



DINÁMICA INTERNA DE LA TIERRA

Guía de taller

Convección: El motor de la Tierra

Descripción

El planeta Tierra es un sistema activo, que, desde su formación, ha proporcionado la energía para los fenómenos que dominan su naturaleza y estabilidad. Las fuentes principales de energía del planeta, son su calor interno y el Sol. La convección, forma parte del flujo energético que genera la circulación de materia a lo largo del planeta. Como se verá en esta guía, la convección es parte del motor que impulsa los procesos atmosféricos, oceánicos y del interior de la Tierra.

Se definirán los conceptos de *convección*, *convección del manto*, *placas tectónicas* y *límites de placas*. Además de la descripción e ilustración de los procesos correspondientes para cada uno de los conceptos anteriores que complementen su definición. Se realizará una actividad experimental con materiales asequibles que ejemplifique el principio del transporte de calor por convección y se darán a conocer algunos datos curiosos acerca del tema.

Objetivos

- Comprender los conceptos de convección, convección del manto, densidad, placa tectónica, límites de placas.
- Realizar una actividad con materiales caseros que ejemplifique el proceso general de la conducción de calor por convección.
- Conocer la relación entre los movimientos convectivos y los límites de placas.
- Conocer cómo ocurre la convección en otras capas de la Tierra (océano y atmósfera).
- Conocer la relación entre la convección y las Ciencias de la Tierra.
- Presentar cómo se aborda el tema en los libros de la SEP y el grado al que corresponde.

Conceptos

- *Convección*: Representa una forma de transferencia de calor, debida al movimiento colectivo de las moléculas de un fluido en presencia de un gradiente de temperatura o de un diferencial térmico. Cuando la temperatura del fluido aumenta, sus moléculas se expanden, es decir, se alejan entre sí, por lo que disminuye su densidad y ascienden, mientras que, al perder calor, o "enfriarse", dichas moléculas se contraen, provocando que aumente su densidad y que desciendan.

Este fenómeno ocurre en algunas de las diferentes capas que componen a la Tierra: núcleo, manto, hidrósfera y atmósfera, debido a la variación de la temperatura que se registra en cada una.

Convección en la atmósfera:

En la atmósfera existe un tipo de convección a gran escala que representa el movimiento medio del aire en la Tierra en relación con la radiación solar, conocido como *circulación general de la atmósfera* (Figura 1). Debido a la inclinación del eje terrestre, la radiación solar es recibida de manera más directa en las regiones ecuatoriales y tropicales que en las latitudes medias y regiones polares. La transferencia de calor en estas zonas permite la estabilidad en la temperatura en las diferentes latitudes, de otra forma los trópicos se calentarían mucho más y los polos serían cada vez más fríos. Aunado a la convección, esta circulación es posible gracias a la rotación de la Tierra y también varía de acuerdo a la distribución de las masas continentales.

La circulación general consiste en tres células o celdas atmosféricas (Figura 2):

- a) **Células de Hadley**, en honor al meteorólogo inglés George Hadley, consisten en una circulación dominante en la región intertropical, es decir, desde el ecuador y hacia los trópicos en ambos hemisferios. El aire en las latitudes próximas a los trópicos fluye hacia el ecuador, se eleva llegando hasta la tropopausa, donde ya no puede ascender más, y es obligada a desplazarse en dirección hacia los polos. Este movimiento convectivo da lugar a los climas tropicales y subtropicales en dicha región.

- b) **Células de Ferrel**, en nombre del meteorólogo estadounidense William Ferrel, circulan en latitudes medias en sentido opuesto a las células de Hadley, siendo mucho más frías. El aire cercano a la superficie se mueve en dirección hacia los polos y hacia el este, pues proviene de los trópicos y es obligado a ascender por convección al encontrarse con el frente polar (límite con las circulaciones polares), mientras que el aire de mayor altura se dirige hacia el ecuador y hacia el oeste.
- c) **Células polares**, en donde el aire se enfría y se hunde produciendo altas presiones. Una vez en la superficie, el aire fluye hacia latitudes más bajas, al llegar a los 60° norte y sur, respectivamente, se mezcla con el aire cálido tropical y se eleva, creando una zona de baja presión. El límite entre el aire cálido y el aire frío se llama *frente polar*.

La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) es la región donde convergen las corrientes húmedas de los vientos alisios de ambos hemisferios, generando corrientes húmedas que al elevarse se condensan y dan lugar a las precipitaciones más abundantes en la Tierra.

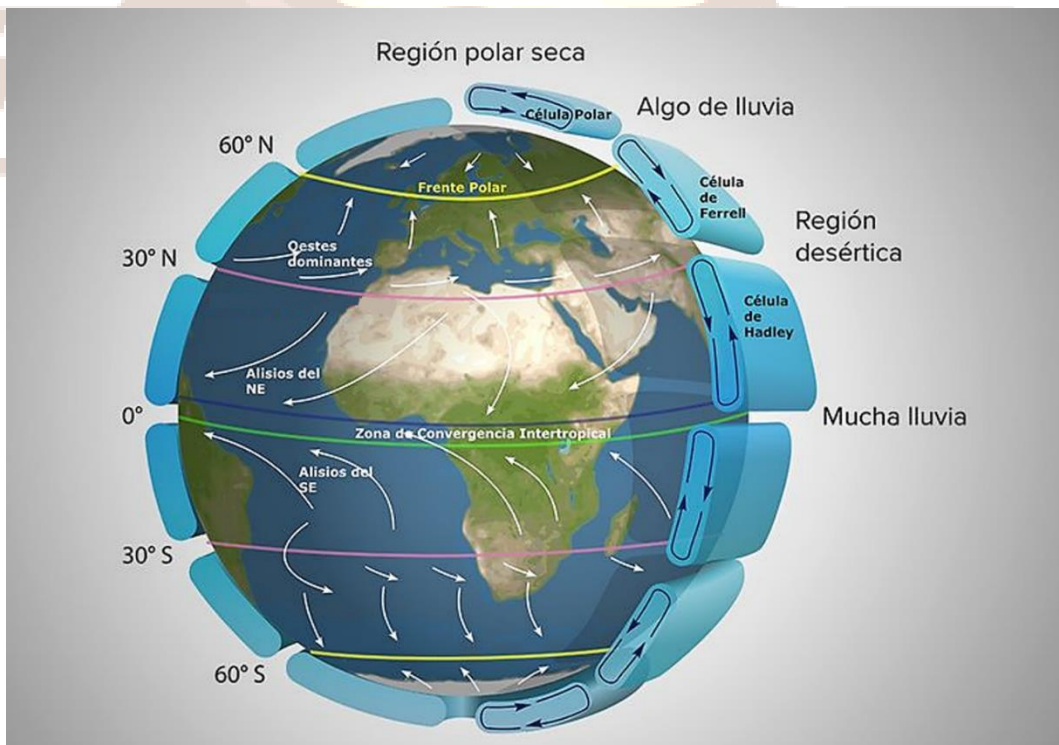


Figura 1. Distribución de las celdas en las diferentes latitudes, la circulación de los vientos alisios en ambos hemisferios, la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y el frente polar en la región del Ártico y en la región del Antártico.

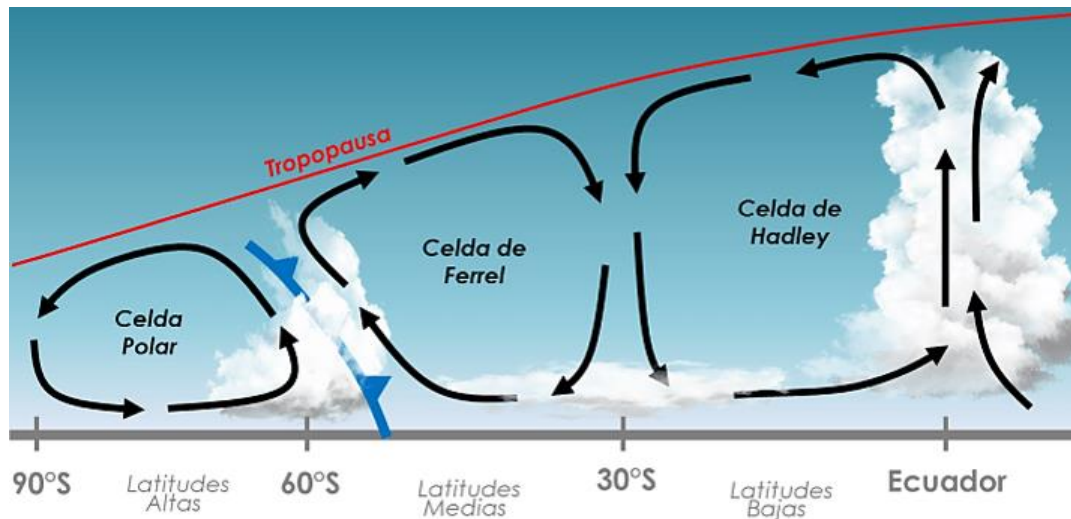


Figura 2. Perfil de las tres celdas donde se aprecia el límite de cada una con la tropopausa, además del frente polar que marca el límite entre la Celda de Ferrel y la Celda Polar. A la altura del Ecuador, se ejemplifica la condensación por la convergencia de las corrientes húmedas en la ZCIT, que dan lugar a las grandes lluvias en esta región.

Convección en el océano:

La circulación oceánica está representada por corrientes superficiales y profundas (Figura 3), generadas a partir de distintos factores como el viento, la densidad, salinidad, fuerza de gravedad, e incluso algunos fenómenos como sismos o tormentas

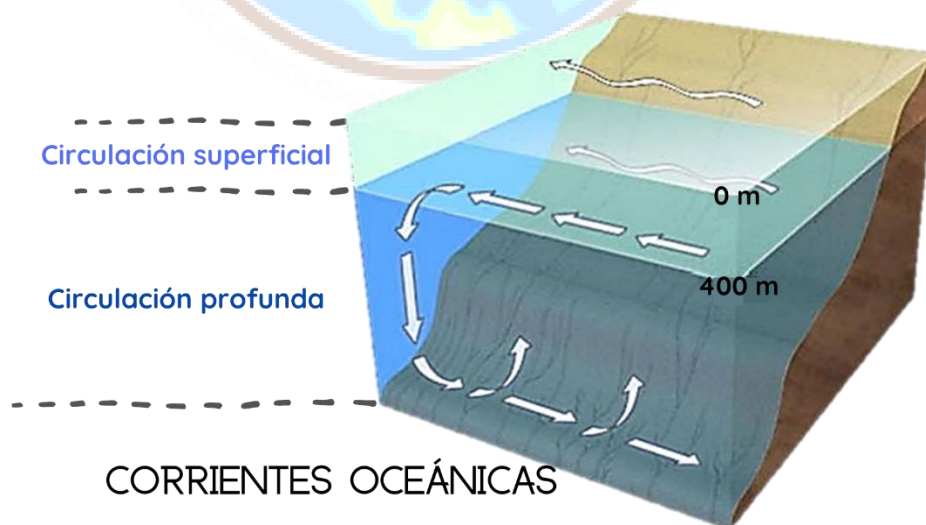


Figura 3. Modelo ilustrado de la circulación de los dos tipos de corrientes en el océano.

