

DE LA DERIVA CONTINENTAL A LA TECTÓNICA DE PLACAS*

Gerardo Veroslavsky
Departamento de Geología
Instituto de Geología y Paleontología
Facultad de Ciencias



Introducción

Uno de los desafíos de esta charla, más allá del tema central que nos convoca que es la aceptación de la teoría de la Tectónica de Placas, es el lograr en este corto tiempo que tenemos un lenguaje comprensible que me permita transmitirles un conjunto de conceptos, ideas y términos propios de la Geología. Digo esto porque, sin duda, para la mayoría de ustedes la geología es una ciencia menos conocida que la física, química, biología o matemática. Todos los que deciden estudiar ciencias y se acercan hasta la Facultad, poseen una cultura en torno a grandes temas de la ciencia como el átomo, la célula, la molécula, el ADN, el H_2SO_4 , una integral o la termodinámica, la teoría de la selección natural o la propia teoría de la relatividad. Todos ustedes traen consigo, al menos, un fuerte ruido en torno a esos temas.

Sin embargo, cuando les menciono rocas graníticas, metamórficas o sedimentarias, basaltos, peridotitas, fallas geológicas, plumas mantélicas, placas, formación de orógenos y génesis de terremotos, por decir algo, no son términos o conceptos que logren una clara familiaridad. Uno de los motivos es obvio, a lo largo de su educación formal no se lo han enseñado, transmitido, comunicado. A lo sumo, quedó a la buena voluntad de algún buen profesor de Geografía en Secundaria o la propia inquietud de ustedes impulsada por quién sabe qué tipo de circunstancias. La exclusión de las Geociencias en nuestra educación es una carencia que se debe revertir. No crean que esto se supera al llegar a nuestra Facultad, y prueba de ello es que el propio Plan de Estudios de Biología, por ejemplo, no contempla un curso de introducción a las Geociencias o la Geología, a mi entender, fundamental para la comprensión de los procesos de interacción y funcionamiento entre la vida y el medio físico. Les cuento que **la Geología tiene como objetivo fundamental el estudio de la naturaleza, la génesis y la evolución de la Tierra, a partir de la observación directa o indirecta de los materiales que la conforman.**

* Versión corregida por el autor

El tema que nos convoca es la Tectónica de Placas, una teoría que logra explicar, de forma satisfactoria, los procesos geológicos, físicos y químicos que sufre y ha sufrido la Tierra a lo largo del tiempo. Actualmente, la síntesis general de los conocimientos geodinámicos están resguardadas por esta teoría, un verdadero paradigma científico. En el contexto de la Tectónica de Placas se explican los principales fenómenos geológicos que observamos en la Tierra como la formación de las cadenas montañosas, el volcanismo, los terremotos, el porqué, cómo y dónde se distribuyen las áreas de mayor riesgo sísmico de la Tierra, la comprensión de los procesos de acumulación de materiales que dan lugar a los yacimientos minerales y hasta la formación del petróleo. Pretendo discutir con ustedes ese lento proceso de acumulación de conocimientos, o tal vez no tan así, de hipótesis, de especulaciones, de datos sobre la dinámica de la Tierra, particularmente en este siglo XX, repasando algunas viejas ideas y paradigmas que estuvieron vigentes en su momento. La aceptación de la Tectónica de Placas, además, es considerada un ejemplo de que no siempre la ciencia avanza por acumulación de observaciones y construcción de inducciones a partir de estas.

Nociones básicas sobre el origen de las rocas

¿Qué es una roca? Simplemente, un agregado o conjunto de minerales, consolidado o no, que puede tener distintos orígenes. Existen tres grandes grupos de rocas que conforman nuestra corteza: las **rocas sedimentarias**, las **rocas metamórficas** y las **rocas ígneas**. Las **rocas ígneas** son las generadas a partir de un magma, es decir, un fluido viscoso silicático (rico en sílice) y rico en gases que se encuentra conformando cámaras magmáticas en el interior de la corteza. Por el enfriamiento de ese magma se forman las rocas ígneas. Dentro del grupo de rocas ígneas o magmáticas existen dos tipos: las rocas intrusivas o plutónicas, que corresponden a aquella familia en la que el magma se emplaza, enfría y solidifica en el interior de la corteza terrestre y, por otro lado, las rocas extrusivas o volcánicas donde el magma logra ascender a través de fracturas por la corteza, emerge y se solidifica en la superficie terrestre. Este tipo de rocas es sin duda más conocido ya que se forman, la mayoría de ellas, por la erupción de volcanes activos.

Las **rocas sedimentarias** se forman en la superficie terrestre a expensas de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias que afloran, producto de la actuación de procesos de meteorización, transporte y depositación de fragmentos de rocas en lugares deprimidos de la corteza terrestre. Esos lugares deprimidos de la corteza capaces de albergar los sedimentos transportados por los procesos exógenos se denominan cuencas. El acarreo de material “suelto” sobre las áreas rocosas que forman los continentes, a través de la acción de ríos, viento, glaciares, etc, es lo que comienza a rellenar lagos, lagunas o plataformas continentales actuales, al igual que como ocurrió en el pasado.

Por último las **rocas metamórficas**, que se generan también en el interior de la corteza, resultan de la acción de la presión, la temperatura, y la circulación de fluidos que afectan a rocas preexistentes (ígneas, sedimentarias o inclusive, otras metamórficas), produciendo cambios particulares en su aspecto.

Ejemplo de roca ígnea intrusiva es el granito, material con el que fue construida nuestra hermosa rambla montevideana y extraído básicamente de la región de La Paz. Ejemplo de roca ígnea volcánica es el basalto, roca muy común en buena parte del norte y noroeste de nuestro territorio, que da lugar a la “región basáltica” donde se encuentran nuestros yacimientos de ágatas y amatistas. Ejemplo de roca sedimentaria es la arenisca, roca constituida por partículas de tamaño arena, y que en coloraciones rojizas cubren y dan un aspecto muy particular a los departamentos de Rivera y Tacuarembó. Ejemplo de roca metamórfica es el mármol, producto del metamorfismo en rocas sedimentarias ricas en carbonato de calcio, y que se conocen en el Departamento de Lavalleja tanto para la obtención de materia prima en la fabricación de cemento, o como roca ornamental para la construcción de monumentos o revestimiento de edificios.

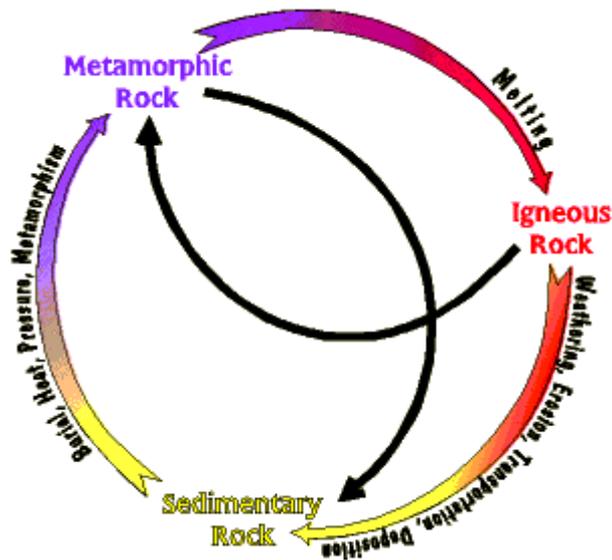


Figura 1: Ciclo petrológico formulado por Hutton a finales del siglo XVIII y que explica el origen de los tres grandes grupos de rocas que constituyen nuestra corteza (ígneas, metamórficas y sedimentarias)

Las grandes ideas de la Geología

Los accidentes que podemos observar en la superficie de la Tierra, como cadenas montañosas, volcanes, fracturas o fallas del terreno, nos brindan testimonio de que ésta no se comporta como un cuerpo inmóvil y estable, sino que ha estado en continuo movimiento desde su formación. La idea de que los actuales continentes se han movido a lo largo de la historia geológica se conocía desde tiempos muy lejanos. Desde que las costas del Atlántico fueron cartografiadas, hace más de cuatro siglos, destacados observadores como Bacon, Placet y Bufon debatieron algunas teorías sobre la formación de la Tierra. Sin embargo, los geólogos y geofísicos tardaron muchos siglos y discutieron intensamente a lo largo de la segunda mitad del siglo XX para que, gradualmente y con fuerza recién a partir de 1960, muchos empezaran a creer y construir esta nueva teoría.

Las primeras ideas sólidas sobre la evolución de la Tierra se las debemos a **James Hutton** en el siglo XVIII. Seguramente no todos coincidan con esa afirmación. En su obra **Teoría de la Tierra** de 1795 nos propone a la Tierra como un sistema dinámico que funciona como una especie de máquina térmica, definiendo la existencia de ciclos de sedimentación, de elevación de montañas por acción del calor interno y de erosión de materiales. Propuso Hutton, tal como lo vimos, la existencia de tres grandes tipos de rocas cuyo origen explica a través de un proceso de reciclaje continuo de la corteza. En su **Ciclo Petrológico**, propuso que las rocas que asoman a la superficie terrestre primero se meteorizan y alteran convirtiéndose en fragmentos o sedimentos, materiales susceptibles de ser luego transportados por agentes como ríos, deltas, corrientes costeras o lagos, para ser al fin enterrados o depositados en cuencas sedimentarias, lugares deprimidos de la corteza terrestre (mecanismo de formación de las rocas sedimentarias). A través de un proceso de enterramiento profundo, esas rocas sedimentarias sufren un conjunto de transformaciones debido a procesos de presión y temperatura, principalmente, que ocurren en el interior de la corteza (mecanismo de formación de las rocas metamórficas). Por último, esos mismos procesos de enterramiento profundo pueden llevar a la fusión parcial o total de los materiales (mecanismo de formación de las rocas ígneas o magmáticas). Los procesos geológicos en el interior de la corteza pueden deformar los materiales e inclusive, según Hutton, generar movimientos de ascenso hasta

llegar a la formación de cordilleras. En el Ciclo de Hutton, las rocas que son expuestas a los procesos de meteorización son erosionadas, transportadas y depositadas para dar inicio a un nuevo ciclo petrológico. Si me permiten, y tal como lo han señalado otros, la moderna Tectónica de Placas podría ser vista como la modificación a gran escala del Ciclo de Hutton.

