

TEMA 2. TECTÓNICA DE PLACAS: EL DESARROLLO DE UNA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA

1. TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS

Hasta el siglo XIX predominaron las teorías **fijistas**, que propugnaban que las cuencas oceánicas y los continentes son estructuras muy antiguas y permanentes y que la corteza terrestre no podía moverse. Para explicar la formación de cordilleras y otras formas del relieve se recurría al **contraccionismo**: la Tierra había comenzado como una masa de material fundido que, al enfriarse, se había contraído, “arrugándose” su superficie y formando las cordilleras.

El siglo XX vivió el auge de las teorías antagónicas, las **movilistas**, lideradas por Alfred Wegener; y que defendían la idea de continentes que se desplazaban por la superficie terrestre.

1.1. LA DERIVA CONTINENTAL

En 1915 aparecería el libro más revolucionario de la historia de la Geología: *El origen de los continentes y los océanos*, del meteorólogo y geofísico alemán Alfred Wegener. En él Wegener proponía una teoría radical: **la deriva continental**.

Para Wegener, hace 200 millones de años, todos los continentes actuales estaban unidos en uno solo llamado **Pangea** (*pan* = todo, *gea* = Tierra) que en el Mesozoico comenzó a fragmentarse hasta dar lugar a los continentes actuales. Wegener apoyó su teoría en una abrumadora serie de pruebas que reunió en su libro y que son las siguientes:

1.1.1. EVIDENCIAS GEOGRÁFICAS

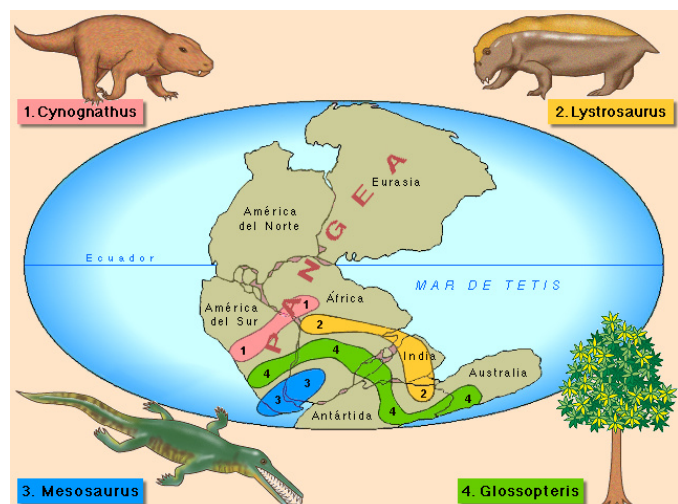
Ya en el s. XVII Francis Bacon había reparado en la notable semejanza entre las líneas de costa de África y América del Sur. Esta evidencia fue aportada por Wegener como una de sus pruebas.

Sin embargo, fue rápidamente rebatida, ya que sus críticos argüían, con razón, que las costas son continuamente modificadas por la erosión. Actualmente el ajuste continental se ha mejorado utilizando la plataforma continental, sumergida en gran parte pero que pertenece a la corteza continental.

1.1.2. EVIDENCIAS PALEONTOLÓGICAS

Wegener encontró numerosas referencias científicas a la existencia de fósiles idénticos en continentes separados por océanos, lo que hacía necesaria alguna conexión entre dichos continentes.

Así, *Mesosaurus*, un reptil fluvial de hace unos 260 millones de años, vivió en Sudamérica y África. Igualmente, *Glossopteris*, helecho fósil de clima subpolar de la misma época, se encontró en África, Australia, India, Sudamérica y la Antártida.



Wegener concluyó que todos esos continentes estaban unidos muy al sur durante el Mesozoico.

En ediciones posteriores de su libro Wegener incluyó la distribución de organismos actuales como prueba. Si los organismos actuales tienen antepasados muy similares es que habían evolucionado de forma aislada del resto. Así, los marsupiales estuvieron distribuidos por América y Australia, pero al separarse ambos, siguieron una evolución diferente.

Los detractores de las teorías de Wegener argumentaron la existencia de *puentes intercontinentales* que habrían permitido el paso de seres vivos para desaparecer después bajo el fondo del mar. Esos puentes no se han encontrado nunca.

1.1.3. EVIDENCIAS GEOLÓGICAS

Además de la semejanza de costas, Wegener halló que rocas ígneas de Brasil eran muy semejantes a otras halladas en África. Por otro lado, la cadena montañosa de los Apalaches, al este de Estados Unidos, parece continuarse en las montañas de Escandinavia, las Islas Británicas y el norte de África. Era otra prueba de que tales continentes habían estado unidos en el pasado.



1.1.4. EVIDENCIAS PALEOCLIMÁTICAS

El ser meteorólogo permitió a Wegener realizar amplios estudios del clima de la Tierra en épocas remotas y obtener datos *paleoclimáticos* (*paleo* = antiguo).