A continuación, se describirán las principales características de las corrientes superficiales y profundas:

- a) **Corrientes superficiales:** Son producto del esfuerzo ejercido por los vientos sobre la superficie de los océanos, transfieren el calor de los trópicos hacia las regiones polares, influenciando directamente en el clima tanto local como global. Corresponden a cinco giros oceánicos: el Giro del Pacífico Norte, del Pacífico Sur, del Atlántico Norte, del Atlántico Sur y del Océano Índico (Figura 4). Una de las corrientes más importantes, es la corriente del Golfo que se origina en el Caribe llevando consigo 150 veces más agua de lo que acarrea el Río Amazonas. Esta corriente circula desde el lado este de Estados Unidos y cruza el Océano Atlántico hacia Europa, manteniendo cálida la parte norte de este continente.

Las corrientes superficiales enriquecen de nutrientes las aguas someras, influyen en las características físicas, químicas y biológicas del planeta, así como en el clima a nivel global.



Figura 4. Mapa que muestra la distribución de las corrientes superficiales, los giros oceánicos y la Corriente del Golfo indicada dentro del recuadro negro.

- b) **Corrientes profundas:** La diferencia en la densidad del agua es la que determina la circulación de estas corrientes, y depende tanto de la temperatura como de la salinidad. Entre más frías y saladas son las corrientes, mayor será su densidad, lo que provocará su hundimiento, mientras que las

más cálidas y poco saladas ascienden hacia la superficie (Figura 5). Estas características contribuyen a un sistema global de circulación conocido como *cinta transportadora oceánica* o *circulación termohalina* (Figura 6). El agua cálida es transportada hacia el Mar de Noruega a partir de la Corriente del Golfo, donde transfiere calor a la atmósfera volviéndose fría y densa, causando su hundimiento. A partir de este punto, el constante descenso de agua en el norte, obliga el desplazamiento de la corriente hacia el sur emergiendo en el ecuador, y hasta la Antártida, donde de nuevo se sumerge. Eventualmente, el agua fría en esta región se calentará y ascenderá, continuando el transporte a lo largo del planeta.

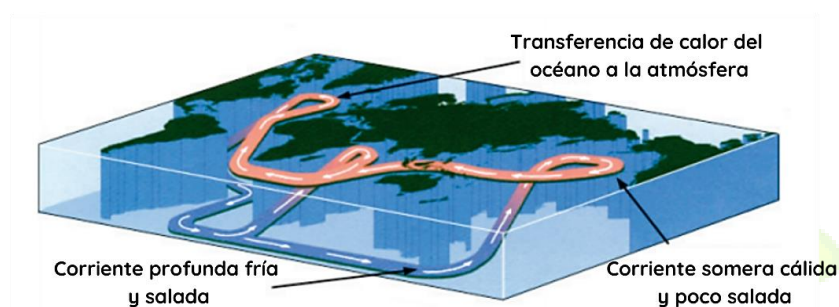


Figura 5. Modelo que representa el transporte de aguas profundas en relación a su temperatura y salinidad. Además, indica la zona en el Atlántico Norte donde la corriente pierde calor, se enfría y se sumerge.

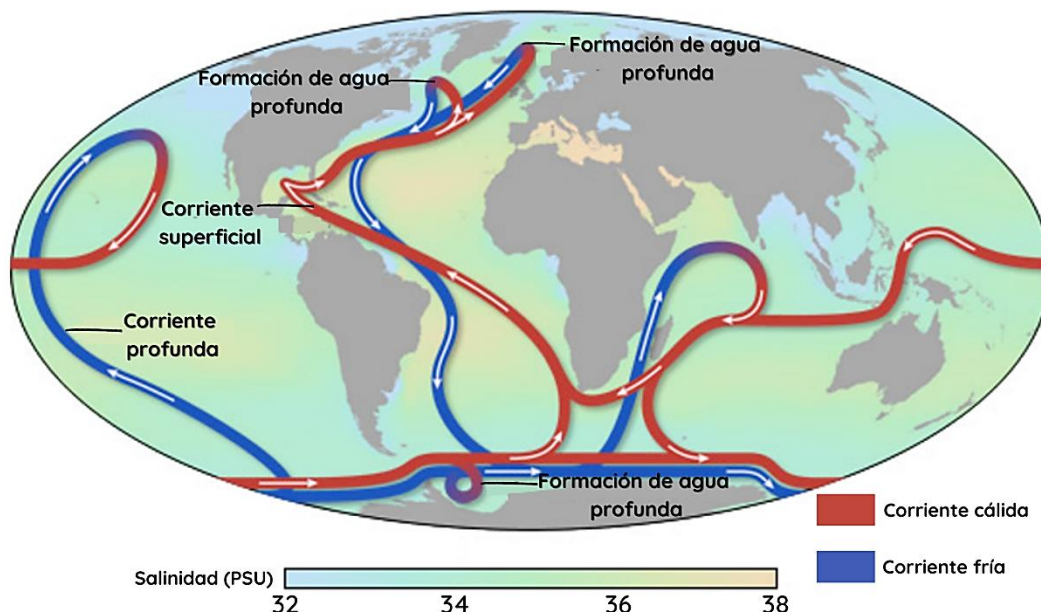


Figura 6. Distribución de la cinta transportadora oceánica. Se indican algunas de las regiones donde el agua se hunde. Las corrientes superficiales o cálidas se muestran en color rojo, y las profundas o frías en color azul. Además, se aprecian los colores que representan la salinidad en el océano en unidades prácticas de salinidad o PSU. Nótese que entre más rosado el color, mayor es su salinidad en esa zona, correspondiendo con las corrientes profundas.

Actividad

Materiales:

- 2 frascos o vasos transparentes de cristal de boca amplia con más de 800 mL de capacidad.
- 1 frasco pequeño con agua caliente que pueda ser introducido en uno de los más grandes.
- Colorante rojo.
- De 10 a 15 tuercas o monedas pequeñas que quepan en el frasco pequeño.
- Hielos azules, previamente preparados con agua y 2 gotas de colorante.
- Agua a temperatura ambiente.



Procedimiento

1. Se agrega el agua a temperatura ambiente a los vasos o frascos de tal forma que ocupe más de la mitad de su capacidad, pero sin llenarlos.
2. Al frasco pequeño, se le añaden 2 gotas de colorante rojo y se le introducen las tuercas o monedas.
3. A uno de los vasos grandes se le agregan los hielos azules.
4. Finalmente, el frasco pequeño con el agua caliente y el colorante rojo, se introduce en el otro vaso grande con agua.

Explicación

El montaje con el colorante rojo, mostrado en la figura 7, representa el transporte convectivo ascendente, es decir, por la baja densidad del agua caliente en el frasco pequeño, se observa como tiende a elevarse en relación a la temperatura del agua del vaso grande, que es menor.

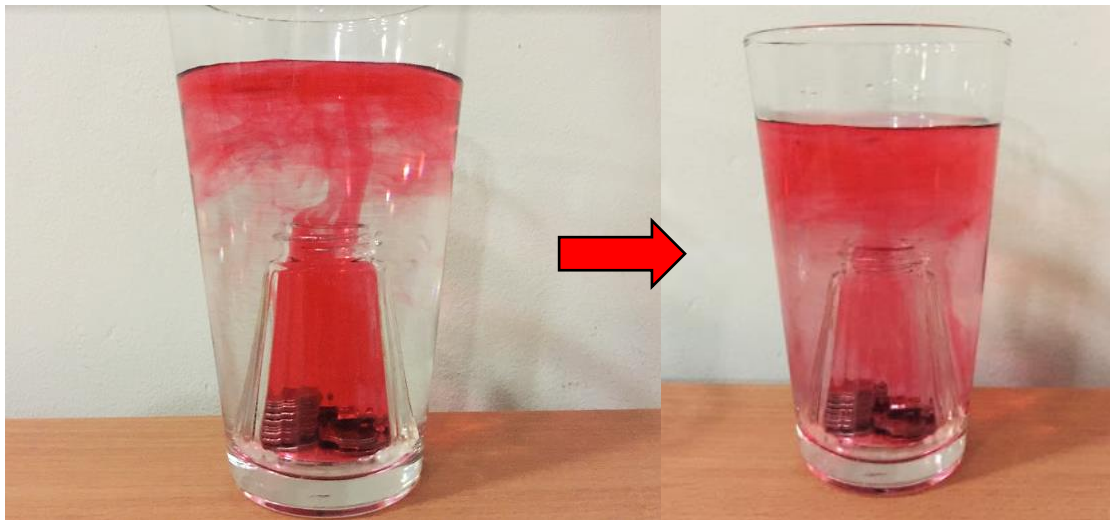


Figura 7. Representación del ascenso del flujo cálido, y de cómo se mantiene en la parte superior del recipiente debido a la diferencia de temperatura y densidad con el resto del agua.

El vaso con el colorante azul (Figura 8), representa la circulación convectiva descendente. El hielo flota en el agua debido a que sus moléculas se expanden al congelarse, volviéndolo menos denso. Al derretirse, se aprecia como el agua fría que fusiona del hielo, se sumerge, pues su densidad es mayor en relación a la del agua contenida en el vaso grande. La flecha muestra como después de un rato el colorante se concentra en la parte inferior del vaso, demostrando lo explicado anteriormente.

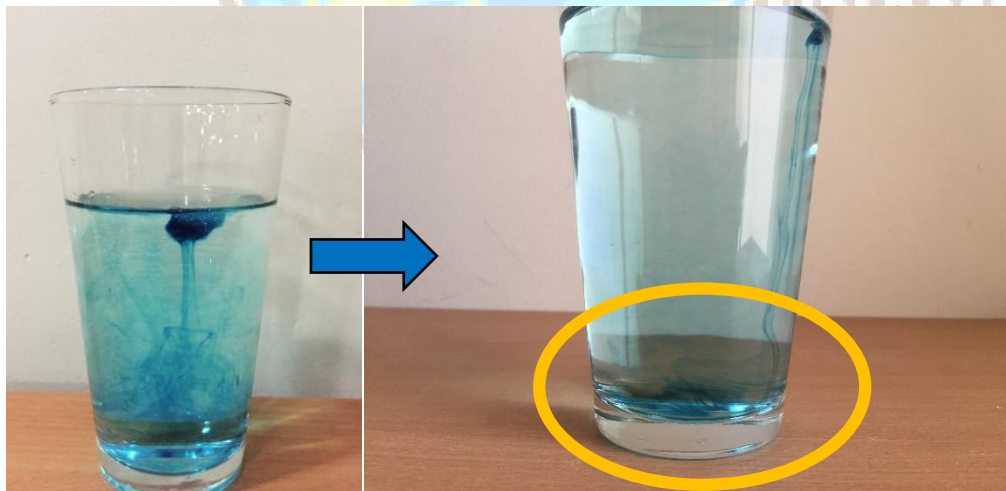


Figura 8. Representación del flujo frío, se muestra su descenso desde el hielo que se mantiene flotando, y después de un tiempo se mantiene en el fondo respecto a la diferencia de temperatura y densidad con el resto del agua.

- *Convección del manto:* Conforme aumenta la profundidad hacia el interior de la Tierra, mayor es la temperatura, la cual se incrementa a un ritmo conocido como **gradiente geotérmico**, y varía notablemente en las diferentes capas internas, como se aprecia en la Figura 9. En la corteza la temperatura aumenta rápidamente, entre 20°C a 30°C por cada kilómetro, mientras que en el manto y el núcleo dicho aumento, es más lento.