Es importante que les comente, para situarnos en el contexto social y científico de la época, que las ideas de Hutton fueron consideradas, en su momento, una herejía. Recordemos que en el siglo XVIII y buena parte del XIX, la mayoría de los científicos pensaban que las rocas, todas, eran el resultado de la precipitación en un océano primordial o universal. Por cierto, esta idea estaba muy relacionada al relato bíblico del Diluvio Universal. A esta corriente se le conoció como Neptunista (Neptuno: Dios del Mar) mientras que a su opositora como Plutonista (Plutón: Dios de las Profundidades).

Otras dos grandes corrientes de pensamiento del siglo XIX, ligadas a la controversia entre plutonistas y neptunistas, se confrontaban sobre de qué forman se procesaban y sucedían los eventos geológicos. Los catastrofistas, liderados por el francés **Georges Cuvier**, explicaban los principales acontecimientos geológicos como producto de grandes catástrofes o sucesos muy rápidos en lo temporal, proponiendo incluso eventos o fenómenos naturales de intensidad desconocida en el presente. En contraposición, los uniformistas, que tienen al inglés **Charles Lyell**, autor de “**Principios de Geología**”, una de las obras más importantes de la geología de todos los tiempos, como principal figura, defendían la posibilidad de recurrir a los procesos que actualmente ocurren y operan sobre la Tierra. El uniformismo y gradualismo son conceptos muy arraigados en el pensamiento de Lyell e influyeron decididamente en los geólogos de la época, en particular, en su amigo Charles Darwin. De esta forma, el uniformismo considera que en la naturaleza existe una uniformidad de las leyes físicas, de los procesos, de las condiciones y de los ritmos a través del tiempo. Hay una frase que nos enseñan a todos en las universidades del mundo que resume esa línea de pensamiento: “ el presente es la clave del pasado”. Muchos se la atribuyen a Lyell en forma incorrecta.

Dijimos ya que la Tectónica de Placas explica satisfactoriamente la génesis de las grandes cadenas montañosas entre otras muchas cosas. Eso lo veremos más adelante pero primero ¿cómo se explicaba la formación de las montañas en el siglo XIX?. Debemos recordar que la concepción de la Tierra en esa época (siglo XIX) gira en torno de la **teoría contraccionista**, cuyo postulado había sido enunciado con destaque por **James Dana**. Sostuvo que la contracción continua de la Tierra rígida era producto de su progresivo enfriamiento desde su origen. La idea de una Tierra originalmente incandescente que se enfría paulatinamente no era novedosa e inclusive había sido tomada en cuenta por Bufon para estimar la edad de la Tierra experimentalmente. Un experimento con bolitas de hierro de diferentes diámetros que eran supercalentadas y calculándose luego el tiempo de enfriamiento para los distintos diámetros a efectos de establecer alguna relación que permitiera extrapolarla con el diámetro terrestre.

Una forma muy común para ilustrar de qué manera los contraccionistas explicaban el mecanismo de formación de las cordilleras y las montañas es utilizando la analogía de la manzana. Cuando se produce la deshidratación de una manzana, el proceso de pérdida de agua genera que la cáscara se arrugue. Así, la cáscara tendría un comportamiento análogo al de la parte más exterior de la Tierra, denominada corteza. Esta simple idea daba pie a la **teoría del geosinclinal**, la que lograba explicar “satisfactoriamente” hasta aproximadamente 1950 cómo se formaron las cordilleras y qué tipos de movimientos se producían en el interior de la Tierra. Paralelamente, se desarrollaba y afinaba otro importante concepto de la época: la

isostasia. En el siglo XVIII, en una expedición científica francesa a Perú liderada por un señor llamado Bouguer, demostró que la cordillera de los Andes ejercía una fuerza de atracción gravitacional menor a lo que era esperado para dicho volumen rocoso. Casi un siglo después, un señor Everest hizo la misma observación en el Himalaya. En esa época, fue sugerida la hipótesis de que las grandes montañas tendrían menor masa (atracción gravitatoria) que las áreas adyacentes. La explicación vino por parte de **George Airy** y **John Pratt** que crearon el concepto de isostasia para describir ese fenómeno. La **teoría de la isostasia**, que se apoya en el principio del equilibrio hidrostático de Arquímedes, postula una corteza terrestre como un conjunto flexible que permanece en equilibrio dinámico con el manto situado por debajo. De esta manera, en una región donde existe una cadena montañosa, el peso se compensa con un empuje vertical ejercido por el manto. Todo esto suponía una corteza de densidad menor que la del material infrayacente.

En 1859, el geólogo **James Hall** sugirió que los sedimentos producidos por la erosión de los continentes se depositan en cuencas oceánicas paralelas a los márgenes continentales. Esas grandes cuñas sedimentarias eran luego sometidas a procesos de soterramiento donde sufren procesos de litificación (transformación del sedimento en roca) y, al seguir ganando profundidad en el interior de la corteza, sufren metamorfismo, magmatismo y levantamiento dando lugar así a otra cadena montañosa. **James Dana** complementó esa idea postulando que los sedimentos depositados en las márgenes oceánicas paralelas a los bordes de grandes cadenas montañosas constituyen cuencas sedimentarias marinas que sufren procesos de hundimiento a medida que reciben más aporte de sedimentos producto de la erosión de las cadenas montañosas vecinas. Este proceso de intensa denudación de una vieja cadena montañosa provocaría una respuesta vertical, hacia arriba, de la corteza para compensar la pérdida del material rocoso erosionado. A las cuencas sedimentarias se las denominó **geosinclinal** y a las cordilleras circundantes geoanticlinales. Por último, la teoría del geosinclinal postula que los materiales sedimentarios se hunden por su propio peso, se funden y generan magmas que ascienden dando lugar a rocas volcánicas. Esta simple teoría explicaba así “satisfactoriamente” las grandes deformaciones de rocas sedimentarias que se veían a lo largo de la cadena Alpina, del Himalaya o de los Andes.

La deriva de los continentes.

Vimos cuáles eran las principales ideas vigentes durante el siglo XIX y buena parte del XX. Teoría de la contracción, Gradualismo, Uniformismo, Ciclo petrológico, Teoría del Geosinclinal y Teoría de la Isostasia. En el año 1912, un señor alemán llamado **Alfred Wegener**, meteorólogo, es invitado a dar una conferencia durante una reunión anual de la Unión Geológica Alemana. Se presenta ante su comunidad y explica y postula lo que luego se daría en llamar la **Teoría de la deriva continental**. Básicamente, su hipótesis sostenía que la distribución geográfica actual de los continentes no había sido la misma a lo largo de la evolución geológica de la Tierra. Sostenía que las masas continentales, los continentes, estaban sujetos a distintos tipos de fuerzas que provocaban su desplazamiento horizontal. No debemos olvidar que el paradigma científico de la época, la Teoría de la Contracción, no permitía concebir grandes desplazamientos horizontales! Wegener postulaba que los actuales continentes habían estado unidos hacia finales del período Carbonífero, en un gran supercontinente denominado Pangea (del griego “toda la tierra”), para luego comenzar un largo proceso de fragmentación, desagregación y deriva. Hoy reconocemos que esa desagregación de Pangea dio origen a dos grandes masas continentales. Una al sur denominada Gondwana y otra al norte, Laurasia. Los procesos de fracturación, desagregación

y deriva afectaron luego a estas dos masas continentales en forma independiente dando lugar a la configuración y distribución de los continentes tal cual hoy conocemos. En la concepción de Wegener, los choques de los continentes durante la deriva eran los que provocaban la formación de las cadenas montañosas. Durante 1912, Wegener dicta dos conferencias sobre este asunto y si bien en un primer momento recibió reacciones positivas y negativas por parte de algunos geólogos y geofísicos, obtuvo luego el más absoluto de los rechazos.

Estalla la Primera Guerra Mundial y Wegener va al campo de batalla en 1913 y 1914. Es herido de bala gravemente en el cuello, trasladado a un centro hospitalario y aún reponiéndose de las heridas escribe la primera edición de su libro en el 1915. En esta primera edición del libro "**El origen de los continentes y los océanos**", tal como señalamos, proponía la unión de todos los continentes hace algo así como 230 millones de años (Permo-Carbonífero) en un gran supercontinente llamado Pangea. Utilizó un conjunto de argumentos geodésicos, paleontológicos, geológicos, geográficos y paleoclimáticos, para sostener la idea fundamental de que, en un determinado momento de la historia geológica, las masas continentales habían permanecido unidas. Wegener intentó incluir, de alguna forma, ideas sobre qué tipos de mecanismos podrían causar la deriva de los continentes, es decir, su forma de desplazamiento en la horizontal. Sin embargo, no logró convencer a la comunidad geofísica y geológica sobre el mecanismo y las fuerzas capaces de provocar los grandes desplazamientos horizontales de los continentes en la superficie del globo.