Lo más sorprendente fue hallar pruebas de clima glacial durante el Paleozoico (hace unos 300 millones de años) en Sudamérica, África, India y Australia, mientras que en otras partes de la Tierra había un clima tropical.



La conclusión de Wegener fue que esos continentes se hallaban unidos cerca del Polo Sur del planeta.

2. RECHAZO DE LA TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL



pesar de todo lo dicho, pasaron 50 años antes de que la comunidad científica admitiera la deriva de los continentes y Wegener murió sin que se reconociese su mérito.

La teoría de Wegener tenía varios puntos débiles. En primer lugar, el “motor” del movimiento de los continentes. Para el autor alemán, la propia rotación terrestre junto a la atracción gravitatoria de la Luna eran los responsables de dicho movimiento, lo que fue fácilmente rebatido por sus críticos.

Además, Wegener sugirió, incorrectamente, que los continentes se desplazaban sobre los océanos.

Cuando, en 1930, murió Wegener, muy pocos científicos de importancia creían en sus teorías. Las medidas posteriores sobre la deriva de Groenlandia no aportaron evidencias. Sólo algunos geólogos, como Alexander du Toit (que aportó nuevas pruebas) y, sobre todo, Arthur Holmes (que habló del flujo de materiales en el manto como motor de la deriva), apoyaron el movimiento de los

continentes e incluso aportaron nuevas pruebas, aunque sin convencer a la comunidad científica general.

3. PALEOMAGNETISMO

A mediados de los años 50 del s. XX aparecieron dos líneas de investigación que cambiarían la visión de los geólogos de la época. Una fue el estudio del fondo del océano y la otra el estudio del *paleomagnetismo*.

La Tierra actúa como un imán gigantesco. En su interior se genera un campo magnético que hace que, por ejemplo, las agujas de las brújulas señalen al polo norte magnético, muy cercano al polo norte geográfico.

Las rocas ígneas contienen minerales de tipo ferromagnético (como la magnetita) que también se orientan según el campo magnético terrestre. A medida que el magma se enfría, cuando se alcanza una temperatura llamada **punto de Curie** (unos 585° C para la magnetita), los minerales ferromagnéticos se orientan según dicho campo y una vez formada la roca ígnea esa orientación queda “congelada” y permanece en el tiempo, indicando dónde se encontraban los polos magnéticos de la Tierra en el momento de su formación. Es el **magnetismo remanente** o **paleomagnetismo**.

Además, esos mismos minerales indican, por su inclinación, la latitud de la roca cuando se magnetizó.

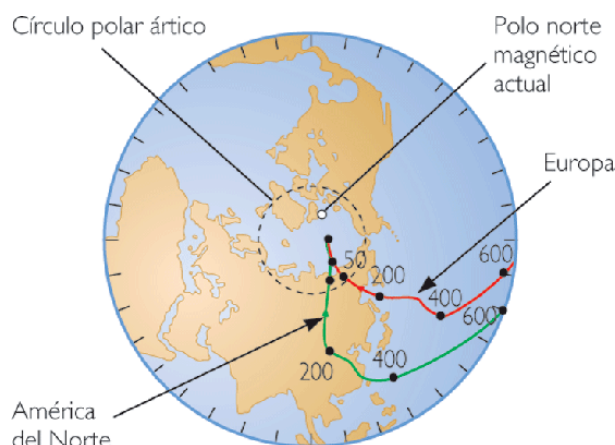
Estudiando estas rocas se descubrió que los polos magnéticos de la Tierra parecían haberse desplazado de forma gradual en los últimos 500 millones de años (*deriva polar*). Cuando se comparaba la deriva en Norteamérica y en Europa, las líneas eran semejantes, pero separadas unos 5.000 km, hasta que, hace unos 180 millones de años, comienzan a acercarse dichas líneas hasta coincidir en la actualidad. Sin embargo otros estudios indicaban que los polos magnéticos, aunque se desplazaban ligeramente, siempre se han situado cerca de los polos geográficos. La explicación alternativa era que lo que se había desplazado eran los continentes donde estaban las rocas, como había propuesto Wegener. Todos los estudios del paleomagnetismo en distintas zonas de la Tierra conducían a esa explicación.

4. LA EXPANSIÓN DEL FONDO OCEÁNICO

4.1. ESTUDIO DEL FONDO DEL OCEANO

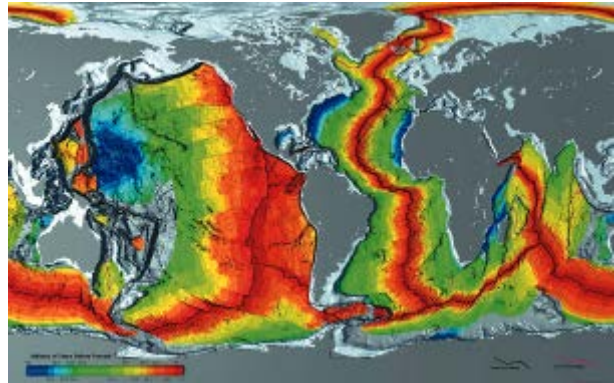
Tras la II Guerra Mundial, gracias a inventos como el sónar, se comenzó un estudio sistemático del fondo del océano y se descubrieron cosas sorprendentes.