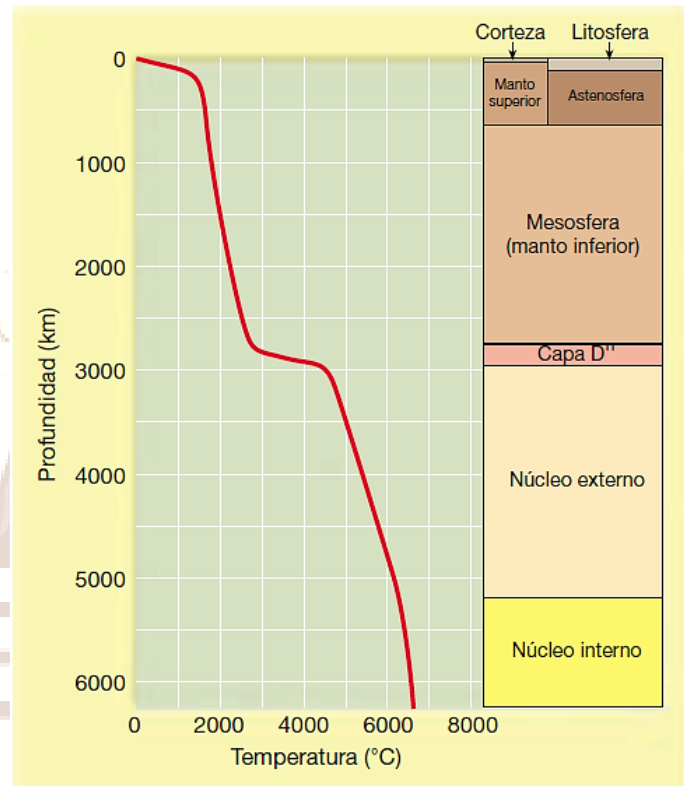


Figura 9. Gradiente geotérmico en el interior de la Tierra. Se destaca un cambio a los 100 km de profundidad, donde se calcula que la temperatura supera los 1200°C. En el límite manto-núcleo es notable el incremento entre los 3500°C y los 4500°C, mientras que la temperatura en el núcleo interno puede superar los 6700°C.

El calor presente en el interior de la Tierra es causado por procesos como: el calor que emite la desintegración radiactiva de los isótopos de uranio (U), torio (Th) y potasio (K), el calor liberado a partir de la cristalización del hierro que formó el núcleo interno sólido y el calor expulsado tras la colisión de partículas durante la acreción y formación del planeta. El primer proceso se mantiene activo, sin embargo, la velocidad con la que emite el calor es menor en relación al pasado geológico.

En la corteza, la transmisión de calor en las rocas se lleva a cabo por conducción a un ritmo relativamente lento, actúa como un aislante térmico que permite que la parte inferior de la corteza se mantenga caliente y la parte superior fría. Esto explica la enorme variación de la temperatura en los primeros 100 km de la corteza.

En contraste con la corteza, el aumento de la temperatura en el manto ocurre en forma gradual, por lo que debe existir en él un método más eficiente que pueda transmitir el calor desde el núcleo y hacia afuera. El **flujo convectivo** o **convección del manto**, es el método que permite la capacidad de fluidez de las rocas, mediante el cual el material caliente menos denso asciende, mientras que el material más frío se vuelve más denso y se hunde. La Figura 10 representa un modelo del flujo convectivo. La corriente que se sumerge del lado izquierdo, procede del descenso del material frío y denso la litósfera oceánica que se funde al entrar en contacto con el manto. Algunas de las corrientes ascendentes corresponden a plumas del manto, generadas en el límite núcleo-manto desde donde se elevan hacia la superficie, dando lugar a zonas específicas de alta actividad volcánica, conocidas como "puntos calientes". Si el punto caliente se mantiene activo en la placa tectónica donde se encuentra, mientras esta se desplaza, dejará a su paso un trazo volcánico, es decir, una serie de estructuras volcánicas alineadas, tal es el caso de las islas de Hawái en el Océano Pacífico (Figura 11). En el manto superior se

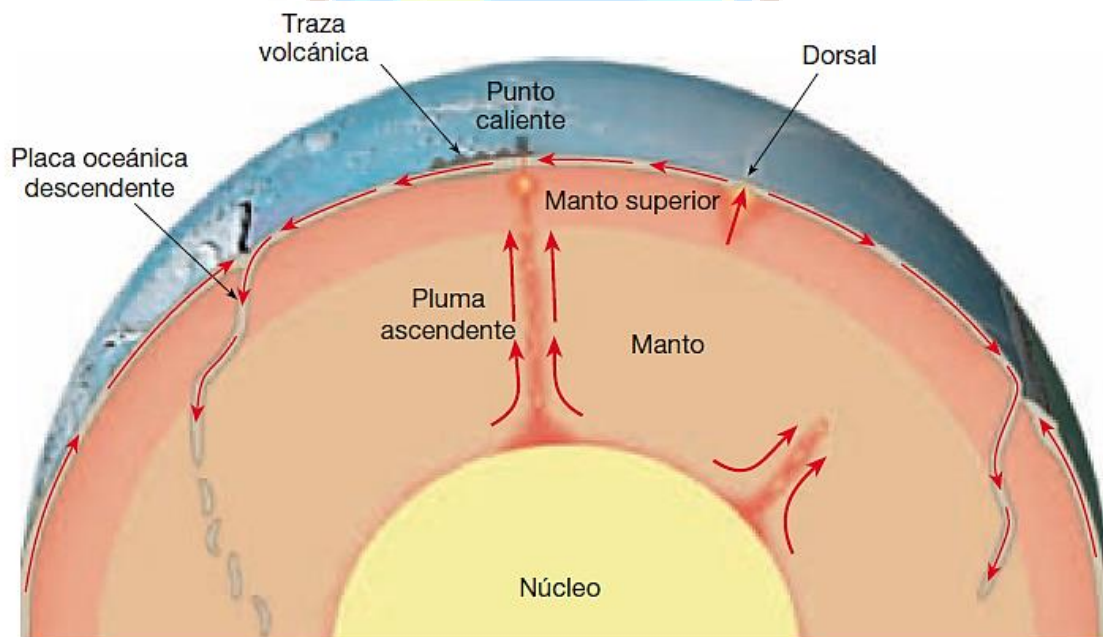


Figura 10. Modelo del flujo convectivo en el manto.

aprecia la separación de dos placas tectónicas, permitiendo el ascenso de magma que alimenta y construye el piso oceánico.

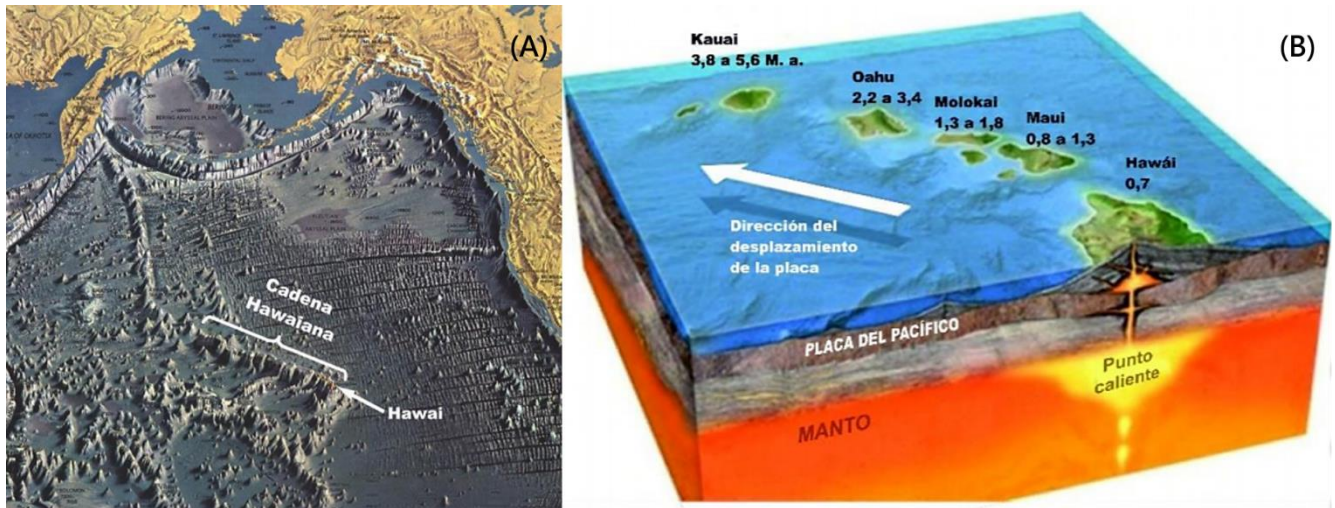


Figura 11. (A) Relieve submarino que marca el trazo de la cadena de islas hawaianas en el norte del Océano Pacífico. (B) Ilustración que ejemplifica el proceso de formación de las islas de Hawai, mostrando las edades en millones de años (Ma) de cada una. Entre más alejadas del punto caliente, debido al desplazamiento de la placa, son más antiguas.

El proceso de convección en el manto es el que impulsa el movimiento de las placas tectónicas o placas litosféricas a lo largo del planeta, provocando la formación de altas montañas, extensas dorsales y rifts, además de la perpetua actividad volcánica y sísmica, tal como se ejemplifica en la Figura 12.

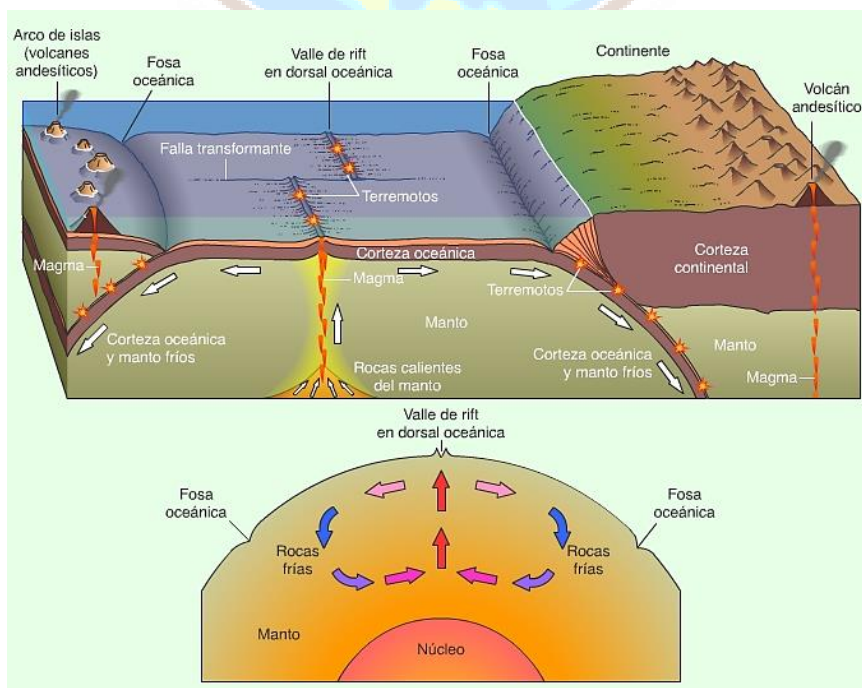


Figura 12. Fenómenos consecuentes de la convección del manto en la superficie.

- *Placas tectónicas:* Fragmentos o bloques que constituyen a la litósfera, capa conformada por la corteza y el manto superior. Se divide en siete placas principales: placa norteamericana, Sudamericana, del Pacífico, africana, Euroasiática, australiana y Antártica. Nótese en la Figura 13, que estas placas pueden incluir continentes enteros además de grandes extensiones de piso oceánico. La placa más grande es la del Pacífico, abarcando casi todo el océano. Las placas medianas son: Caribe, Nazca, filipina, Árabe, Cocos, Scotia y Juan de Fuca.