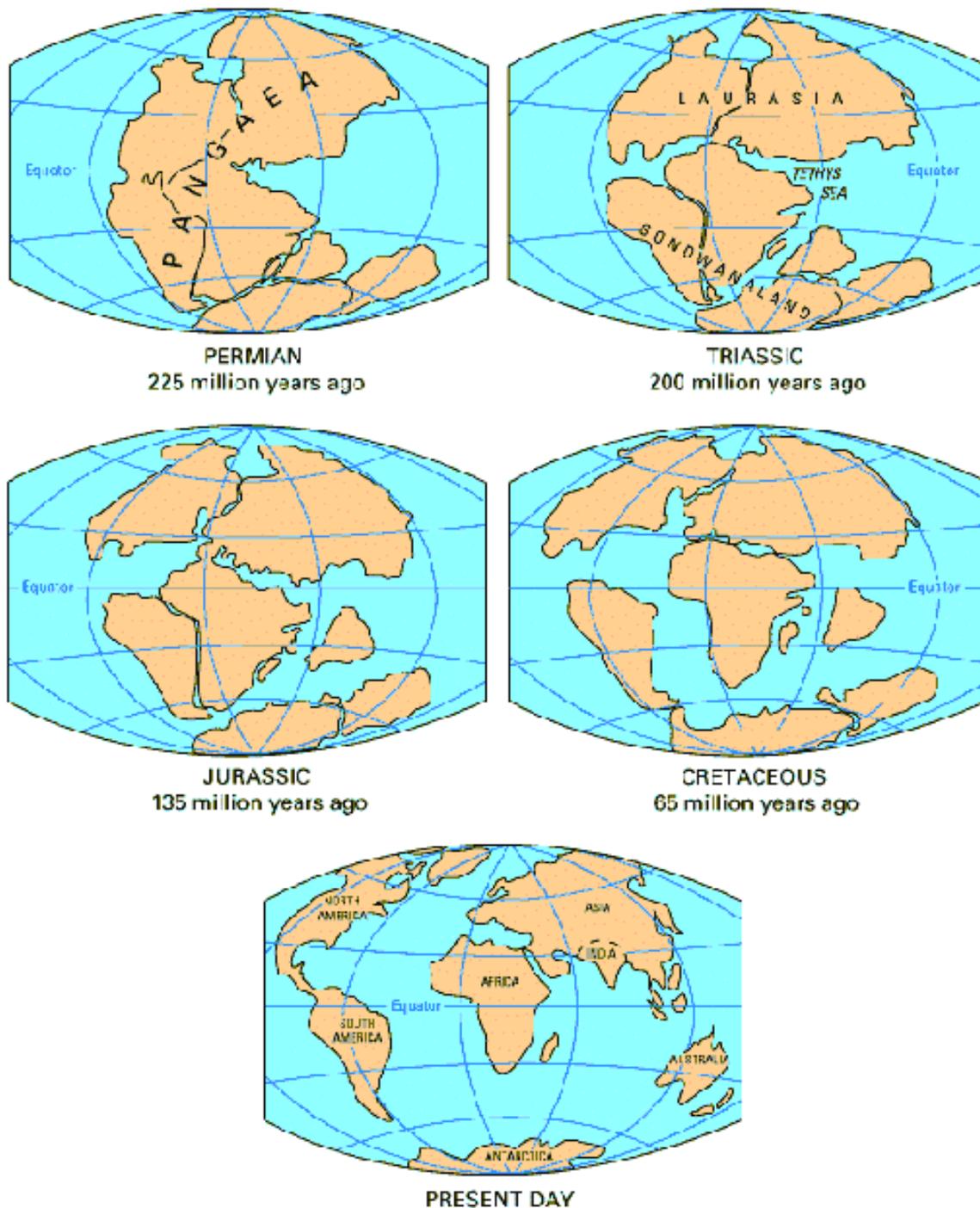


Figura 2.- Evolución de las masas continentales propuesta por Wegener.

Uno de los grandes méritos que hay que reconocerle a Wegener fue su capacidad de reunir y ordenar, de todos los lados posibles, las distintas evidencias que servían para apoyar sus ideas, su teoría. El libro "El origen de los continentes y los océanos" tuvo cuatro ediciones mientras Wegener vivió, lo que le permitió ir mejorando y modificando algunos de los criterios expuestos en su primera edición.

Evidencias en pro de la Teoría de la deriva continental.

¿Qué antecedentes consideró Wegener para la formulación de su teoría? Un antecedente que tuvo en cuenta fue la propuesta de la separación de los continentes realizada por Sneider-Pellegrini en 1858 en su trabajo "La creación y sus misterios develados". Sneider tras observar las similitudes geográficas entre las costas de Europa y África y las de América, que permitiría encastrar una con otra, sumado a la analogía entre algunas asociaciones florales fósiles existentes a ambos lados del Atlántico, propone la existencia de un solo continente, relacionando la creación del Atlántico con el Diluvio Universal. Otro trabajo que ha de haber tenido en cuenta, aunque no lo haya citado en su libro, fue "Síntesis sobre el Cretácico de África", donde ya se comparaban las similitudes paleontológicas entre África y América. Los estudiosos de esta controversia geológica se refieren a este último como el trabajo que suministró el principal conjunto de datos para el dictado de sus conferencias. Un trabajo que seguramente influyó en el pensamiento de Wegener, a pesar de que él lo negó en su cuarta edición pero lo citó en su primera conferencia, fue el de F. Taylor, un geólogo norteamericano, que ya proponía un mecanismo de formación de montañas a través de colisiones continentales. Taylor se basó fundamentalmente en la comparación geológica y estructural de las cordilleras de montañas de la costa de occidental de Groenlandia y nororiental de América del Norte.

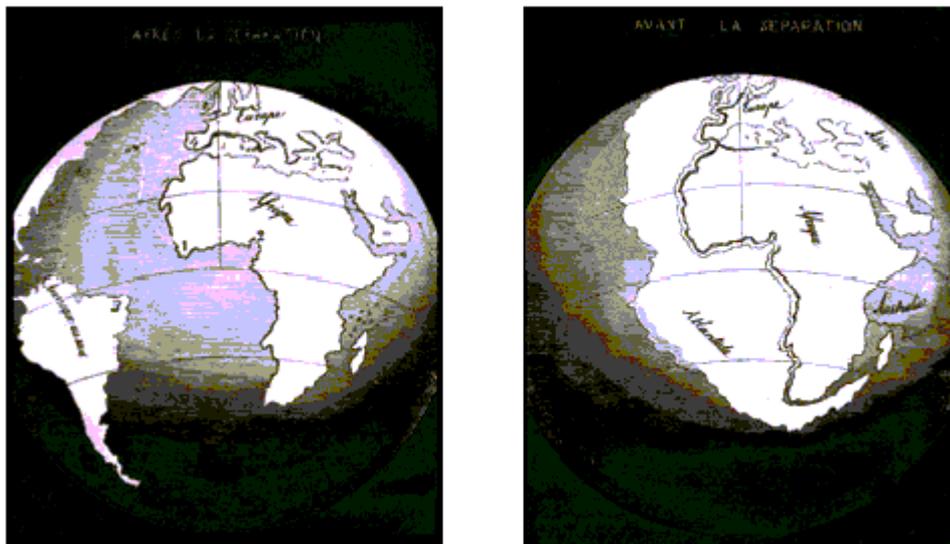


Figura 3– Sneider-Pellegrini en su reconstrucción antes y después de la separación (*La creación y sus misterios develados*, de 1858)

Dos personajes que tuvieron mucho que ver en la mejora argumental de las ediciones posteriores del libro de Wegener son Juan Keidel y Alex Du Toit. El primero, un geólogo alemán que emigra y se convierte en uno de los pioneros y más importantes geólogos de Argentina, fue un destacado profesor de la Universidad de Buenos Aires. Keidel fue un férreo defensor de la Tectónica de Placas y había encontrado varias semejanzas entre la geología de la región austral de la provincia de Buenos Aires y la de la región del Ciudad del Cabo en Sudáfrica. El segundo, un geólogo sudafricano, de origen flamenco, brindó importantes evidencias de la existencia de Gondwana proporcionando fuertes herramientas geológicas, paleontológicas, estratigráficas y estructurales a favor de las ideas del Wegener. Du Toit publica su obra sobre las similitudes entre África y América del Sur ("**Comparaciones geológicas entre Sudamérica y África**") en 1927, la que es recogida en la cuarta edición de

Wegener. Es importante remarcar que el libro de Du Toit hace referencia a la geología y paleontología uruguaya en varios pasajes de su libro.

Las principales evidencias que tenía Wegener eran: **geométricas**, teniendo en cuenta no solamente la parte de los continentes que emergían sino también la parte de los continentes que conforman las plataformas continentales; **paleontológicas**, remarcando las similitudes en un conjunto de faunas y floras de distintas edades, algunas correspondían al Permo-Carbonífero, otras al Triásico. Unos pequeños reptiles, llamados Mesosaurus, que aparecían en las rocas sedimentarias del territorio brasileño, uruguayo, argentino y en Sudán, jugaron un rol protagónico en el análisis. Asimismo, fue igualmente importante la existencia de plantas similares en las rocas de edad carbonífera de América del Sur, África, India y Australia, como es el caso del género Glossopteris. Otra evidencia fue la presencia de otro reptil, esta vez del Triásico, en África, Madagascar e India, conocido por el nombre de Lystrosaurus. Estos datos prueban que habían tenido ecosistemas idénticos para el desarrollo y evolución de algunas formas animales y vegetales, lo que podría explicarse por haber estado unidas esas masas continentales en tiempos pasados. Otro conjunto de evidencias que Wegener tuvo en cuenta, como un capítulo independiente, eran las **paleoclimáticas**. Para reconstruir los climas en el pasado, por ejemplo utilizó las rocas de origen glaciar. Supuso que había un gran polo de dispersión de material glaciar en lo que hoy sería el sur de África, que desparramaba materiales hacia el Oeste, Norte y Sur. En Uruguay, Brasil y Argentina ya se conocían medianamente bien la existencia de registros glaciares durante el Permo-carbonífero. A Wegener se lo conoce como uno de los pioneros de la Paleoclimatología, pues, además del libro "El origen de los continentes y los océanos", escribió otra importante contribución sobre el tema en coautoría con W. Koopen, **"El clima en el transcurso del tiempo"**.

Dentro de las evidencias **geológicas**, nuevamente colocando las similitudes entre África y América del Sur, había un conjunto de asociaciones de rocas que eran de un notable parecido para varios momentos de la evolución terrestre. Los terrenos Permo-Carboníferos (fundamentalmente las rocas de origen glaciar); los terrenos Triásicos (rocas sedimentarias arenosas y rojizas que habían sido parte de extensos campos de dunas en un gran desierto común), los basaltos del Cretácico (importantes lavas que cubrieron más de un millón de kilómetros cuadrados con espesores que superaban los mil metros), eran todos ejemplos que apuntaban a que estos continentes, alguna vez, habían formado parte de una misma masa continental.