En primer lugar, el suelo del océano no es plano, como se sospechaba, a causa de la erosión de millones de años. Contenía un relieve comparable al de la superficie continental. Una de las estructuras más llamativas eran una serie de cordilleras submarinas, de tipo volcánico, que recorrían



todos los océanos de la Tierra: las dorsales oceánicas. Además se encontraron numerosos volcanes aislados o en grupos por todo el fondo marino.

Otro descubrimiento sorprendente estaba relacionado con la edad de los fondos oceánicos. Los más antiguos sólo tenían 180 millones de años, eran muy jóvenes comparados con algunas rocas de la superficie de casi 4.000 millones de años. Por otro lado, la edad de las rocas aumentaba a medida que se encontraban más lejos de las dorsales, así como también crecía el grosor de los sedimentos en la misma dirección.

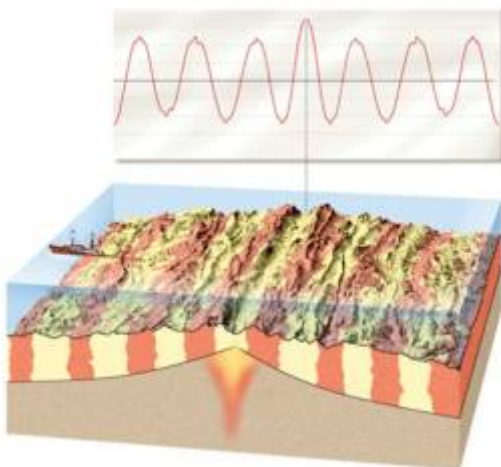


4.2. LA HIPÓTESIS DE LA EXPANSIÓN DEL FONDO OCEÁNICO

En los años 60, Harry Hess (y Robert Dietz de forma independiente) elaboró una hipótesis que se llamaría de la **expansión del fondo oceánico** (la idea ya había sido expuesta por Holmes, el defensor de Wegener, de forma menos completa). Para Hess las dorsales eran lugares por donde ascendía material procedente del manto, expandiendo lateralmente el suelo oceánico y creando nueva corteza oceánica, lo que explicaba la distribución de edades y sedimentos de las rocas marinas. Por otra parte, esta corteza se introducía nuevamente en el manto cerca de las fosas submarinas, destruyendo el suelo más antiguo y justificando la “juventud” del fondo marino. Las corrientes de convección de materiales del manto serán las responsables de este movimiento continental que Wegener no llegó a explicar.

4.3. INVERSIONES MAGNÉTICAS

Por la época en que Hess publicaba su teoría, los geólogos descubrieron la **inversión magnética**, es decir, un cambio de la polaridad de la Tierra en la que el polo norte pasa al sur y viceversa. Este cambio se da cada centenar de millares de años, de forma regular pero no periódica.



Con el estudio de las inversiones magnéticas se obtuvo un método de datación de las rocas, una **escala de tiempo magnético**, ya que las inversiones se encontraban en todo el planeta.

Al aplicar este estudio al fondo del océano se halló que las inversiones magnéticas aparecían de forma simétrica a ambos lados de las dorsales. Los investigadores Vine y Matthews (y L. W. Morley de forma independiente. El escrito de Morley es anterior, pero su artículo fue rechazado) relacionaron esta disposición con la teoría de Hess de expansión del fondo oceánico: a medida que

surge material por la dorsal adquiere la orientación magnética de ese momento y, debido a la expansión del fondo, las franjas magnéticas crecen en anchura y cambian su polaridad cuando lo hace la Tierra.

5. PLACAS TECTÓNICAS

Aun aceptada, la expansión del fondo oceánico siguió creando gran controversia hasta que en 1965 el físico Tuzo Wilson aportó la pieza que faltaba. Para Wilson la capa externa de la Tierra estaba dividida en grandes “placas rígidas” que se movían unas respecto a otras. En las dorsales las placas se separan, en las fosas convergen y en las *fallas transformantes* se deslizan unas respecto de otras. Esta teoría se llamaría más tarde *teoría de la tectónica de placas*.