Todas las placas antes mencionadas pertenecen a las catorce placas mayores, pues hay otras 45 que corresponden a las placas menores. Se desplazan continuamente en relación a las demás a una velocidad promedio de 5 cm por año. Los límites o bordes entre las placas dan lugar a la importante actividad sísmica y volcánica de nuestro planeta, y han construido las grandes cadenas montañosas que conocemos actualmente.

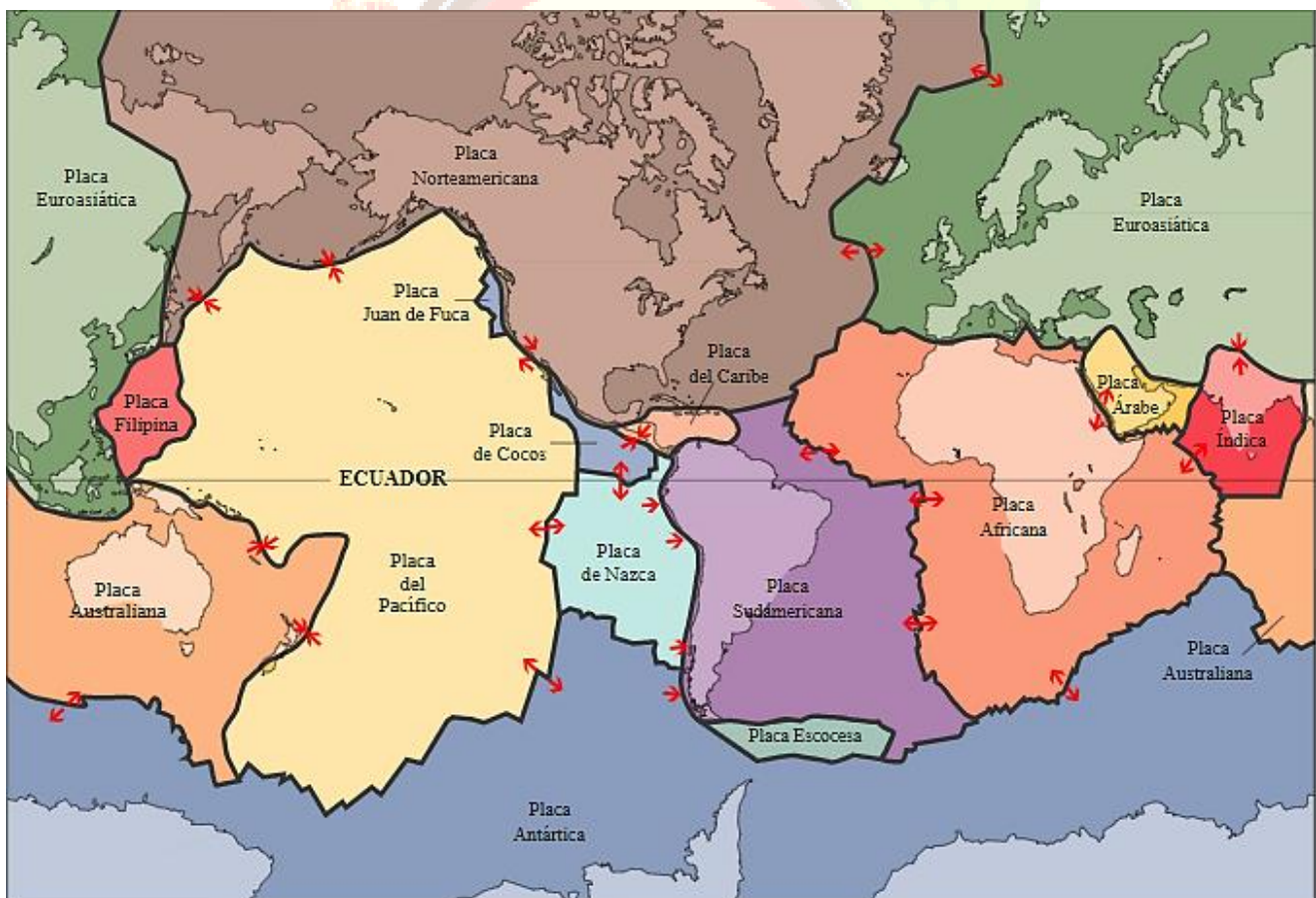


Figura 13. Ilustración de las placas mayores que constituyen a la litósfera de la Tierra. Las flechas en rojo representan los límites de acuerdo al movimiento de dichas placas.

Las placas tectónicas se han mantenido en movimiento desde hace millones de años gracias a la convección interna en el manto. En 1915 un meteorólogo y geofísico alemán de nombre Alfred Wegener, publicó un libro en donde postula su hipótesis acerca de la **deriva continental**, donde argumentaba la existencia de un supercontinente denominado Pangea (*pan* = todo, *gea* = Tierra) que hace 200 millones de años se fragmentó en continentes más pequeños, es decir, bloques que “derivaron” a su posición actual. En la Figura 14 se representa la transición de la fragmentación de los continentes a partir de Pangea.

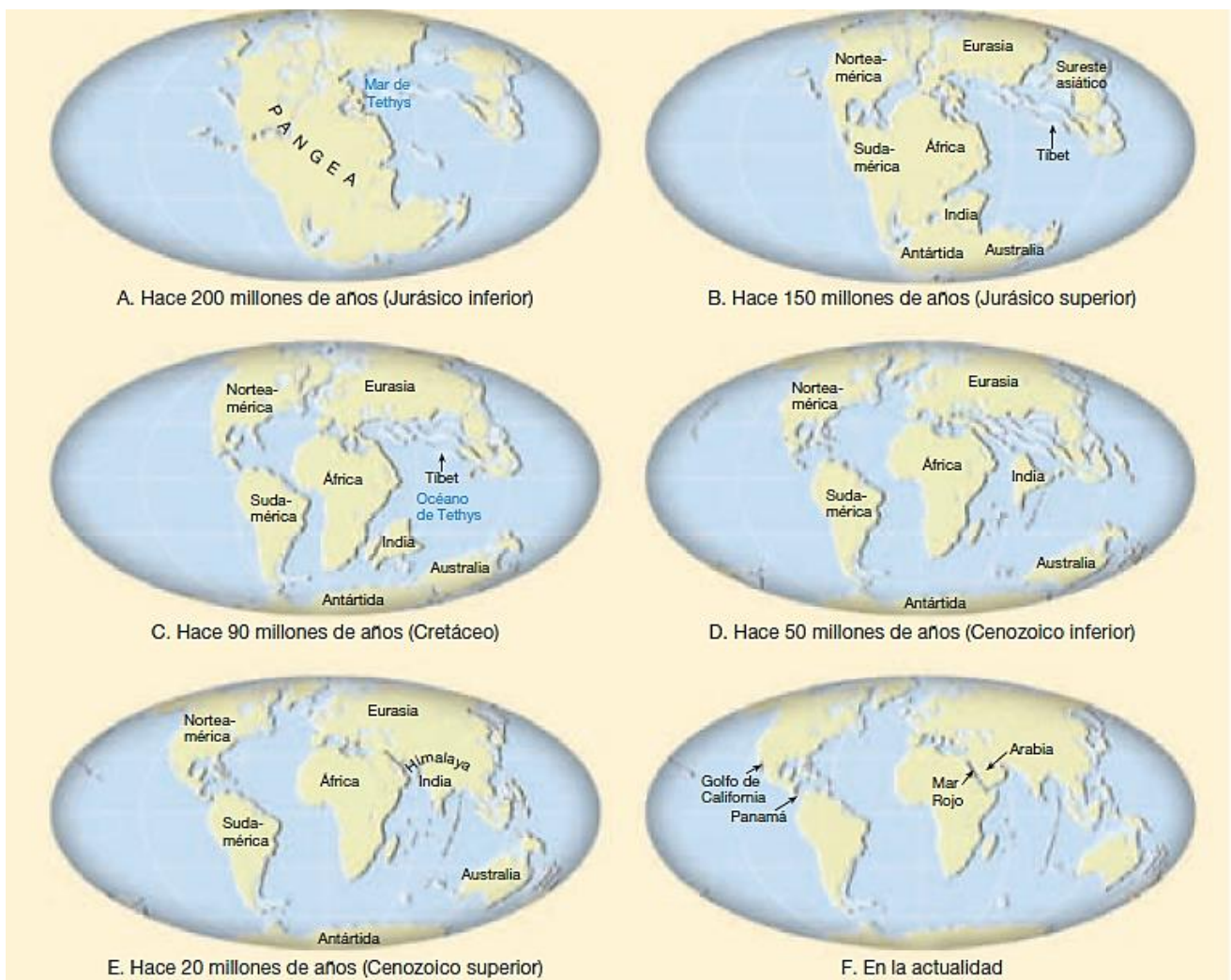


Figura 14. Orden cronológico de la fragmentación de Pangea hasta la distribución continental actual.

Dentro de algunas de las evidencias que apoyan la hipótesis de Wegener están las tres siguientes:

1. Ajuste de los continentes: La correspondencia entre el límite este de Sudamérica y el borde oeste del continente africano resulta muy claro, sin embargo, no encajan perfectamente. Se ha ilustrado un modelo en donde se aproxima el ajuste de ambos continentes a partir de su plataforma continental (superficie del fondo marino cercano a la costa) a 900 m de profundidad. La superposición de dichos continentes coincide tan sólo en algunos lugares como se observa en la Figura 15.

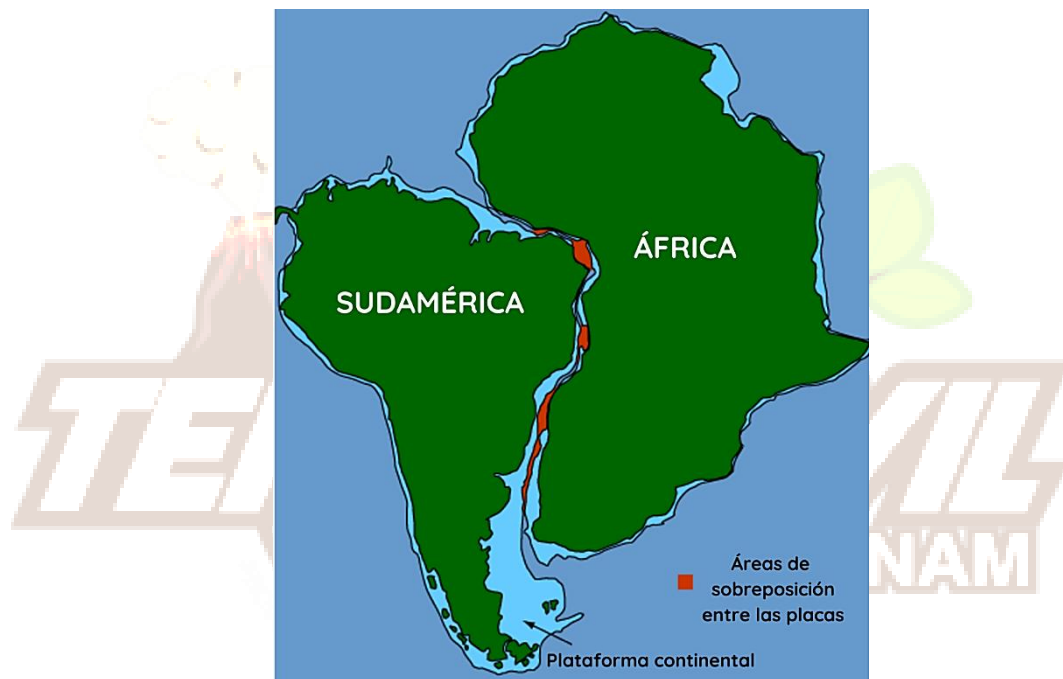


Figura 15. Ilustración del ajuste de las plataformas continentales entre África y Sudamérica.