Hasta el siglo XIX había dos posibilidades para explicar las similitudes entre África y América del Sur: hundiendo un continente existente entre esas tierras, o que hubiera existido alguna forma de comunicación a través de puentes intercontinentales (pequeñas islas). Esas eran las dos formas que biólogos y paleontólogos reconocían o debían admitir como existentes para explicar las similitudes faunísticas y florísticas entre lugares tan alejados. De estas dos ideas, la que sobrevivió hasta la tectónica de placas fue la de los puentes intercontinentales, es decir, la existencia de pequeñas islas o continentes que unían por medio de un brazo África y América del Sur permitiendo la comunicación. Otras fuertes evidencias fueron de índole geotectónica, es decir, al analizar y estudiar los diferentes cadenas montañosas a ambos márgenes de algunos continentes. Groenlandia y América del Norte por ejemplo, tal como lo mencionó Taylor, o las montañas de América del Sur y la zona del Cabo de Buena Esperanza en África.

¿Cuáles eran las fuerzas que impulsaban el movimiento horizontal de los continentes?

Wegener, como ya dijimos, dedicó un capítulo completo de su libro para intentar explicar las causas del desplazamiento horizontal de los continentes. La concepción que se tenía sobre la naturaleza de la estructura interna de la Tierra hasta los años 1960 era la de una corteza continental constituida por granitos, llamada SIAL (sílice y aluminio), que se apoyaba sobre una corteza oceánica basáltica de menor densidad que la granítica, llamada SIMA (sílice y magnesio). A principios del siglo XX, a través del estudio de la propagación de las ondas sísmicas por el interior de la Tierra que provocaban naturalmente los terremotos, se logró conocer el comportamiento geofísico del interior de la corteza y esto, a su vez, permitió ajustar el modelo de la estructura de la Tierra en capas concéntricas (Corteza, Manto y Núcleo). Con el desarrollo de los sismógrafos y el estudio de las ondas que se propagaban por el interior de la Tierra durante los terremotos, Oldham en 1906 demostró que la existencia de un gran núcleo central, Mohorovicic en 1909 infirió una discontinuidad en la base de la corteza que hoy lleva su nombre y Gutenberg en 1914 descubrió la localización de esa discontinuidad entre manto y núcleo a casi 3000 km de profundidad. Veamos la figura que ilustra ese conjunto de grandes discontinuidades presentes en el interior de la Tierra.

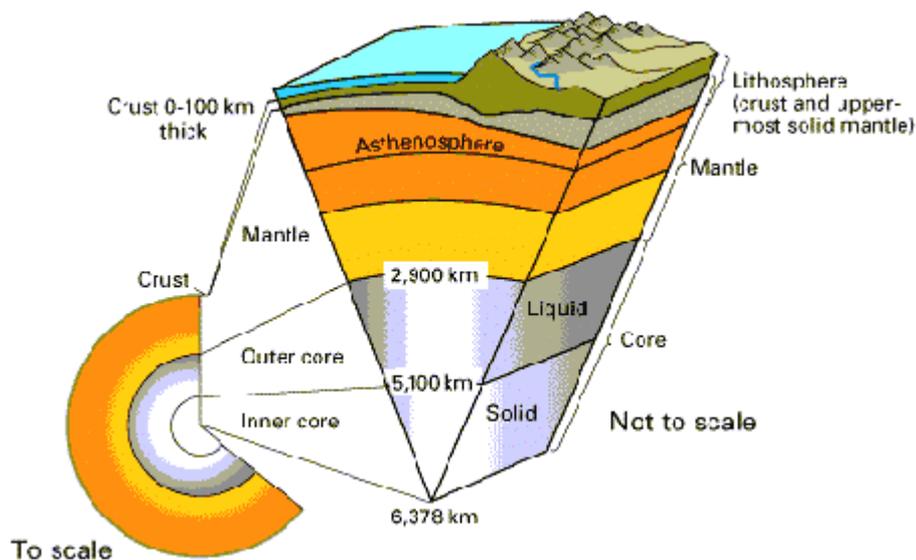


Figura 4. Esquema de la estructura interna de la Tierra. Recordemos que la litosfera comprende la corteza (continental u oceánica) y el manto litosférico.

Volviendo a Wegener, en el capítulo 9 de su cuarta edición trata sobre las fuerzas del desplazamiento. En esta época, cuando su teoría había sido totalmente desechada y prácticamente nadie hablaba de ella, señaló lo siguiente: *"Aún no ha aparecido el Newton de la Teoría de los desplazamientos. Pero no nos debemos preocupar por su ausencia, ya que la teoría es joven.... En cualquier caso, es muy probable que aún tengamos que esperar mucho tiempo para resolver el problema de las fuerzas causales del desplazamiento...."*. Se podría decir que hasta hoy se sigue esperando una explicación sólida de cuáles y cómo son los mecanismos que llevan a los continentes a desplazarse sobre la Tierra, lo que constituye uno de los grandes desafíos que enfrenta la Tectónica de Placas hoy por hoy.

Según Wegener, había dos formas posibles de desplazamiento de continentes: a) la deriva hacia el Oeste de los bloques continentales por la tracción mareal producida por la

conjunción Luna-Sol, y b) la deriva de los continentes hacia el ecuador producida por la fuerza gravitacional. Ninguna de las hipótesis convenció a nadie. Pero ¿cuán cerca estuvo Wegener de apoyarse en los mecanismos que concebimos hoy para la Tectónica de Placas? En uno de sus pasajes del capítulo 9 señala: "***la variación de la profundidad parece sugerir también que la elevación central del Atlántico debería considerarse como la zona en la cual el fondo del océano, al seguir extendiéndose, se desgarró continuamente....***"

Esas dos fuerzas propuestas, tal como acabamos de decir, fueron totalmente rechazadas como causales del desplazamiento continental. Wegener fue ridiculizado. Luego de su muerte, la mayoría de los historiadores de la ciencia, sobre la base de los diarios de la época, dicen que él no pudo dar clases en Alemania precisamente por sus ideas sobre la deriva continental y que jamás logró tener una cátedra de geología. Wegener se exilió voluntariamente desde el punto de vista académico en Austria, en la Universidad de Graz, donde sí pudo tener una cátedra. Si se leen las crónicas de la época a su muerte, se verá que se le reconoce como un gran meteorólogo y un gran explorador (estuvo en las principales campañas de exploración del Polo Norte, batió un record mundial de travesía en globo y encontró la muerte en una expedición al Polo Norte!) pero no por sus aportes sobre la Deriva de los Continentes.

Extensión y expansión del fondo oceánico.

Terminada la Segunda Guerra Mundial nadie creía en la idea de los desplazamientos horizontales de los continentes. Con el fin de la Guerra, se inició un conjunto de investigaciones que brindarían pruebas irrefutables sobre la movilidad horizontal. La investigación sobre **la naturaleza del fondo oceánico** que intenta caracterizar el relieve y topografía de los océanos surge como una clara necesidad de la estrategia militar de la posguerra. Se veía en los submarinos, que habían jugado un papel destacado pero no fundamental en la Segunda Guerra, una de las armas más importantes del futuro. Así los rusos y norteamericanos volcaron esfuerzos económicos y técnicos para el desarrollo de submarinos de propulsión nuclear capaces de transportar y lanzar misiles nucleares. El Nautilus fue el primer submarino a propulsión nuclear y estuvo operativo en 1954! Pero las rutas marítimas debían conocerse con rigurosidad y la investigación del fondo oceánico tenía en este conocimiento uno de los objetivos fundamentales. Sabemos además hoy que la Oficina de Investigación Naval Americana tenía previsiones optimistas en sus estudios sobre hidrocarburos en las plataformas continentales. Y tuvieron razón.

El conocimiento pionero sobre la naturaleza del fondo oceánico fue realizado a fines del siglo XIX con el viaje del Challenger (1872-1876) quien, al servicio de la corona inglesa, realizó mediciones batimétricas y dragado de los océanos Atlántico y Pacífico. Ya habían surgido antes de esa expedición algunos interrogantes sobre la naturaleza del relieve de los océanos cuando, por ejemplo, en 1866 se lleva a cabo una de las máximas aspiraciones en el campo de las comunicaciones mundiales. Se tendió un cable telegráfico submarino que unió Europa y América. Si bien las dificultades fueron muchas (entre otras, las ocasionadas por el propio desconocimiento del relieve submarino), gracias a la utilización del mayor buque a vapor disponible en la época, el *Great Eastern*, se completó el tendido de un cable transatlántico entre Irlanda y Terranova. Desde ese momento, los mercados bursátiles de Londres y Nueva York se comunicarían a diario hasta nuestros días para conocer cualquier tipo de variación.

De los estudios oceanográficos de posguerra se obtuvo un mapa topográfico detallado del fondo de los océanos donde se reconoce la existencia de grandes cordilleras o dorsales

mesoocéánicas, como la del Atlántico, la del Pacífico y la del Indico, y enormes fosas como la de las Marianas en el Pacífico, conocida ya desde la misión del Challenger. Como resultado, se demostró la existencia de enormes cordilleras submarinas que pueden extenderse con gran continuidad a través de varios miles de kilómetros y tener alturas de hasta 3500 a 4000 metros, mientras que las fosas oceánicas pueden alcanzar profundidades de más de 10.000 metros.