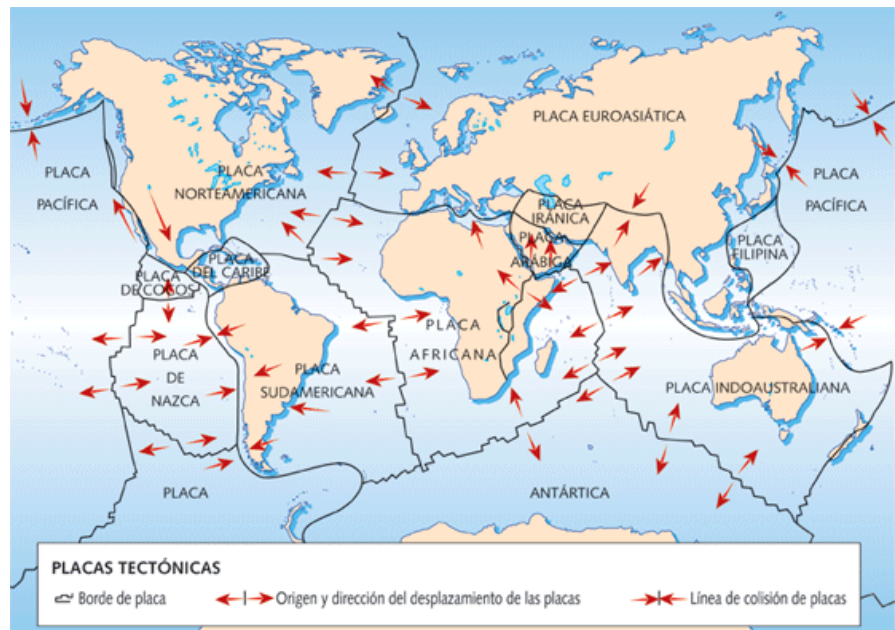
5.1. LA TECTÓNICA DE PLACAS

En 1968 los conceptos de deriva continental y expansión del fondo oceánico se unieron para dar lugar a una teoría mucho más completa y elaborada, la **tectónica de placas**. Esta teoría intenta explicar la mayor parte de los procesos geológicos que tienen lugar en la Tierra.

5.1.1. LAS PLACAS TECTÓNICAS

Según el modelo de la tectónica de placas, la corteza y parte del manto superior se comportan como una capa rígida, la **litosfera** (*lythos* = piedra), que está dividida en fragmentos llamados *placas*. La litosfera es más gruesa y ligera en los continentes y más densa y delgada en los océanos y “flota” sobre el resto del manto superior (la **astenosfera**), de carácter dúctil, lo que permite a la litosfera desplazarse.

Las placas litosfera se mueven unas respecto a otras, interaccionando y cambiando de tamaño y forma. Existen siete grandes placas (Norteamericana, Sudamericana, Africana, Euroasiática, Indoaustraliana, Pacífica y Antártica), varias medianas (Nazca, Cocos, Filipina, Arábica, ...) y un número indeterminado de pequeños fragmentos.



El movimiento de las placas es muy lento (unos 5 cm al año) pero constante, y es la causa de terremotos, volcanes y formación de cordilleras.

5.1.2. BORDES DE PLACA

Aunque las placas pueden sufrir ciertas deformaciones en su interior, la mayor parte de las interacciones y deformaciones se dan en sus bordes. Éstos pueden ser de 3 tipos:

- **Bordes divergentes o constructivos:** donde las placas se separan y se crea nuevo suelo oceánico. Suponen un 40% de los bordes.
- **Bordes convergentes o destructivos:** donde las placas se juntan y se destruye suelo oceánico, formando fosas, o colisionan dando cadenas montañosas. Otro 40%.

- **Bordes de falla transformante o pasivos:** donde las placas se deslizan una respecto a otra, no dándose formación ni destrucción de litosfera. Un 20% de los bordes.

Las placas están rodeadas por cualquier combinación de estos bordes, por lo que pueden crecer o disminuir de tamaño. Además, pueden aparecer nuevos bordes dentro de las placas.

