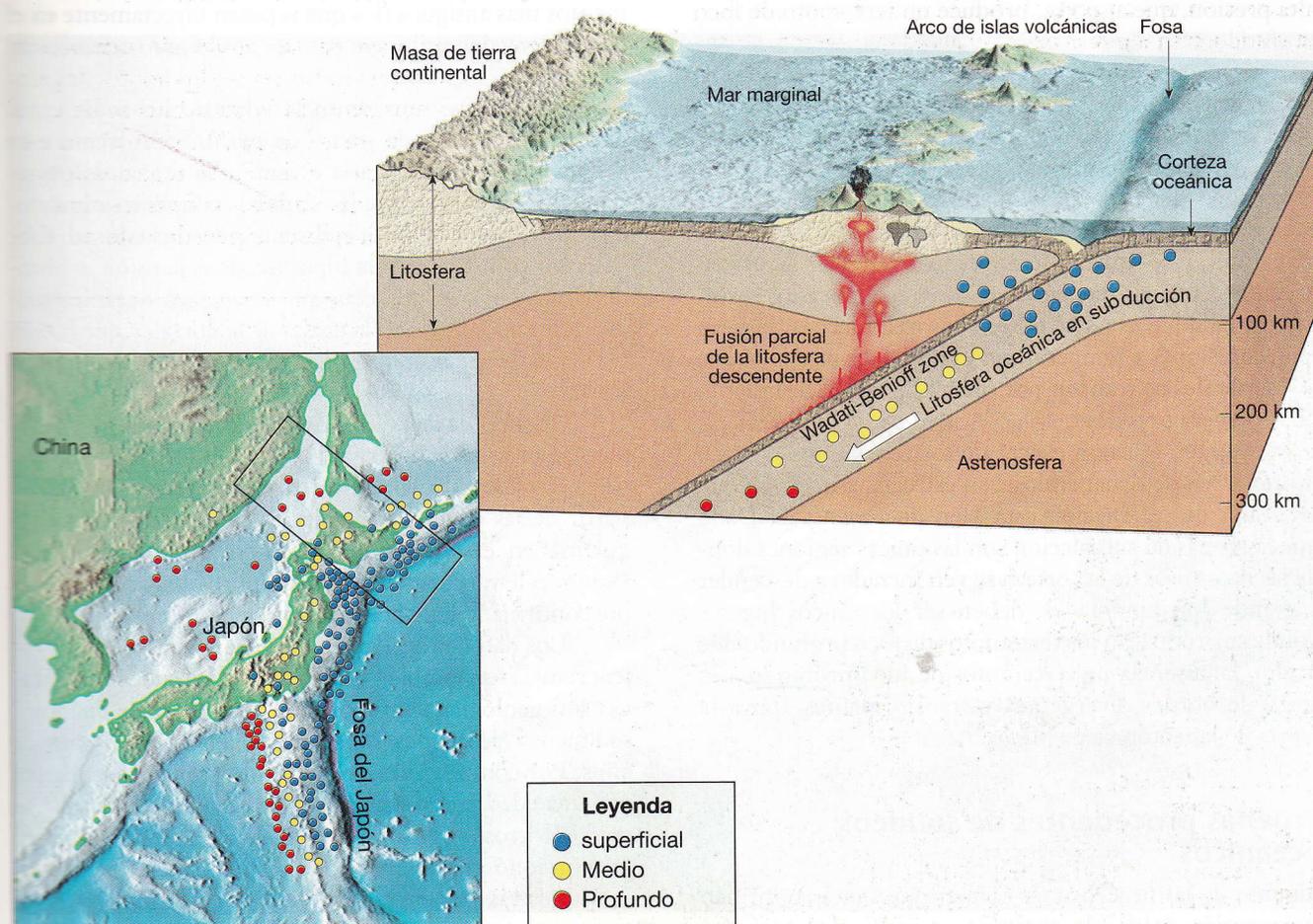


Figura 19.26 Distribución de los focos de los terremotos en la proximidad de la fosa de Japón. Nótese que los terremotos de foco medio y de foco profundo se producen sólo en la placa de litosfera oceánica que se hunde. (Datos de NOAA).