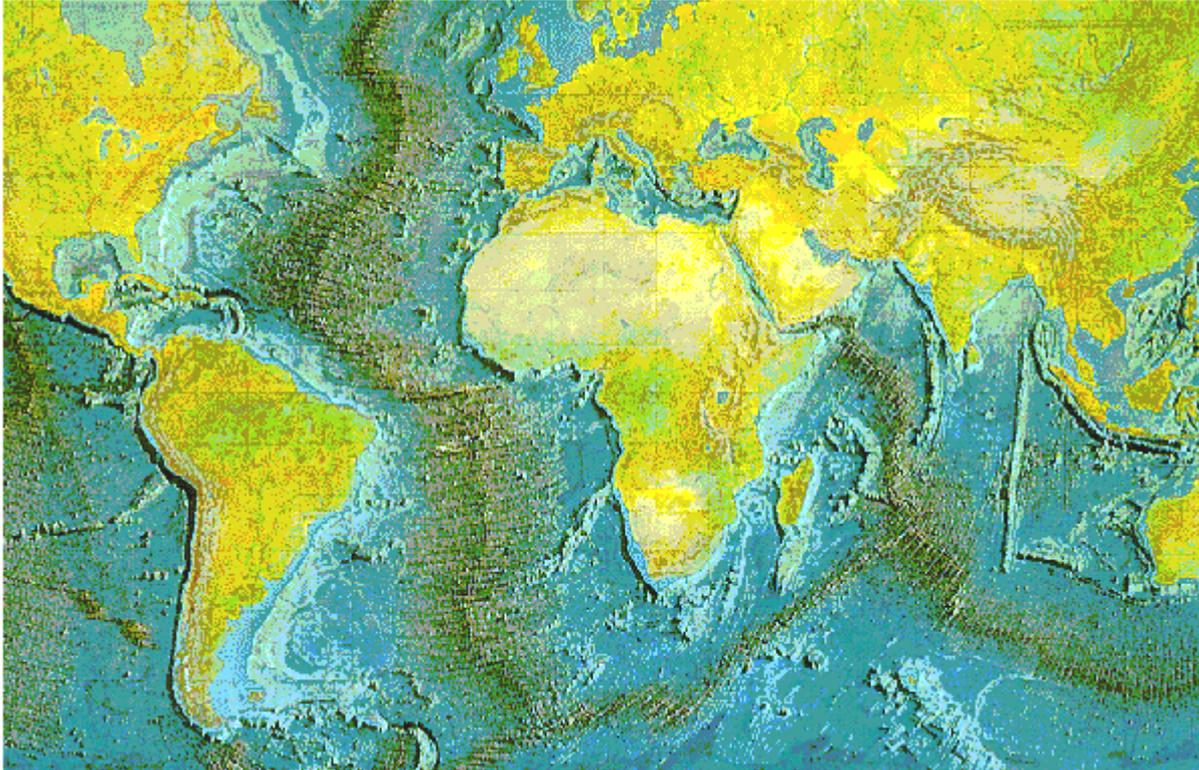


Figura 5. Mapa del mundo que muestra los principales rasgos del relieve oceánico producto de los estudios oceanográficos de las décadas del 50 y 60 (fuente: USGS)

¿Que otra cosa se hizo durante el estudio de la naturaleza del fondo oceánico? Desde mucho tiempo, los geólogos suponían que las rocas del fondo oceánico eran basaltos, una roca volcánica silicática rica en magnesio y hierro y pobre en sílice (que constituye el denominado SIMA). Estas rocas son más densas que las rocas predominantes en los continentes, de naturaleza “granítica” (el famosos SIAL destronado por la tectónica de Placas al igual que el SIMA). De ahí que se pensaba que el SIAL se apoyaba o flotaba sobre el SIMA. Además, a éstas rocas de los fondos oceánicos se las suponía las más antiguas de la Tierra. Es precisamente durante el viaje de otro buque cableero que, en 1874, intentando reparar un cable cortado del fondo del océano Atlántico se extrae el primer trozo de corteza oceánica, un bloque de roca basáltica. La Meseta de Faraday, en el océano Atlántico, recuerda ese episodio.

Por otro lado, se inició en la década del 50 un conjunto de perforaciones y muestreos que alcanzaba a las rocas que tapizaban los océanos. Sobre esas rocas se realizaron estudios paleomagnéticos. Las rocas extraídas se analizaban de forma tal de conocer la orientación del campo magnético terrestre en el momento de su formación, es decir, durante el proceso de solidificación del magma. En síntesis, se extraía un pedazo de basalto y a través de estudios paleomagnéticos se lograba conocer cuál era el campo magnético terrestre en el momento de

solidificar ese basalto. Dos cosas básicas para entender la técnica, por un lado, algunos minerales son susceptibles de ser imantados por el campo magnético que opera en la Tierra en el momento de su cristalización, fundamentalmente los minerales ricos en hierro, y por otro, en la Tierra se producen inversiones periódicas de su campo magnético. Ejemplo, si retrocediéramos en el tiempo aproximadamente un millón de años llevando una brújula con nosotros llegaríamos a tiempo para “observar” y medir la última gran inversión magnética de la que se tiene registro hoy día.

En la reconstrucción realizada por medio del análisis de centenas de muestras, se construyó un mapa de anomalías magnéticas para el fondo oceánico que mostraba la alternancia de inversiones del campo magnético en bandas. Además, se constató un comportamiento de tipo especular con relación a la disposición espacial de las mesodorsales oceánicas, es decir, que a ambos lados de éstas el patrón de las anomalías magnéticas era similar. ¿qué podría explicar el bandeo magnético del fondo oceánico y además, el comportamiento especular a partir de las dorsales mesoocéánicas? Ya se lo van imaginando...

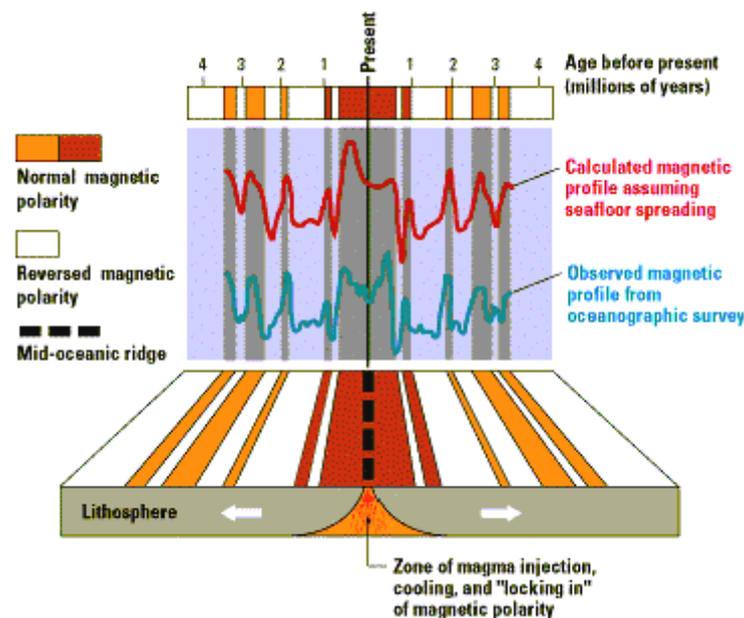


Figura 6. Magnetización del fondo oceánico y su relación con los centros de dispersión del magma en las dorsales mesoocéánicas (fuente: USGS)

Los estudios de esas rocas basálticas del fondo oceánico se complementaron midiendo sus edades absolutas, el tiempo real transcurrido desde su enfriamiento. La geocronología, rama de la ciencia que permite revelarnos la edad absoluta a través del estudio de las relaciones de isótopos existentes en una roca, nos dio la edad de los basaltos de ese fondo oceánico con bandas magnéticas. Estos estudios también mostraban un comportamiento de tipo especular en las variaciones de las edades de las rocas a partir de las dorsales mesoocéánicas, similar al comportamiento de las anomalías magnéticas. Por ejemplo, a medida que nos alejábamos de una dorsal, tanto en dirección a América como hacia Europa, las edades aumentaban paulatinamente desde unos pocos millones de años hasta los 165-170 millones de años. Un dato importante, no había ninguna roca en el fondo oceánico que superara esta edad Jurásica. Aquella idea de que las rocas del fondo de los océanos eran las más antiguas caía definitivamente. Las rocas más antiguas presentes en el fondo oceánico son Jurásicas! Los trabajos más destacados de la época, comunicados al menos, se deben a Fred

Vine y Drummond Matthews de la Universidad de Cambridge explicando el bandeo magnético ya a principios de la década del 60.

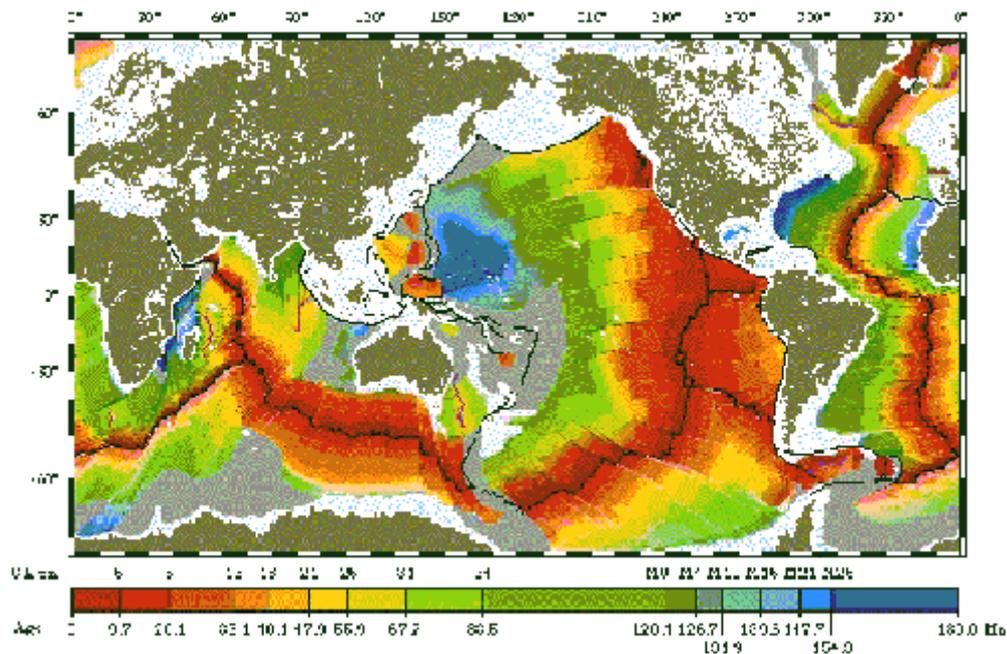


Figura 7. Mapa de distribución de las edades del fondo oceánico. Nótese entre el Oeste de África y el Este de América del Norte el comportamiento de las edades desde la dorsal mesoAtlántica (fuente USGS).