5.1.2.1. Bordes divergentes

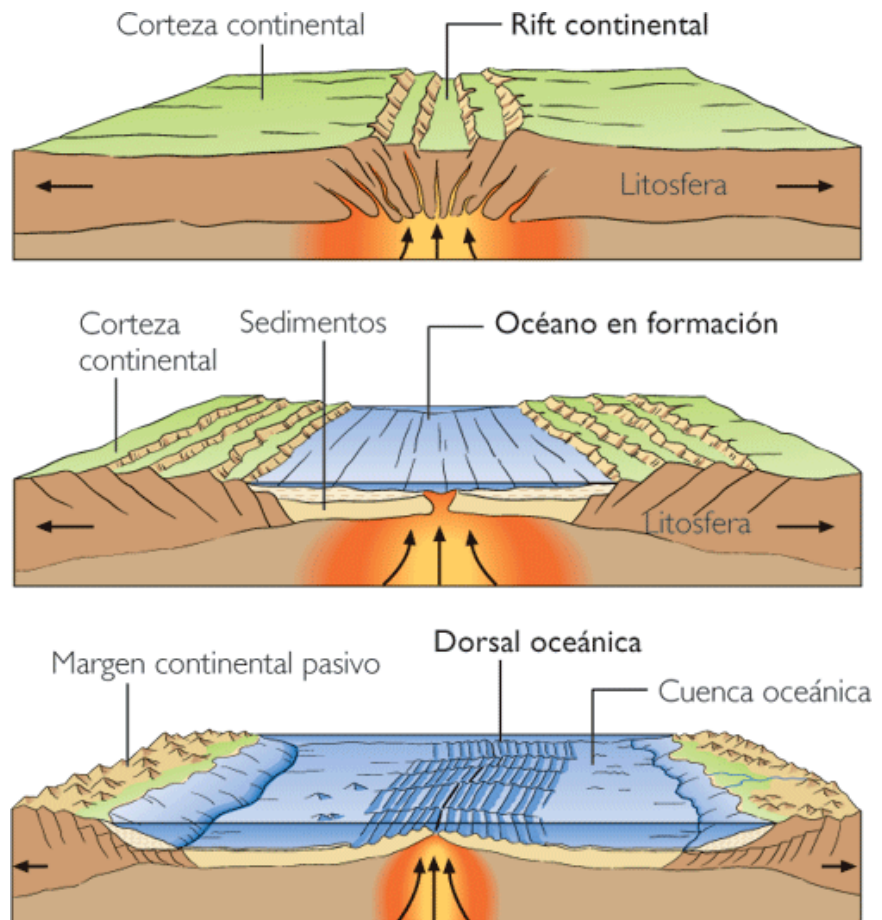
Coinciden en su casi totalidad con las dorsales oceánicas, donde constantemente aflora magma procedente del manto y se crea litosfera oceánica, por lo que estos bordes se llaman también **constructivos** o **centros de expansión**.

Las dorsales son cadenas montañosas de origen volcánico con más de 70.000 km de longitud global que recorren todos los océanos. Son anchas, de 1.000 a 4.000 km, y en su eje central suele aparecer una profunda falla llamada **valle de rift** o simplemente **rift**.

Las velocidades de separación de las placas (o *expansión del fondo oceánico*) varía de los 2 a los 15 cm/año, suficiente para haber creado todas las cuencas oceánicas en menos de 200 millones de años (180 millones de años es la máxima edad hallada en rocas oceánicas).

La litosfera creada es más gruesa cuanto más antigua, pues el material bajo la corteza se endurece y pasa a formar parte de la litosfera. A los 80 millones de años su grosor es de un máximo de 100 km.

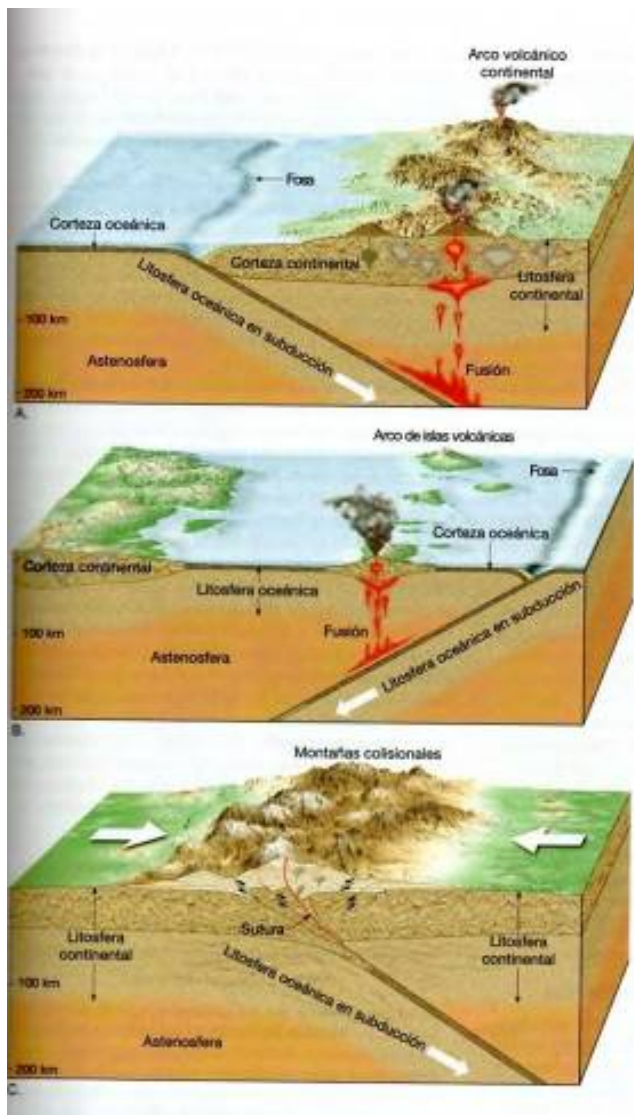
Los bordes de placa divergentes también pueden aparecer en el interior de un continente en forma de *rift continental*, fragmentándolo. Es el caso del rift de África oriental. Con el tiempo la grieta se ensanchará y formará un mar estrecho (como el Mar Rojo) y, finalmente, un océano (como el Atlántico).