2. Fósiles: A lo largo de algunas regiones continentes, que en la actualidad están completamente separadas, se hallaron restos fósiles de organismos idénticos de edades equivalentes, por lo que los científicos consideraron válida la hipótesis de una conexión entre estos continentes que explicara cómo concuerda su distribución. Fósiles como los del *mesosaurus*, un reptil de agua dulce, se encontraron en ciertas zonas de Brasil y Sudamérica, conforme a su fisiología que no le permitiría nadar en agua salada, se deduce que no pudo haber nadado y cruzado el Océano Atlántico hasta el continente africano. La Figura 16 muestra la distribución de los restos del *mesosaurus*, así como de otras especies que

fueron encontradas a lo largo de los continentes que conformaban el sur de Pangea.

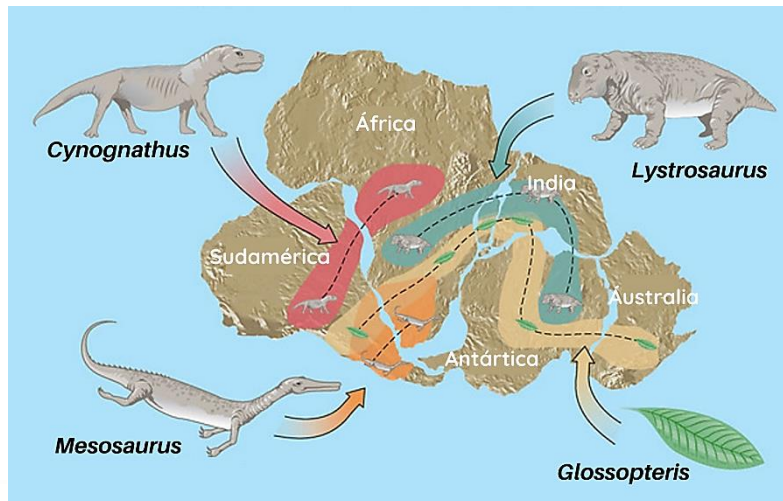


Figura 16. Distribución de los organismos fósiles hallados en los continentes que antiguamente conformaban el sur de Pangea.

3. Climáticas: El movimiento de los glaciares deja a su paso marcas de arrastre en las rocas, conocidas como estrías glaciares. Estas estructuras muestran evidencia de que enormes masas de hielo y nieve cubrían algunas zonas de Australia, India y Sudáfrica. La Figura 17, muestra las flechas que representan la dirección del desplazamiento de dichos glaciares producto de la fragmentación continental. Esta dirección quedó marcada en las rocas de esas regiones, siendo posible una reconstrucción de cómo los continentes pudieron estar cubiertos por un extenso casquete glaciar.

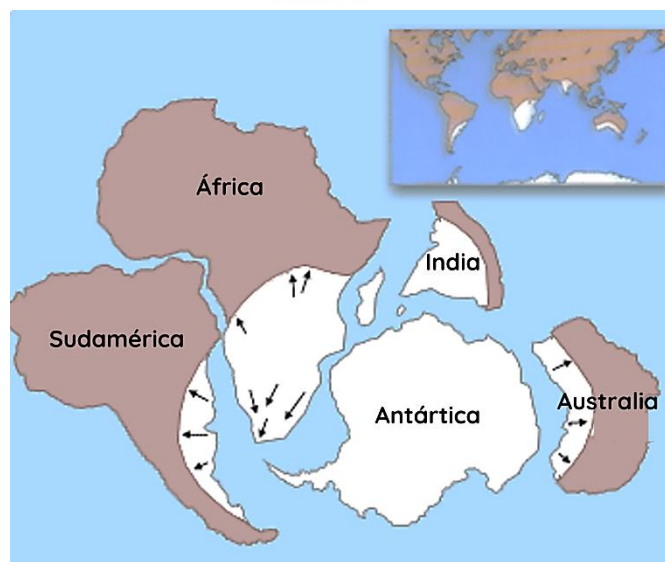


Figura 17. Evidencias climáticas de la deriva continental.

- *Límites de placas:* La principal interacción entre las placas se produce entre sus límites, establecidos a partir de las localizaciones de los sismos, fenómenos que típicamente se desencadenan tras el roce entre las placas. Además de la actividad volcánica que puede hacerse presente en estos bordes.

Existen tres tipos de bordes de acuerdo al movimiento que realizan:

- Límites divergentes (*di* = aparte; *vergere* = moverse): También conocidos como límites constructivos, donde dos placas tectónicas se separan generando o "construyendo" nueva litósfera oceánica, situados a lo largo de extensas dorsales (Figura 18). Suelen llamarse también ejes de expansión, pues la expansión del fondo oceánico ocurre en estos bordes. En la Figura 19 se ejemplifica el mecanismo de expansión, que, conforme las placas se alejan, la roca fundida del manto asciende rellenando la litósfera. Este material se enfría gradualmente dando lugar a las nuevas rocas que conforman el piso oceánico de la dorsal.

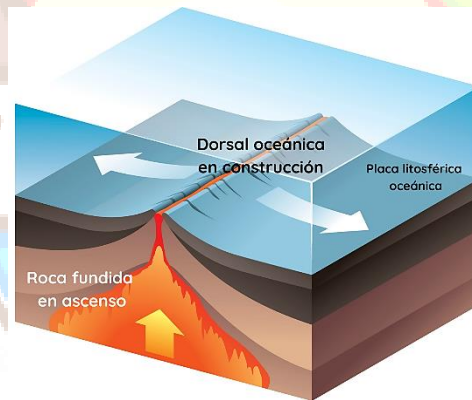


Figura 18. Representación de un límite divergente.

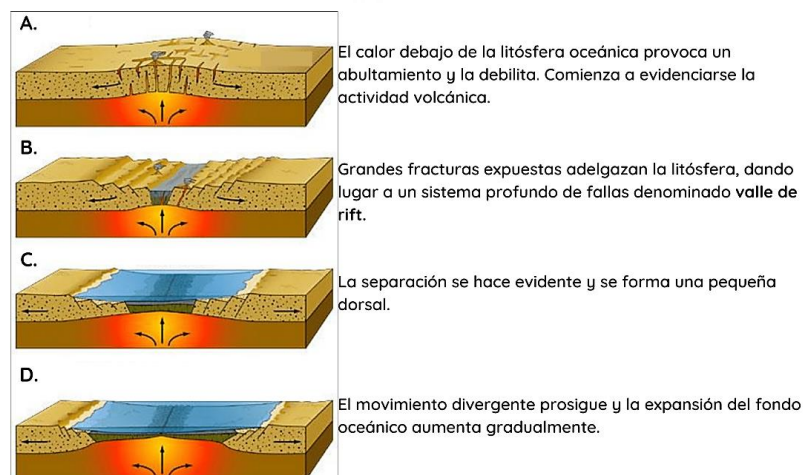


Figura 19. Esquema del mecanismo que representa la expansión del fondo oceánico.

La Figura 20 muestra, desde distintos ángulos, los bordes divergentes que se extienden alrededor de todo el planeta. Los colores, representan la edad de la litósfera oceánica. Las zonas en rojo, o aproximadas a este color, son más jóvenes, mientras que las zonas en verde y azul corresponden a rocas más antiguas de la corteza oceánica, pues están más alejadas de las dorsales.

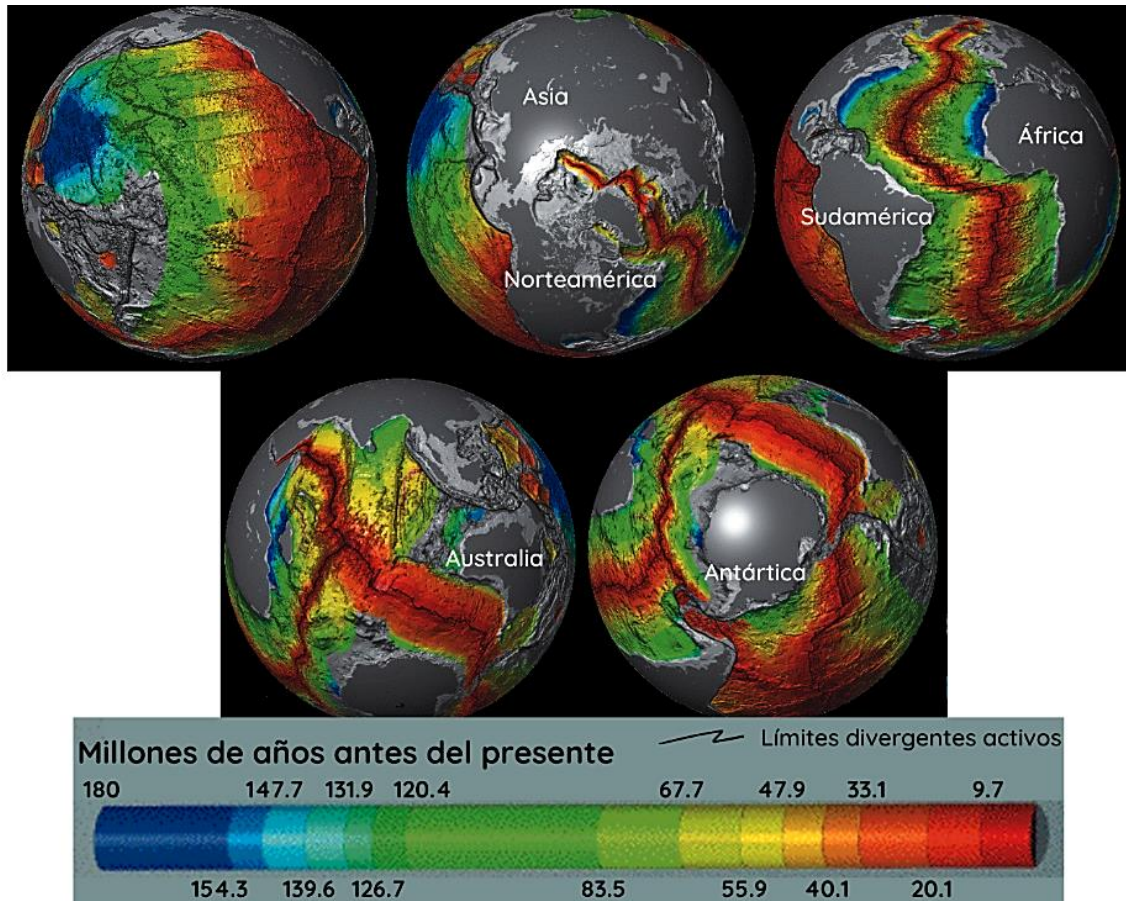


Figura 20. Distribución de los límites divergentes activos en el planeta y la edad del piso oceánico.

Los bordes divergentes también ocurren entre dos placas continentales, donde se forma una depresión alargada en el continente llamada *rift continental*. Tal es el caso del rift de África (Figura 21), que presenta un estado inicial de la divergencia, sin embargo, no se sabe con precisión si esta separación evolucionará hasta dividir el continente africano.