En la década del 60, un profesor de Geología de los Estados Unidos, de nombre Harry Hess, que había servido como militar durante la segunda guerra a bordo de los buques anti-submarinos, fue uno de los responsables científicos en las misiones de exploración del fondo oceánico. Conociendo los importantes datos brindados por la geocronología, paleomagnetismo y la cartografía submarina, Hess formuló lo que se llamó luego **Teoría de la extensión del Fondo Oceánico**. Según ésta, esos importantes accidentes geográficos de los fondos marinos, las dorsales mesoocéánicas eran las regiones de donde salía el material procedente del manto, mecanismo por el cual, en definitiva, se explicó la generación de la corteza oceánica de composición basáltica. Por otro lado, para mantener un lógico equilibrio, si existían lugares donde se generaba corteza deberían existir sitios donde se destruyera. Y así fue!. Por ejemplo, en las grandes fosas submarinas la corteza oceánica más vieja se destruía incorporándose al manto nuevamente. Hess sugirió que se pensara seriamente en aquella frase que dejó inconclusa Wegener sobre las dorsales y que les pedí que registraran con atención al inicio de la clase. En síntesis, para Hess había un lugar en el que se genera rutinariamente corteza oceánica y otros donde se destruía, considerando en definitiva a la corteza oceánica como una gran cinta transportadora. Al mismo tiempo que Hess otro científico de San Diego, Robert Dietz, había formulado una hipótesis similar y a ambos se les reconoce hoy en día como padres del concepto de **extensión del fondo oceánico**.

El paradigma de la tectónica de placas

Durante toda la década del 60, geólogos norteamericanos, franceses e ingleses trabajaron duramente en lo que será, en definitiva, la construcción y formulación de una teoría unificadora sobre la dinámica terrestre. La Teoría de Tectónica de Placas. Debemos recordar y homenajear el rol que jugaron durante el siglo XX varios geólogos sudamericanos y sudafricanos defendiendo las evidencias geológicas y paleontológicas a favor de la Deriva de los Continentes.

La acumulación de datos y de nuevas interpretaciones sobre la naturaleza del fondo oceánico (relieve), la constitución del fondo oceánico (basaltos y cuencas sedimentarias), el bandeo magnético del fondo oceánico (inversiones magnéticas) y la edad de las rocas (más jóvenes hacia las dorsales y más antiguas hacia los continentes, constituyó un cúmulo de datos y evidencias que logró sustituir el paradigma geológico vigente, **la teoría de la Contracción y la teoría del Geosinclinal** por la nueva **Tectónica de Placas**.

¿Qué dice la Tectónica de Placas en su formulación básica?

Que la litosfera, la capa más externa de la Tierra y que posee un comportamiento esencialmente rígido, está dividida en grandes placas (7, 8, 12 o más según los autores), cuyos límites están delimitados por cinturones sísmicos lineales. Las placas litosféricas “flotan” y se deslizan sobre un material menos rígido, más caliente, denominado astenosfera (concepto controvertido). El movimiento de una placa con respecto de otra se produce como respuesta a fenómenos esencialmente de perturbación térmica que ocurre en el interior de la Tierra. Las placas litosféricas pueden estar constituidas, como es el caso de la placa Sudamericana, donde vivimos nosotros, por corteza continental y corteza oceánica apoyadas sobre un manto litosférico común. Nuestra placa tiene un movimiento hacia el Oeste. En otros casos, puede estar integralmente constituida por corteza oceánica sobre el manto litosférico, como por el ejemplo la Placa de Nazca que subduce a la Placa sudamericana al Oeste. A esta interacción se debe el origen de la Cordillera de los Andes, y la gran inestabilidad de corteza en esa región genera terremotos, actividad volcánica y grandes movimientos de Tierra.



Figura 8: Las placas litosféricas en que se puede dividir la Tierra

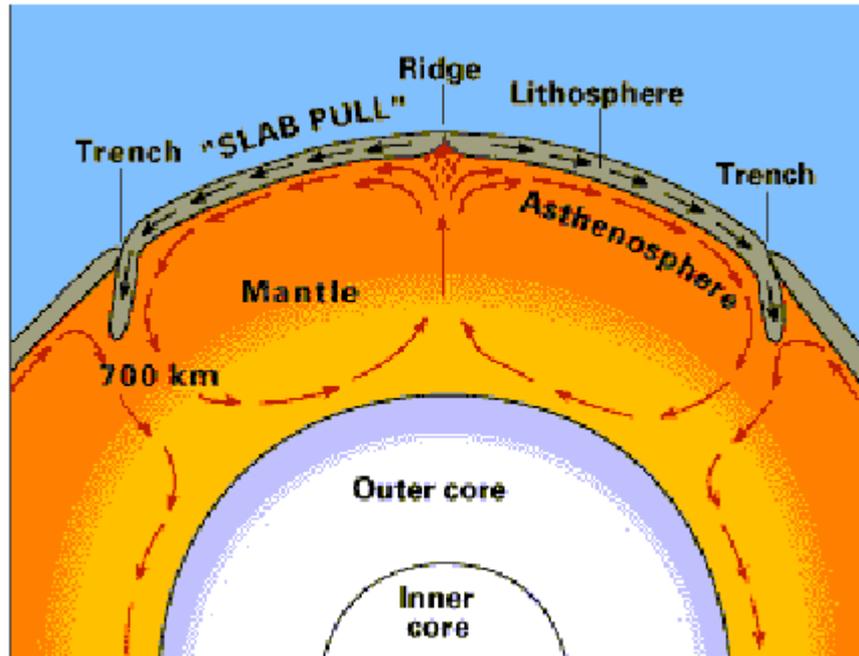


Figura 9. Esquema general del interior de la Tierra según la Tectónica de Placas (áreas de creación de corteza, dorsales = *ridge*, y áreas de destrucción de corteza, fosas = *trench*)

Las placas litosféricas pueden, básicamente, tener tres tipos de desplazamientos o movimientos unas con respecto a otras: **de separación o divergencia**, **de aproximación o convergencia** y **de deslizamiento**.

El caso de un límite de **separación**, se produce en situaciones análogas a lo que ya vimos ocurre en un centro de expansión mesoocénico. El ejemplo sería la separación de la Placa Sudamericana con respecto de la Africana a través de la mesodorsal Atlántica. Ahí encontramos otro lugar de alta sismicidad de nuestra corteza que pasa desapercibido por estar en un océano.

El caso de un límite de placas de **aproximación o convergencia** ocurre cuando una placa choca con otra, básicamente bajo tres situaciones bien distintas. No tendremos en cuenta la velocidad y el ángulo de choque entre placas, lo que genera algún tipo de particularidades. **Un primer caso** se da cuando una placa constituida por corteza oceánica encuentra en su camino una placa constituida por corteza continental; la primera, por ser más densa, se mete por debajo de la segunda en un proceso que se conoce como subducción de placa. Es lo que ocurre al Oeste de la Placa Sudamericana, donde vimos que la Placa de Nazca subduce y se pierde por debajo de la primera. **Un segundo caso** sería cuando chocan dos placas constituidas por corteza continental, no se produce subducción como en el caso anterior por tener la misma densidad generándose sí una gran deformación de la corteza. El ejemplo tal vez más notable sea el choque entre la placa de India y la de Asia que origina las montañas del Himalaya. **El último caso**, sería la colisión de dos placas oceánicas que generan el desarrollo de importantes arcos de islas volcánicas por procesos de fusión y que coinciden con grandes profundidades marinas (ejemplo, Arco de las Marianas en el Pacífico).

El límite de placas vinculado a situaciones de deslizamiento tiene lugar en las fallas transformantes, fallas que afectan la corteza oceánica y separan y segmentan a las propias dorsales oceánicas en observarse en un mapa del fondo oceánico.

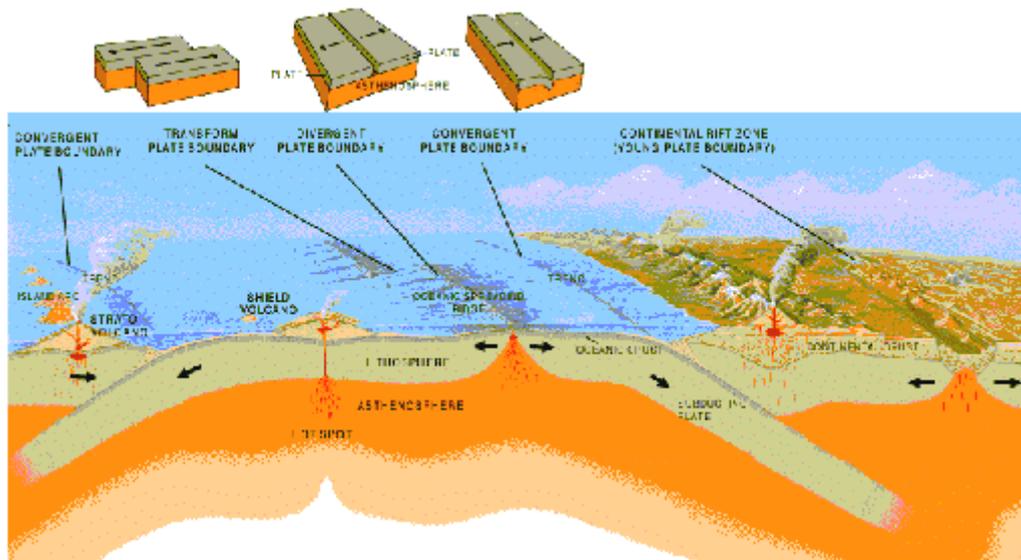


Figura 10. Tipos de límites de placa según la tectónica de placas (transformantes, divergentes o extensivos y convergentes o compresivos)

En todos ellos, es decir bajo cualquiera de las tres situaciones descritas, el movimiento, rozamiento o choque determina que en los márgenes de la placa se concentre mayor actividad sísmica que en cualquier otra región de intraplaca. También, como vimos, se puede producir volcanismo, procesos de deformación de las rocas, generación de magmas. Es la concentración de energía acumulada en los bordes de las placas la que hace que, al disiparse bajo forma de energía sísmica, genere las perturbaciones que conocemos ocurren durante un terremoto. Si observamos un mapa con la distribución de los sismos en el mundo confirmaremos que la inmensa mayoría de éstos se concentran en los denominados límites de placas, cualquiera sea su naturaleza.