5.1.2.2. Bordes convergentes

Aunque las dorsales crean continuamente litosfera oceánica, el tamaño de la Tierra no aumenta debido a un proceso compensador en los **bordes convergentes**. Aquí, siempre que una de las placas implicadas sea oceánica, se producirá el fenómeno de *subducción*: una placa se introducirá bajo otra y se incorporará al manto. De esa forma se destruye litosfera oceánica, por lo que estos bordes también se llaman *destructivos* o **zonas de subducción**.

Las **fosas oceánicas** son su manifestación más notable. Aquí, la litosfera oceánica se introduce en el manto con ángulos que varían de pocos grados hasta casi 90°, siendo mayor el ángulo cuanto menor es la temperatura, es decir, cuanto mayor la edad.



En los bordes convergentes pueden darse tres tipos de interacción:

I. Convergenencia oceánica-continental

Siempre que chocan una litosfera oceánica con una continental la primera, más delgada y densa, subduce bajo la segunda.

A medida que subduce, al agua que arrastra escapa y, junto al aumento de temperatura, hace que el manto, a unos 100 km de profundidad, funda (**fusión parcial**) y ascienda en forma de magma basáltico.

Por el camino de ascenso se convierte en un magma andesítico que, al alcanzar la superficie, suelen provocar erupciones explosivas.

Los volcanes de los Andes son el producto del magma generado por la subducción de la placa de Nazca por debajo del continente sudamericano. Este tipo de montañas se denominan **arcos volcánicos continentales** o **cordilleras pericontinentales**.

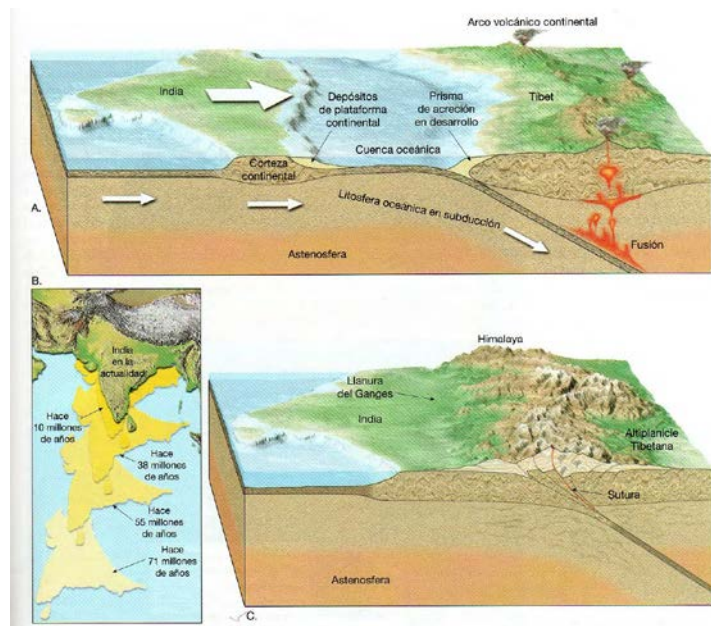
II. Convergenencia oceánica-oceánica

Es muy similar al caso anterior. Una de las placas oceánicas subduce bajo la otra y se

producen los mismos fenómenos vistos. El resultado, al estar el arco volcánico en medio del océano, es un **arco de islas volcánicas**. Las Aleutianas, las Kuriles o Japón son ejemplos notables. La mayoría se hallan en el Pacífico occidental.

III. **Convergencia continental-continental**

Cuando dos litosferas continentales chocan, su grosor y poca densidad impiden que haya subducción, por lo que ambas colisionan. Antes del choque han podido darse fenómenos de subducción y la formación de arcos volcánicos. Cuando las dos masas continentales se encuentran finalmente, el resultado es una **cordillera intercontinental**, formada por rocas muy plegadas, sedimentos marinos y fragmentos de arcos volcánicos. El caso más llamativo es la cordillera del Himalaya.



5.1.2.3. **Bordes de falla transformante (bordes pasivos)**

Los bordes transformantes son zonas donde las placas se desplazan una al lado de la otra sin que haya creación ni destrucción de litosfera (**bordes pasivos**).