Figura 21. Localización y extensión del rift de África. Del lado derecho, el pequeño recuadro muestra la posible separación continental a partir de este límite divergente.

- b) **Límites convergentes** (*con* = junto; *vergere* = moverse): Es estos bordes o límites, las placas se mueven una hacia la otra. También se les llama límites destructivos, pues en estos ocurre el fenómeno de *subducción*, donde una de las placas se sumerge por debajo de la otra, es decir, se subduce, debido a que su densidad es mayor respecto a la densidad de la otra placa. Generalmente las placas más densas son aquellas conformadas por litósfera oceánica, por lo que tienden a descender hacia el manto, mientras que las placas de litósfera continental son menos densas y se resisten a la subducción.

La convergencia entre placas puede llevarse a cabo de las tres formas siguientes:

1. **Océánica-continental**: el límite de la placa de litósfera oceánica se hunde al converger con el frente de la placa de litósfera continental. El límite que marca el encuentro entre las dos placas se conoce como *fosa marina*. Al descender, la litósfera oceánica alcanza los 100 km de profundidad, en donde comienza a fundirse dentro de la astenosfera. Este material en fusión, es menos denso que la roca que la rodea y que constituye al manto, por lo que tiende a ascender gradualmente hacia la superficie en forma de "gotas", provocando la actividad volcánica típica en estos bordes convergentes (Figura 22). Eventualmente, esta actividad puede llegar a formar grandes cadenas

de volcanes en el continente, denominados *arcos volcánicos continentales*, por ejemplo la cadena montañosa de los Andes, donde la placa de Nazca se hunde por debajo de la placa de Sudamérica.

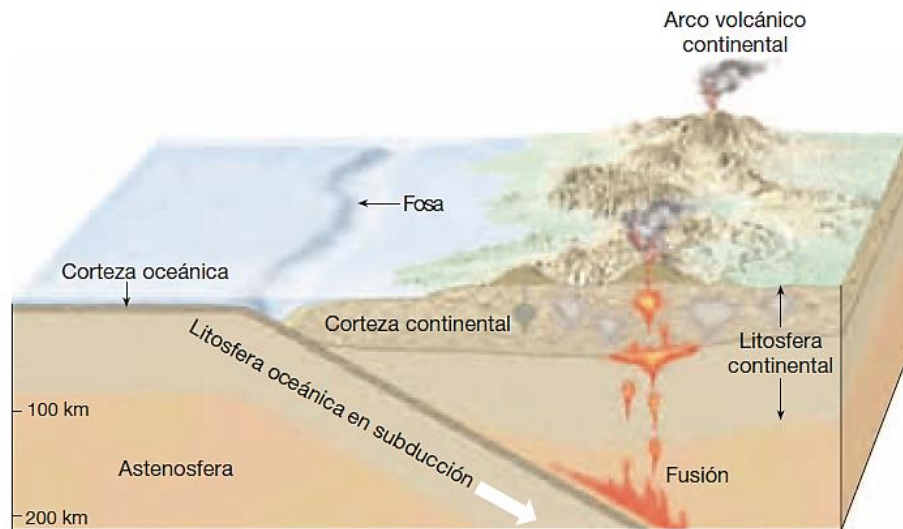


Figura 22. Modelo de convergencia oceánica-continental.

Este tipo de convergencia ocurre dentro del marco tectónico de México. En la Figura 23, se aprecian las cinco placas tectónicas que caracterizan su entorno. El límite entre la placa de Cocos y la placa de Norteamérica, es en donde sucede la subducción. La placa de Cocos es la que se hunde por debajo de la de Norteamérica, dando lugar a la actividad, no sólo volcánica que constituye el centro del país, sino también a la actividad sísmica que se presenta constantemente (Figura 24).

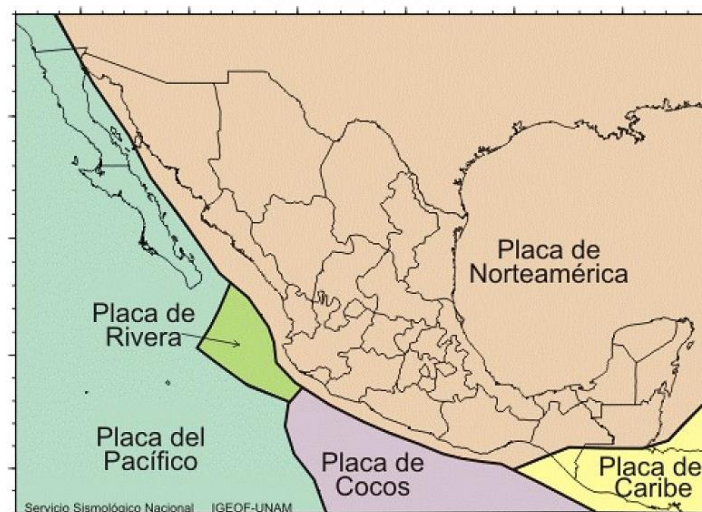


Figura 23. Placas tectónicas que caracterizan el entorno de México.

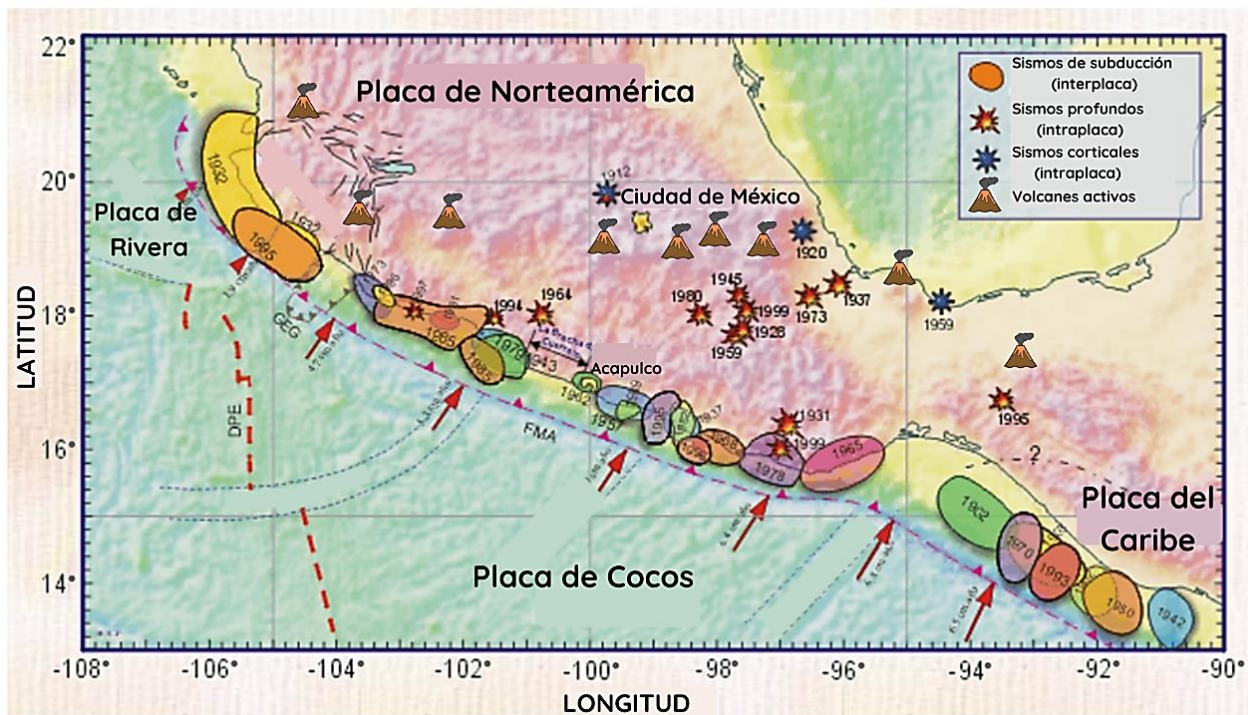


Figura 24. Actividad sísmica y volcánica en México producto de la subducción de la placa de Cocos en la placa de Norteamérica.

2. Océánica-oceánica: Cuando dos placas de esta naturaleza convergen, sucede algo similar como en la convergencia oceánica-continental, pues una de las placas de litósfera oceánica se hunde por debajo de la otra, generando actividad volcánica submarina (Figura 25). Si la subducción entre estas placas se mantiene, los volcanes crecen y se desarrollan desde el fondo del océano hasta formar cadenas de estructuras volcánicas conocidas como *arco de islas volcánicas* o *arco de islas*. Un ejemplo de esto, es la fosa de las islas Marianas, la cual es

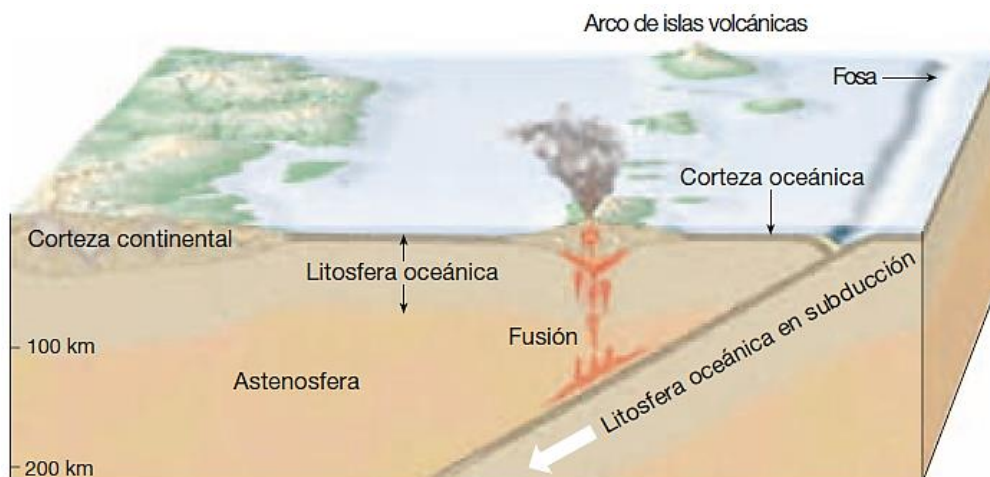


Figura 25. Modelo de convergencia oceánica-oceánica.

reconocida como la fosa o trinchera con la mayor profundidad en el planeta.

3. Continental-continental: La litósfera continental, al ser menos densa, no será capaz de hundirse, por lo que el encuentro entre dos bloques de este tipo será una colisión en superficie que da lugar a enormes sistemas montañosos (Figura 26). Ejemplo de esto es la cordillera del Himalaya, un choque entre la India y Asia (Figura 27) que produjo las montañas más espectaculares y dentro de ellas el Monte Everest, la montaña más alta del mundo con poco más de 8,800 m de altitud. Además del Himalaya, los Alpes, los Apalaches y los Montes Urales, son producto de una colisión entre dos placas de litósfera continental.