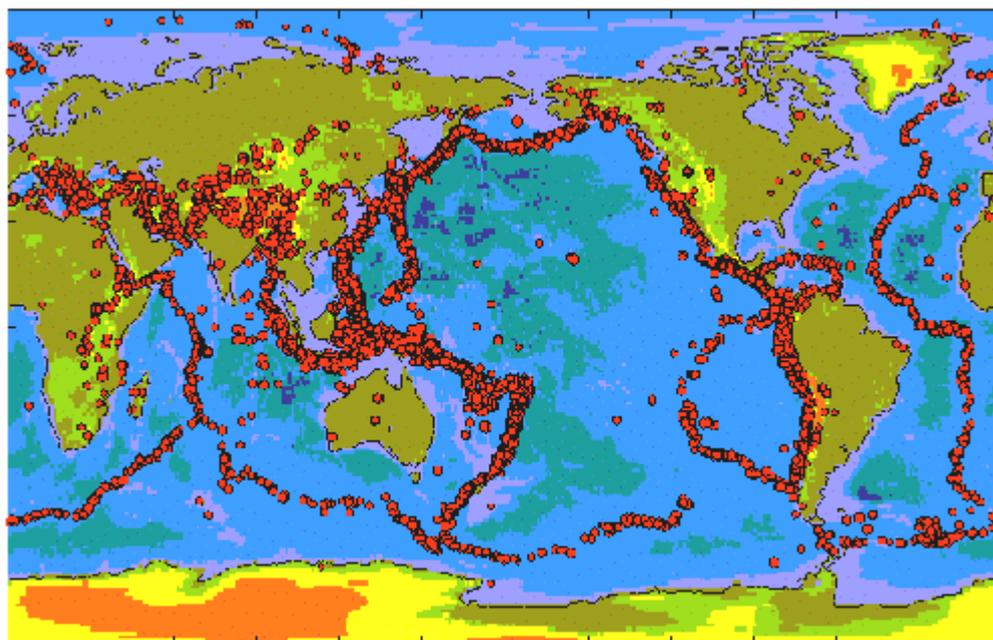


Figura 11– Distribución esquemática de los sismos y terremotos en el mundo. Véase cómo coinciden en su inmensa mayoría con los límites de placa, cualquiera sea el tipo de éstos.

Hoy en día, es fácil reconocer que las placas se mueven. Podemos medir el desplazamiento a través de un “simple” sistema de monitoreo satelital cuyos datos están disponibles para toda la comunidad científica. Actualmente, hay aproximadamente 150 sitios distribuidos por el mundo donde se instalaron bases para GPS (un sistema satelital de geoposicionamiento que permite medir la posición de los continentes y sus desplazamientos). Estas mediciones empezaron en 1976, por lo que ya tenemos casi treinta años de datos sobre la velocidad, tipo y componentes con que se mueve una placa con respecto a otra. Surge de este proyecto internacional datos espectaculares como es el caso de la Isla de Pascua en el océano Pacífico que se aproxima a la costa de Chile (la Placa Sudamericana) a una velocidad de convergencia de 8 cm por año. Otro tipo de datos que está arrojando este proyecto es que no solamente hay convergencia o divergencia entre las placas sino que en el interior de una misma placa pueden medirse acortamientos, es decir, deformaciones. Por ejemplo, entre las ciudades de Santiago y Buenos Aires, situadas ambas en la Placa Sudamericana, se registra una acortamiento de distancia de 2 cm por año.

Ligado a la Tectónica de Placas hay otro concepto en el que debemos reparar, el **Ciclo de Wilson**, denominado así en honor a un geólogo canadiense. Vimos que existen lugares de la Tierra donde se genera corteza (las dorsales mesooceánicas) y también lugares donde se destruye corteza (por ejemplo, las zonas de subducción descritas para el borde Oeste de nuestra Placa Sudamericana). Vimos ya que actualmente es aceptada la idea de Wegener sobre la existencia de un supercontinente denominado Pangea hacia el Carbonífero (220 – 230 millones de años). Vimos que en los fondos oceánicos no existen rocas más antiguas a los 170 millones de años (de edad Jurásica), precisamente, la edad de inicio de destrucción de Pangea. Sabemos desde la década del 50 que la edad de la Tierra es de unos 4.600 millones de años. ¿Qué pasa con la danza de los continentes en esa larga historia de la evolución de la Tierra aún no analizada? ¿Qué pasó antes de Pangea?

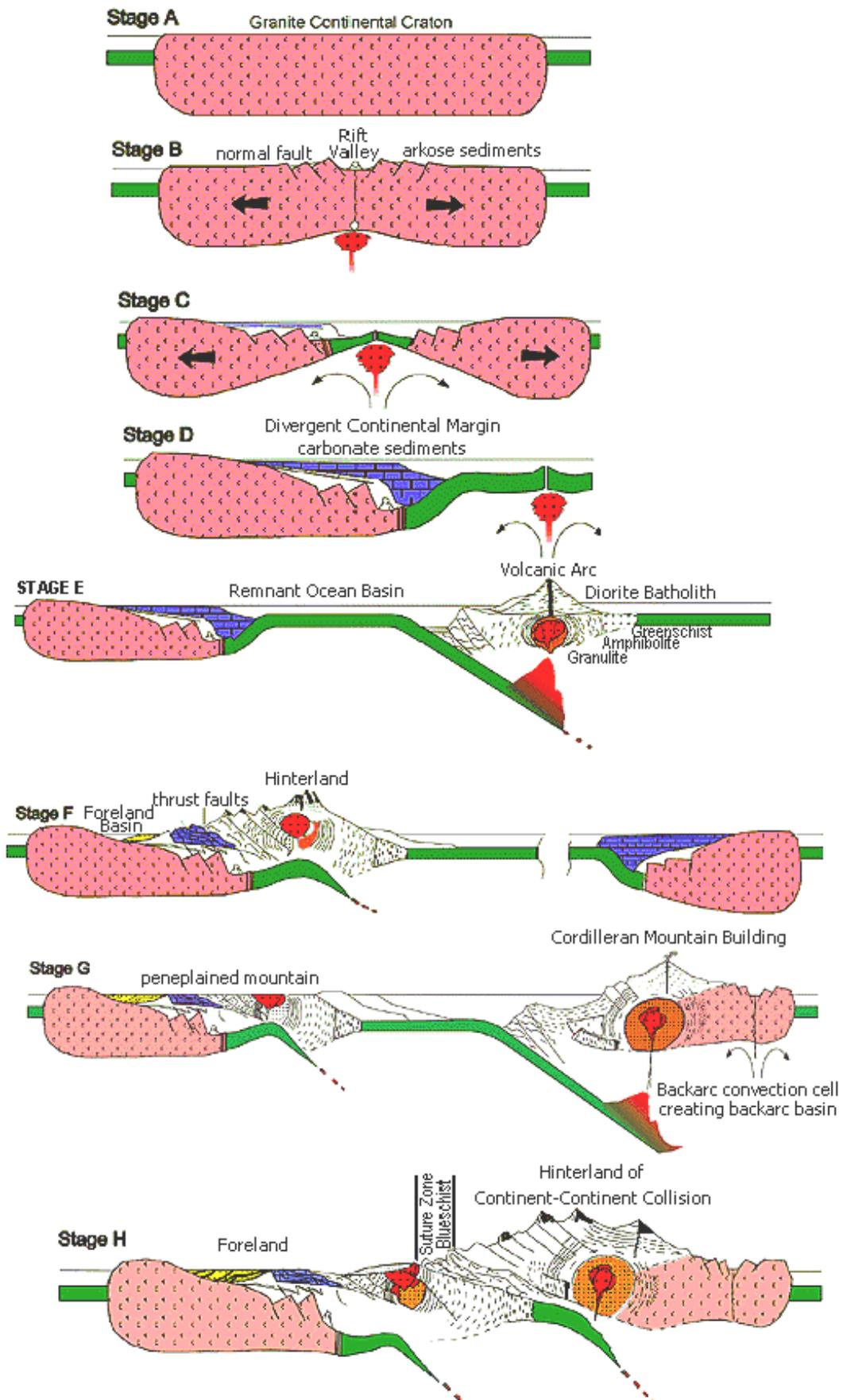


Figura 12– Ciclo de Wilson y sus principales etapas en el proceso de agregación y desagregación continental

Todos los procesos que analizamos con relación a la **Tectónica de Placas** pueden englobarse en lo que se conoce como **Ciclo de Wilson**. Este ciclo recoge la síntesis de los conocimientos que hoy tenemos sobre la dinámica terrestre. La idea básica de Wilson es que la historia de la agregación y desagregación continental es cíclica y ocurre cada 600 a 650 millones de años. Es decir, que si viajamos hacia atrás en el tiempo, cada aproximadamente 600 millones de años estaremos en un momento de agregación continental (formación de un único supercontinente) para luego dar lugar a un proceso gradual de desagregación y deriva de los continentes, y comenzar su acercamiento nuevamente. El Ciclo de Wilson, como muestra la figura, se inicia al fracturarse un supercontinente debido a perturbaciones térmicas en la base de la corteza (procesos de supercalentamiento cortical). Luego que ese foco térmico genera un estiramiento y fractura de la corteza, se da lugar a la formación de extensos valles de rupturas (en la literatura denominados *rift*), que progresivamente puede evolucionar hasta configurar, en su fase de deriva, el nacimiento de un océano.

Los geólogos debemos ver y analizar la historia de esa danza de los continentes durante la evolución de la Tierra en los registros que quedan preservados en los actuales continentes, ya que, como vimos, la corteza oceánica existente en los fondos oceánicos se recicla en forma continua.

Por lo tanto, hoy sabemos que la respuesta a la pregunta que durante mucho tiempo se hicieron los especialistas sobre si la tectónica de placas existió desde los 4600 millones de años hasta Pangea es afirmativa, y que al menos durante buena parte de la historia de la evolución de la Tierra pueden ser reconocidas varias “Pangeas”. Hoy se acepta que hubieron 5 “Pangeas”; una cerca de los 2000 millones de años, otra a los 1500 millones de años, otra a los 1000 millones de años, una cuarta a los 600 millones de años, y la última, que es por nosotros conocida, la Pangea de Wegener, a los 225 millones de años.