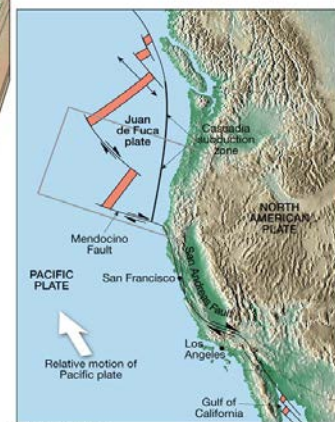
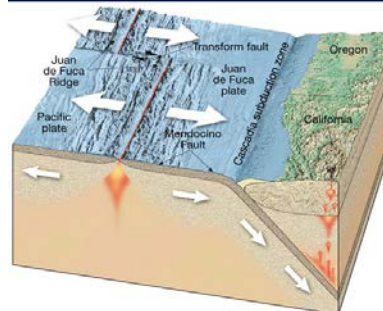
La mayoría se encuentran uniendo segmentos de las dorsales en las llamadas **zonas de fractura**. Estas fallas permiten conocer el movimiento de las placas en el pasado. Por otra parte, ocasionan que las propias dorsales acaben subduciendo en las fosas.

Esto es lo que sucede en la falla de Mendocino, causada por la subducción de la placa de Juan de Fuca bajo la Norteamericana.

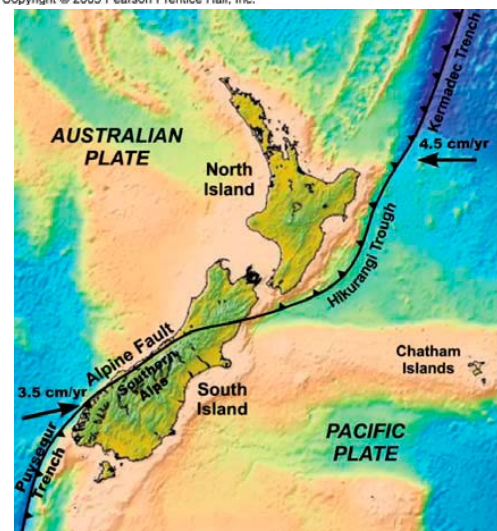
Sin embargo, algunas fallas transformantes atraviesan la corteza continental, como la falla de San Andrés, en California (conectada con la de Mendocino) o la falla Alpina, en Nueva Zelanda.

Todas ellas son zonas de intensa actividad sísmica.

Fallas transformante Mendocino y San Andrés



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



5.1.3. COMPROBACIÓN DE LA TECTÓNICA DE PLACAS

En la actualidad, gracias al estudio de los fondos oceánicos (edad y espesor de los sedimentos), los puntos calientes y plumas del manto (Hawái, Yellowstone) y la medición del movimiento de las placas mediante el paleomagnetismo y por satélite, se han podido confirmar muchas de las predicciones de la teoría de la tectónica de placas.

A estas pruebas hay que añadir otras muchas evidencias, algunas ya nombradas, como el estudio de los sedimentos y edad del fondo oceánico, los barcos perforadores, el paleomagnetismo, las plumas del manto y los puntos calientes (movimiento de Hawái), etc.

6. EL MOTOR DE LAS PLACAS

Actualmente, la mayoría de los científicos concuerdan en que el flujo convectivo en el manto es la fuerza impulsora del movimiento de las placas, pero los detalles se desconocen y son muy debatidos.

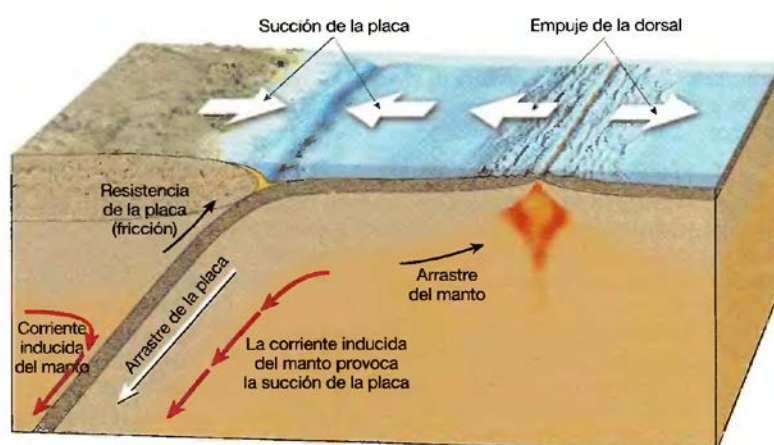
6.1. FUERZAS QUE IMPULSAN EL MOVIMIENTO DE LAS PLACAS

I. Fuerza de arrastre de la placa, fuerza de empuje de dorsal y fuerza de succión de la placa

Las porciones de las placas que subducen “tiran” del resto de la placa, es la **fuerza de arrastre de la placa**. Por otra parte, como la dorsal está en situación elevada, al formar nuevo material éste tiende a descender por la fuerza de la gravedad, empujando a la placa hacia las fosas: es la **fuerza de empuje de la dorsal**, menos importante que la anterior. Finalmente, al subducir una placa, crea una corriente en el manto que empuja la placa subducida hacia el interior: es la **fuerza de succión de la placa**.