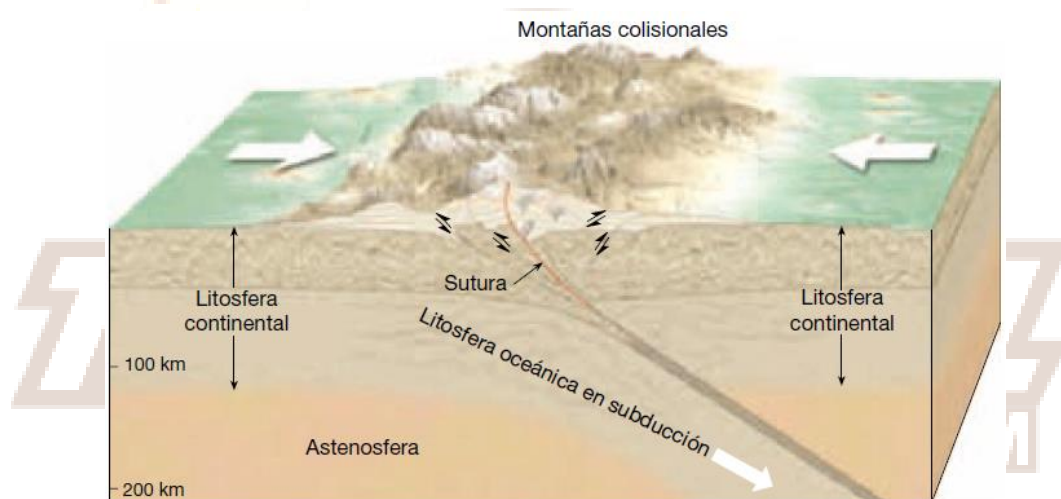


Figura 26. Modelo de convergencia continental-continental.

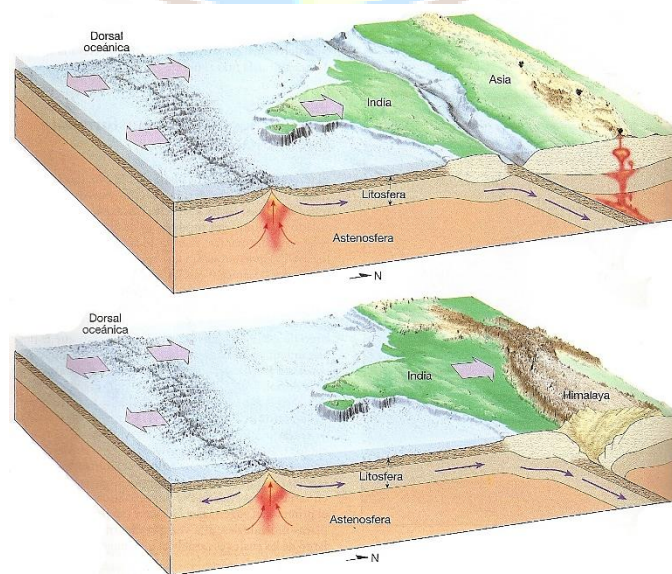


Figura 27. Representación de la colisión entre la India y Asia que dio lugar a la cordillera de los Himalaya. En la parte superior se presenta un modelo del avance de la India hacia norte, que se caracterizaba por un margen de subducción, que, con el tiempo, avanzó hasta encontrarse con el sur del continente asiático, deteniendo el hundimiento y provocando la elevación de las rocas hasta ir formando el sistema montañoso.

- c) **Límites transformantes** (*trans* = a través de; *forma* = forma): En este borde las placas tectónicas se deslizan entre sí en direcciones opuestas, es decir, una respecto a la otra formando fallas. Estas fueron identificadas en las zonas de desplazamiento de las dorsales (Figura 28), mientras ocurre la divergencia, una serie de fallas transformantes constituyen la separación de las placas, pues la dorsal no es una estructura perfectamente lineal.

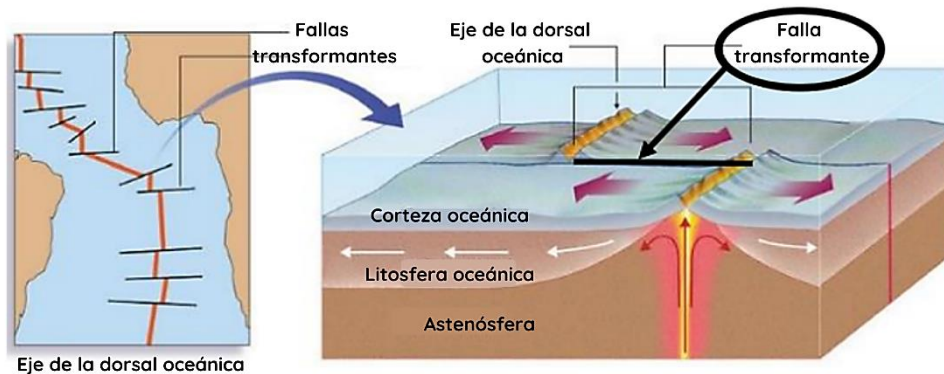


Figura 28. Ilustración que representa la ubicación de las fallas transformantes en una dorsal oceánica.

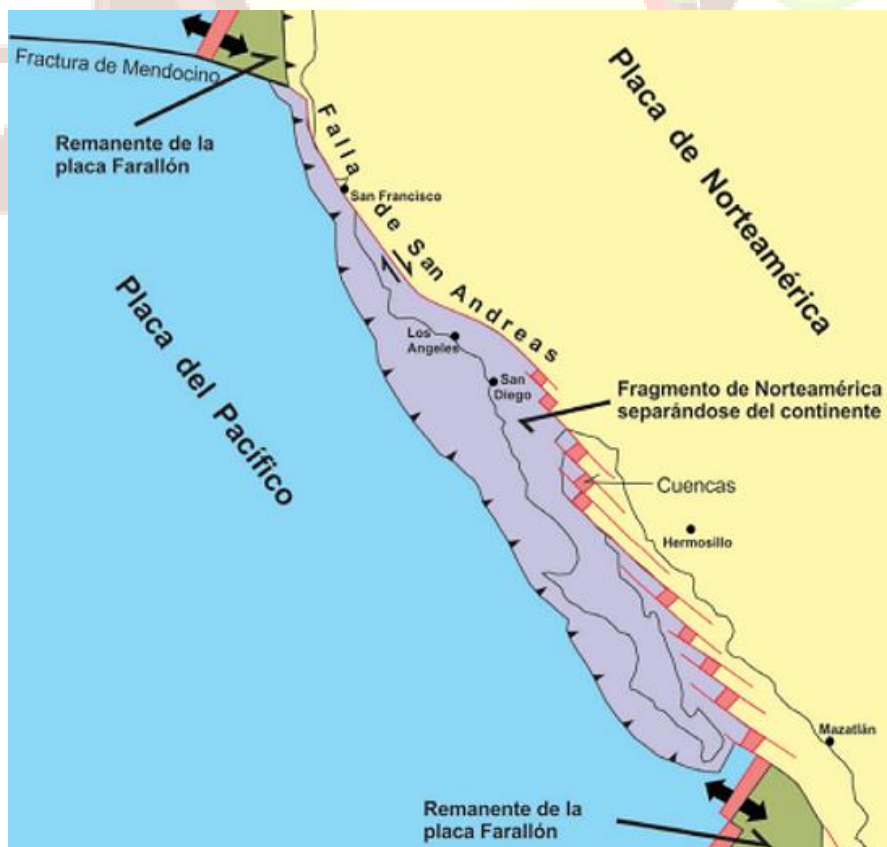


Figura 29. Contexto tectónico que da lugar al borde transformante de la falla de San Andrés, indicada en el círculo amarillo, en California, Estado Unidos.

Los límites o fallas transformantes no sólo se ubican en las zonas de divergencia oceánica, sino también, en el continente. Un ejemplo muy conocido es la falla de San Andrés en California, Estados Unidos, lugar en donde la placa del Pacífico se desliza hacia el norte respecto a la placa de Norteamérica (Figura 29). La fuerza de rozamiento de este tipo de fallas genera fuerte actividad sísmica.

¿Y... la relación con las Ciencias de la Tierra?

Las Ciencias de la Tierra dedican parte de su estudio a reconocer los procesos geológicos que dominan el planeta. Fenómenos tan complejos como los abordados en esta guía, no sólo permiten entender la dinámica actual de la Tierra, sino también, aquella que dominó hace millones de años, a partir de lo cual, es posible inferir cómo seguirá en marcha su evolución hacia el futuro. Geólogos, geofísicos, sismólogos, vulcanólogos y físicos, son algunos de los especialistas que estudian el interior del planeta y sus implicaciones en la superficie terrestre. Oceanógrafos, climatólogos y meteorólogos, son algunos de los que mantienen actualizada la información acerca de los fenómenos oceánicos y atmosféricos a partir de las leyes que los rigen, monitoreando también su estado y cambios en caso de que puedan afectar y/o modificar la vida en el planeta.

Algo curioso relacionado a la convección...

- Los huracanes son importantes fenómenos atmosféricos originados a partir del principio de convección₁. Algo curioso sobre ellos es que en el hemisferio norte giran en sentido contrario a las manecillas del reloj, es decir, en sentido anti horario, mientras que en el hemisferio sur giran en sentido horario. Esto debido a la fuerza que se produce a partir del movimiento de rotación de la Tierra, fuerza que desvía los cuerpos hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur. Por esa razón, las grandes masas de aire en un huracán son desviadas tal y como lo describe dicha fuerza. Además, los huracanes son importantes para amortiguar la elevación de la temperatura en los océanos. Sus vientos pueden soplar a más de 250 km/h y generar olas de más de 5 m de altura.
- La circulación termohalina tarda 1000 años en transportar el agua a lo largo de todos los océanos₂.
- En el núcleo externo también existen corrientes de convección, que, sumado a la rotación de la Tierra, generan el campo magnético terrestre₃. Sin este, no

habría atmósfera en el planeta, pues las partículas provenientes del viento solar destruirían la capa de ozono que protege la superficie de los rayos ultravioleta. Además, permite el uso de brújulas que determinan un lado norte y sur magnéticos para facilitar la orientación en la navegación. Algunas aves y otros animales también detectan el campo magnético y lo usan para migrar en la dirección correcta.

- Se estima que hace 4600 millones de años, cuando la Tierra comenzó su formación, el flujo térmico fue 4.5 veces superior al actual⁴, incluso al inicio del Arcaico, hace 4000 millones de años el calor aún era 2.5 veces mayor que ahora. Esto indica que el planeta se enfría gradualmente conforme avanza el tiempo. Actualmente, la Tierra irradia más cantidad de calor hacia el espacio, de la que genera por acción de la desintegración radiactiva.
- Un equipo de investigadores argumenta que las placas tectónicas pudieron tardar en formarse en más de un millón de años⁵. Analizaron las propiedades microscópicas de los minerales que conforman la corteza y utilizaron un modelo informático que simula la corteza terrestre de hace miles de millones de años.

¿Dónde se aborda el tema en los libros de la SEP?

Primer grado de secundaria.

Asignatura: Geografía

Editorial: Innova Ediciones

- Bloque 2: Diversidad natural
 - *Secuencia 4: Relieve, sismicidad y vulcanismo.*
 - *Secuencia 5: Dinámica de las aguas oceánicas y continentales.*
 - *Secuencia 6: El clima en la Tierra.*

Editorial: Ediciones Castillo. Serie: Travesías Secundaria

- Bloque 1: Naturaleza y sociedad
 - *Secuencia 4: Procesos internos y externos de la Tierra y sus consecuencias.*
 - *Secuencia 5: Aguas continentales y oceánicas.*
 - *Secuencia 6: Distribución de los climas en la Tierra.*

Editorial: Ediciones Castillo. Serie: Infinita Secundaria

- Bloque 1: Naturaleza y sociedad

- *Secuencia 6: Dinámica interna de la Tierra y su relación con la sismicidad y el vulcanismo.*
- *Secuencia 8: Distribución y dinámica de las aguas continentales y oceánicas en la Tierra.*
- *Secuencia 9: Tipos de clima y su distribución.*

Editorial: Editorial Trillas

- Eje 2: Naturaleza y sociedad: Procesos naturales y biodiversidad
 - *Dinámica de las capas internas de la Tierra.*
 - *Distribución y dinámica de las aguas oceánicas*
 - *Distribución y dinámica de las aguas continentales*
 - *Elementos y factores del clima*

Editorial: Ediciones SM

- Eje 2: Naturaleza y sociedad: Procesos naturales y biodiversidad
 - *Lección 4: Relación de los procesos internos y externos de la Tierra con la distribución de la sismicidad, el vulcanismo y el relieve.*
 - *Lección 5: Distribución y dinámica de las aguas oceánicas y continentales.*
 - *Lección 6: La atmósfera, factores y elementos del clima*

Editorial: EK Editores

- Eje 2: Naturaleza y sociedad.