¿Porqué se parte un supercontinente? Básicamente hay dos grandes ideas. Una propone que los supercontinentes se fracturan y separan porque las rocas que los conforman (esencialmente de composición granítica, es decir rocas silicáticas ricas en aluminio) son muy malos conductores de calor comparados con las rocas que constituyen el fondo oceánico (basaltos). En estas condiciones, los supercontinentes como nuestra Pangea hacen acumular el calor, y provocan que el material de la base de la litosfera se vuelva menos denso, se abombe, se agriete y se infiltre material fundido. Otro modelo de fractura y separación atribuye la ruptura al movimiento de rotación de la Tierra. Esa gran masa que es un supercontinente adquiere un gran momento angular lo que provoca un campo de esfuerzos intramasa que culmina fracturándolo. Para muchos, estas dos ideas son complementarias.

Por último, quiero hablar un poco sobre las fuerzas que provocan los desplazamientos de los continentes, tema más que controvertido para la Tectónica de Placas. En 1930, el geólogo norteamericano **Arthur Holmes** propuso la existencia de corrientes de convección en el manto cuyo funcionamiento sería similar al de las corrientes de la atmósfera y la hidrosfera. Si me permiten el símil, igual al tipo de mecanismo que se produce cuando se hierve agua en una olla. Hoy en día, gracias a técnicas sofisticadas de adquisición de datos en el interior de la Tierra, por ejemplo con la tomografía sísmica, se conoce un poco mejor que es lo que sucede con esas anomalías térmicas causantes de los desplazamientos de las placas. En el esquema convectivo, se han sugerido básicamente dos modelos: uno en el que el manto está estratificado en dos niveles con dos sistemas convectivos separados y el otro, en el que existe una gran célula convectiva en el manto. Las placas se moverían por combinación de dos

procesos diferentes, la fuerza de arrastre provocada por la subducción de la placa, y por la fuerza de empuje que se origina por el deslizamiento gravitacional en las dorsales.

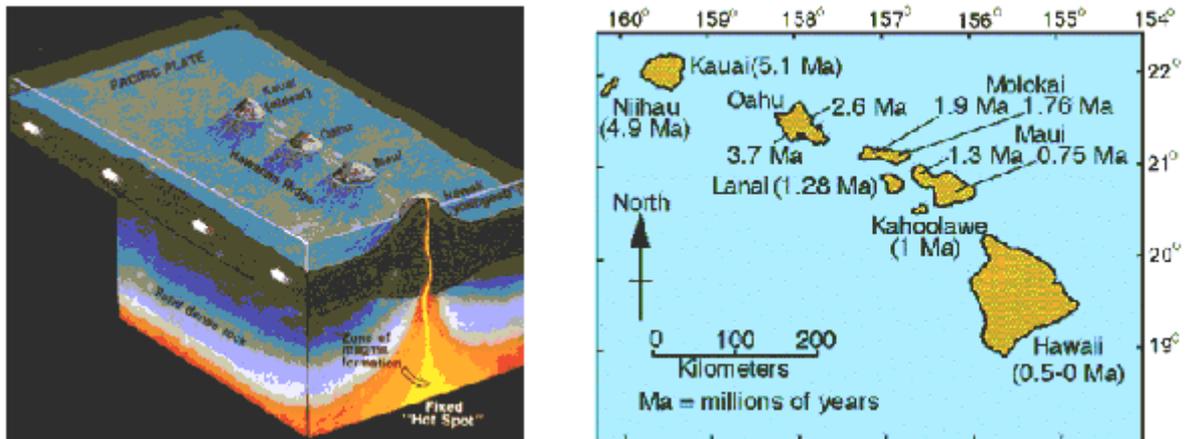


Figura 13. Formación de islas volcánicas de Hawai en el Pacífico a partir del pasaje de una pluma mantélica que afecta la base de la corteza oceánica a medida que ésta se desliza (fuente: USGS)

¿Cuál es la fuente de energía para mover el motor que da lugar a ese desplazamiento horizontal de los continentes? Existirían células de convección cuyas fuentes de calor son fundamentalmente radiactivas. Sería en el núcleo donde se producen esas grandes reacciones y donde se daría inicio a los procesos de convección. Este es un tema en discusión y estamos lejos de develarlo aún. En los últimos años está de propuesta la existencia de una capa D', próxima al límite entre el núcleo y el manto. En esa zona o capa se producirían las grandes reacciones nucleares y con ello el desarrollo de grandes plumas mantélicas que llegarían a perturbar la corteza oceánica y la corteza continental, separando los continentes en los fondos oceánicos. Algunos sostienen que la desviación del eje de rotación de la tierra y el propio magnetismo estaría vinculado a ese contraste grande entre núcleo y manto, y a los procesos físicos que ahí ocurren.

La Tectónica de Placas y su incidencia en la evolución de las ideas científicas

A nadie le cabe duda que el aceptar la Tectónica de Placas trajo aparejado una gran conmoción no sólo en la Geología. Aceptar la deriva de los continentes repercutía y constituía un desafío en otras áreas del conocimiento científico, en Física, en Astronomía, en Biología. Ni que hablar de la importancia que ha tenido en la búsqueda de yacimientos minerales y el rol fundamental en la exploración de hidrocarburos.

Un ejemplo muy particular ha sido el impacto que ha tenido la aceptación de la Tectónica de Placas en la Biología. La idea de que los continentes no han permanecido inmóviles, que los relieves, ambientes, ascensos y descensos del nivel del mar, variación de líneas de costas, comunicaciones intercontinentales, etc., han cambiado a un ritmo importante en los últimos 2.000 millones de años no pasó inadvertido a la hora de explicar la evolución de la vida. Los procesos biogeográficos que se ven influenciados por la tectónica de placas son, por ejemplo, la fragmentación de biotas ancestrales, modificación de barreras y corredores o procesos de intercambio, modificaciones físicas que pueden llevar a la especiación o a la extinción. De hecho, concepciones explicativas de patrones distributivos particularmente complejos, como

aquellos que implican la presencia de taxones filogenéticamente emparentados pero ocupando actualmente continentes separados, se los adscribía a procesos ligados al desarrollo de puentes intercontinentales, único medio posible o imaginable que habría permitido la migración de un sitio a otro, con ulterior desaparición del puente. De este modo, se postularon innumerables puentes, la mayoría sin sustento empírico. Detrás de esta idea se encuentra un modo explicativo ligado a lo que se denomina “escuela dispersalista”, que adscribe todos los patrones distributivos al factor dispersión, generado en realidad por una concepción “inmovilista” del globo.

El advenimiento de la deriva y tectónica en general posibilitó el desarrollo de modelos explicativos adscritos a lo que se denomina “escuela vicariante”, que explica aquellos particulares patrones de distribución como la consecuencia del dinamismo de la corteza. Actualmente, se aceptan ambos procesos para explicar distribuciones pasadas y presentes según el caso. Los estudios del comportamiento de la diversidad biótica a través del tiempo geológico también se han visto beneficiados y fuertemente influenciados por el avance del conocimiento en el campo de la tectónica de placas, dado que se advierte que en momentos de mayor coalescencia de masas emergidas la diversidad biótica –en particular las marinas plataformales- decae debido a la disminución de áreas costeras, ocurriendo lo contrario en los intervalos de tiempo en los que se admite una mayor condición de insularidad de masas emergidas, facilitando procesos evolutivos que dan lugar a formas endémicas, las que contribuyen a incrementar la diversidad global. Un ejemplo de ello lo dan las faunas marinas del Cámbrico y Ordovícico, con altos valores de diversidad, propiciado por el desarrollo de varias masas continentales separadas por cuerpos oceánicos.

A manera de síntesis

A finales de la década del 60 se produce lo que, en epistemología, se denomina como el desplazamiento de la teoría dominante. Pasamos de la Teoría del Geosinclinal y el Contraccionismo a la Tectónica de Placas. A partir de ese momento, todas las viejas ideas sobre la evolución de la Tierra, que habían sobrevivido durante siglos, se derrumban. Debemos reconocer en Wegener a un luchador infatigable que realizó un significativo aporte al establecer las ideas fundamentales sobre el desplazamiento horizontal de los continentes, estableciendo un considerable número de pruebas geológicas, paleontológicas, paleogeográficas y paleoclimáticas que indicaban un registro y evolución común a ambos lados del Atlántico. Esas evidencias presentadas por Wegener nunca fueron refutadas seriamente por sus detractores. Los geólogos y geofísicos norteamericanos ridiculizaron su propuesta considerándola un “cuento de hadas” en el *American Journal of Science* de 1944. Sin embargo, a partir de 1945, los avances en oceanografía física, magnetismo, sísmica y geocronología de las rocas que conforman el fondo oceánico, expusieron una incontrastable fuente de datos, información e interpretaciones que permitieron primero, la formulación de la **teoría de la expansión del fondo oceánico** (Hess – Dietz) y luego un paso decisivo en los trabajos de Vine, Matthews y Wilson, entre otros, que cerraron en sus grandes rasgos la formulación de la **Teoría de Tectónica de Placas**. Hoy en día, con el monitoreo de los movimientos de las placas a través de satélites y el estudio de las profundidades por tomografía sísmica, la tectónica de placas se fortalece pero sigue ofreciendo, como vimos, varios puntos controvertidos en su formulación teórica.

A todos los interesados en comenzar a conocer el problema de forma más ordenada, detallada y precisa les ofrezco esta breve lista de textos en los que se discuten la mayoría de los aspectos de la Tectónica de Placas y que se encuentran disponibles en la biblioteca de nuestra Facultad.

Deriva continental y tectónica de placas, Selecciones de Scientifican American, 2 ed. , 1976, Madrid, pp.271.

La Tierra, selecciones de Scientifican American, 1993, Blume, Barcelona, pp. 321

Grandes controversias geológicas, Anthony Hallam, 1985, Barcelona, pp. 180.

El origen de los continentes y los océanos, Alfred Wegener, 4 ed. Versión original (1915), 1993, Madrid, pp.230.

Tectónica de Placas, J. Jordá Pardo, Ed. Santillana, 1998, pp.112.

Facultad de Ciencias, 30 de septiembre de 1999.

Este modesto aporte no hubiera sido posible sin el esfuerzo de Claudia, quien desgrabó esta charla, y a los docentes del curso “Introducción al estudio de las Ideas Científicas”, Rodrigo y Amílcar, que me confiaron la presentación de un tema apasionante. Les agradezco.