II. Fuerza de arrastre del manto y fuerza de resistencia de la placa

Estas fuerzas tienden a frenar el movimiento de las placas. La **fuerza de resistencia de la placa** se debe al rozamiento entre la placa que subduce y la superpuesta. En cuanto a la **fuerza de arrastre del manto**, se debe a las corrientes en el manto. Si estas se dan en la misma dirección y su movimiento es más rápido que el de la placa que subduce, contribuyen al movimiento de la placa. Pero lo normal es que no sea así y, por tanto, es una fuerza que frena a la placa.



6.2. MODELOS DE CONVECCIÓN DEL MANTO

Aunque las corrientes de convección profunda del manto parecen ser el motor básico de las placas, el sistema que siguen estas corrientes no está claro y hay tres modelos posibles:

I. Estratificación a 660 kilómetros

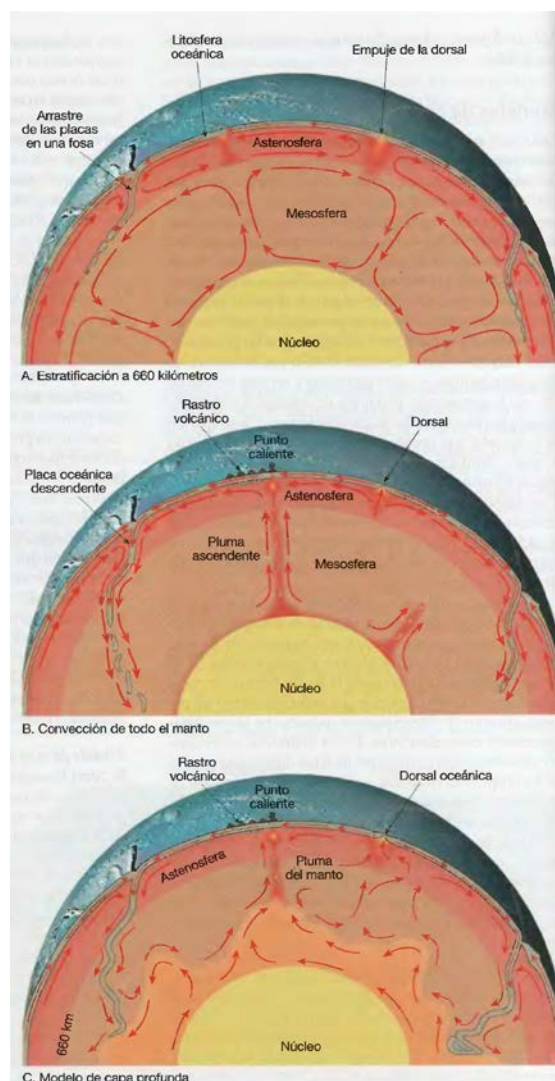
Propone dos zonas de convección, una hasta los 660 km de profundidad y otra más gruesa debajo. El problema es que se ha demostrado que las placas en subducción pueden descender por debajo de los 660 km, lo que contradice este modelo.

II. Convección de todo el manto

Propone una única celda convectiva que ocupa todo el manto. Tendría como inconveniente que, al mezclar todo el material del manto en sólo unos cientos de millones de años, según se ha calculado, no habría diferencias químicas en los magmas de diferentes partes del mundo, lo que no se observa.

III. Modelo de capa profunda

El manto tendría varias celdas convectivas, pero a mayor profundidad que en el primer modelo. No hay datos observacionales que lo confirmen.



Contenido

1. TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS	1
1.1. LA DERIVA CONTINENTAL	1
1.1.1. Evidencias geográficas.....	1
1.1.2. Evidencias paleontológicas	1
1.1.3. Evidencias geológicas	2
1.1.4. Evidencias paleoclimáticas	2
2. RECHAZO DE LA TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL	2
3. PALEOMAGNETISMO.....	3
4. LA EXPANSIÓN DEL FONDO OCEÁNICO	3

4.1.	Estudio del fondo del océano	3
4.2.	La hipótesis de la expansión del fondo oceánico	4
4.3.	Inversiones magnéticas.....	4
5.	Placas tectónicas	5
5.1.	LA TECTÓNICA DE PLACAS	5
5.1.1.	Las placas tectónicas.....	5
5.1.2.	Bordes de placa	5
5.1.2.1.	Bordes divergentes.....	6
5.1.2.2.	Bordes convergentes.....	7
5.1.2.3.	Bordes de falla transformante (bordes pasivos).....	8
5.1.3.	comprobación de la tectónica de placas.....	9
6.	El motor de las placas	9
6.1.	Fuerzas que impulsan el movimiento de las placas.....	9
6.2.	Modelos de convección del manto	10