Tema: Procesos naturales y biodiversidad

- *Secuencia 4: ¿En qué se relaciona la formación del relieve, la sismicidad y el vulcanismo?*
- *Secuencia 5: ¿Cómo aprovechamos las aguas continentales y oceánicas?*
- *Secuencia 6: ¿Por qué existen regiones donde hace mucho calor y otras donde hace mucho frío?*

Editorial: EK Editores. Serie: ¡Actívate!

- Eje Temático 2: Naturaleza y sociedad

Tema: Procesos naturales y biodiversidad

- *Secuencia 4: Tipos de relieve y regiones sísmicas y volcánicas.*
- *Secuencia 5: Aguas continentales y oceánicas*
- *Secuencia 6: Distribución de los climas y la relación con sus elementos y factores.*

Editorial: Santillana

- Trimestre 1
 - Secuencia didáctica 4: *Relación entre el relieve, sismos, volcanes y procesos internos y externos de la Tierra.*
 - Secuencia didáctica 5: *Distribución y dinámica de las aguas continentales y oceánicas.*
 - Secuencia didáctica 6: *Los climas y su distribución.*

Editorial: Fernández Editores

- Bloque 1: Procesos naturales y biodiversidad
 - *Las capas internas del planeta Tierra.*
 - *Importancia de la dinámica de aguas oceánicas: corrientes marinas, mareas y olas.*
 - *Elementos y factores del clima.*

Editorial: Norma Ediciones

- Trimestre 01
 - Secuencia 04: *Dinámica interna de la Tierra, sismos, volcanes, relieve y erosión.*
 - Secuencia 05: *Aguas continentales y aguas oceánicas.*
 - Secuencia 06: *Tipos de climas.*

Fuentes

Información

- Atmosphere an climate. *BBC.*
(<https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zpykxsg/revision/1>).
- Continental drift. *National Geographic.*
(<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/continental-drift/>).
- Deriva Continental. *Servicio Geológico Mexicano.*
(<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Deriva-continental.html>).
- Fernández, C., Alfaro, P. y Gutiérrez-Alonso, G. (2016). ¿Qué sabemos y qué desconocemos sobre el motor de las placas litosféricas? *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (83). 43-49.
- García Barragán, J. C. (2008). La litósfera. *Nuestra Tierra*, (9). 3-14.
- Global circulation patterns. *Met Office.*
(<https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/atmosphere/global-circulation-patterns>).

- Gonzáles Alemán, J. J. y Alomar, M. (2011). Convección Atmosférica. Asociación Canaria de Meteorología. Recuperado de <http://www.acanmet.org/portal/media/formacion/trabajo%20conveccion.pdf>
- Jáuregui Ostos, E. (2003). Algunos conceptos modernos sobre la circulación general de la atmósfera. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.* (50). 121-143. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n50/n50a12.pdf>
- Kostoglodov, V. y Pacheco, J. F. (1999). Cien años de sismicidad en México. *Instituto de Geofísica, UNAM.* (<http://usuarios.geofisica.unam.mx/vladimir/sismos/100a%F1os.html>).
- Maderey R., L. E. (1979). Geografía de la Atmósfera. Recuperado de http://observatoriometeorologico.filos.unam.mx/files/2016/10/Maderey_Geografia_Atmosfera.pdf
- Ocean Currents and Climate. *National Geographic.* (<https://www.nationalgeographic.org/media/ocean-currents-and-climate/>).
- Ocean Currents. *National Oceanic and Atmospheric Administration.* (<https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-currents>).
- Ortega-Sánchez, G. E. (2018). *Geografía*. Ciudad de México, México. Ediciones INN, Serie INNOVAT.
- P. Incropera, F. y P. De Witt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México. Prentice Hall.
- Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G., Barrera, J. L., Belmonte, A., Brusi, D., Calonge, A., Cardona, V., Crespo-Blanc, A., Feixas, J. C., Fernández Martínez, E. M., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López-Ruiz, J., Mata-Perello, J. M., Pascual, J. A., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L., Rodrigo, A. y Roquero, E. (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra.* (21.2) 117-129.
- Sánchez-Crispín, A. (2006). *Conocimientos fundamentales de Geografía. Volumen I*. México. Editorial McGraw-Hill Interamericana.
- Sánchez-Suárez, R. E., Mendoza-Robles, K. I. y Viveros-Rodríguez, A. (2018). *Geografía*. Ciudad de México, México. Ediciones Castillo.
- Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., y Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid, España. Pearson Education S. A.

- Tectónica de placas. *Servicio Geológico Mexicano*. (<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Tectonica-de-placas.html>).
- World Data Center-A for Marine Geology and Geophysics Report MMGG-12. (1996). *Age of the Ocean Floor*. [Infografía]. Recuperado de <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/crustageposter.gif>

Datos curiosos

1. 10 datos curiosos sobre los huracanes. (2018). *Muy Interesante*. (<https://www.muyinteresante.com.mx/medio-ambiente/10-datos-curiosos-sobre-los-huracanes/>).
- Sánchez, M. (s. f). 6 curiosidades sobre huracanes que te sorprenderán. *Meteorología en red*. (<https://www.meteorologiaenred.com/6-curiosidades-sobre-huracanes-que-te-sorprenderan.html>).
2. Ocean Circulation (labeled currents). *Science On a Sphere, NOAA*. (<https://sos.noaa.gov/datasets/ocean-circulation-labeled-currents/>).
3. Núcleo de la Tierra. *CapasdeLaTierra.org*. (<https://www.capasdelatierra.org/nucleo/>).
4. Fernández, C., Alfaro, P. y Gutiérrez-Alonso, G. (2016). ¿Qué sabemos y qué desconocemos sobre el motor de las placas litosféricas? *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (83). 43-49.
- Tarback, E. J., Lutgens, F. K., y Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid, España. Pearson Education S. A.
5. Romero, S. (s. f). Las placas tectónicas podrían haber tardado 1 millón de años en formarse. *Muy interesante*. (<https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/las-placas-tectonicas-podrian-haber-tardado-1-millon-de-anos-en-formarse-741396949624#:~:text=Las%20placas%20tect%C3%B3nicas%2C%20esas%20capas,teor%C3%ADa%20sobre%20su%20posible%20origen>).

Figuras

- Figura 1: Llorente, F. (2018). ¿Qué es la red de carreteras atmosférica? *Meteored: tiempo.com* (<https://www.tiempo.com/noticias/divulgacion/-que-es-la-red-de-carreteras-atmosferica-.html>).

- Figura 2: Vázquez, R. (2019). Circulación General: El origen de los vientos en la Atmósfera, *Meteochile Blog*. (<https://blog.meteochile.gob.cl/2019/01/24/circulacion-general-el-origen-de-los-vientos-en-la-atmosfera/>).
- Figura 3: Modificada de What causes ocean currents? *Ocean Exploration and Research*. (<https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/currents.html#:~:text=Ocean%20currents%20can%20be%20caused,such%20as%20earthquakes%20or%20storms.&text=These%20currents%20move%20water%20masses,oxygen%2C%20and%20heat%20with%20them>).
- Figura 4: Modificada de Lab 4: It's All Conected: Global Circulation. *EarthLabs*. (<https://serc.carleton.edu/eslabs/climate/4a.html>).
- Figura 5: Modificada de Aguas Profundas del Océano. *Ventanas al Universo*. (https://www.windows2universe.org/earth/Water/deep_ocean.html&lang=sp&edu=elem).
- Figura 6: Modificada de Explaining Rapid Climate Change: Tales from the Ice. (2006). *NASA Earth Observatory*. (https://earthobservatory.nasa.gov/features/Paleoclimatology_Evidence/paleoclimatology_evidence_2.php).
- Figura 11: Vulcanismo mundial. (s. f). Instituto Nacional de Prevención Sísmica. Recuperado de <http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/VULCANISMO%20MUNDIAL.pdf>.
- Figura 12: Los cambios en el Medio Natural. *Proyecto Biosfera*. (<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/4ESO/MedioNatural11/contenido3.htm>).
- Figura 15: Modificada de Fossil Distribution. (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Geophys/platevid.html>).
- Figura 16: Modificada de Hypothesis of Continental Drift- Theory of Plate Tectonics. (<https://www.timetoast.com/timelines/hypothesis-of-continental-drift-theory-of-plate-tectonics>).
- Figura 17: Modificada de Evidence of Continental Drift. (2018). *The Mulkey Way*. (<http://www.cobblearning.net/m1910/2018/01/31/evidence-of-continental-drift/>).

- Figura 18: Existen límites divergentes donde las placas tectónicas se separan. (<https://www.greelane.com/es/ciencia-tecnolog%C3%ADa-matem%C3%A1ticas/ciencia/divergent-plate-boundaries-3874695/>).
- Figura 19: El porqué del movimiento de placas tectónicas. *ARGOS, Revista de Ciencia y Tecnología de IES ALPAJES*. (<https://www.educa2.madrid.org/web/argos/la-maquina-del-tiempo/-visor/el-porque-del-movimiento-de-placas-tectonicas>).
- Figura 20: Age of the Ocean Floor. (2010). *Nacional Geophysical Data Center*. (<https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/crustageposter.gif>).
- Figura 21: Falla del rift. (2018). *EducAfrica*. (<https://www.educafrica.cl/post/falla-del-rift>).
- Figura 23: Zona de subducción mexicana y su potencial para un sismo mayor. *Servicio Sismológico Nacional*. Recuperado de <http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/sismoMayor.pdf>
- Figura 24: Zonas de quietud sísmica o brechas sísmicas. *Red Sísmica del Noroeste de México*. (<http://resnom.cicese.mx/sitio/capsulas>).
- Figura 28: Modificada de http://cepa-gabecquer.centros.castillalamancha.es/sites/cepa-gabecquer.centros.castillalamancha.es/files/descargas/powerpoint_tema_7.1._proc_geolog_internos._tectonica_de_placas._ctma.pdf
- Figura 29: Modificada de Jacques Ayala, C. (2018). Origen de la sismicidad en el Noroeste de México. *Nuestra Tierra* (30). 16-20. (http://www.erno.geologia.unam.mx/uploads/nuestra-tierra/archivos/30/Revista_Divulgacio_n_Nuestra_tierra_No_30_diciembre_2018f.pdf).
- Figuras 9, 10, 13, 14, 22, 25, 26 y 27: Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., y Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid, España. Pearson Education S. A.

Elaborado por **Rebeca Irais Raygosa Martínez**, 2021
Programa de Divulgación de Ciencias de la Tierra "Terramóvil", Instituto de Geología, UNAM.
 Ciudad de México, México.
beccact@ciencias.unam.mx