



00357  
2  
71

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**ANALISIS HISTORICO-FILOSOFICO DE LA  
TEORIA DE LA DERIVA CONTINENTAL DE  
ALFRED WEGENER**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
(ENSEÑANZA E HISTORIA DE LA BIOLOGIA)**

**P R E S E N T A**

**BIOL. CARLOS PEREZ MALVAEZ**

**DIRECTOR DE TESIS : DRA. ROSAURA RUIZ GUTIERREZ**

1987

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

A mis padres: Socorro y Carlos†

A mis hermanos: Maty, Rebe, Marce, Ady y Daniel

A mis amigos Alfredo (*Good*), Manuel (*Feriecilla*), Meche, David (*Cape*), Juan (*Mariachi*), Adrian e Isaías con quienes la convivencia en el Museo, la Facultad y de repente en el Río y similares hacen llevadera todas las cosas...

A Sandra, por su amistad y hospitalidad

## AGRADECIMIENTOS

Debo agradecer de manera muy especial, sincera y mi reconocimiento por todo el apoyo recibido para la conclusión de este trabajo, a mi directora de tesis la *Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez*, del Laboratorio de Evolución, Enseñanza e Historia de la Biología de la Facultad de Ciencias, UNAM. Este trabajo forma parte del proyecto PAPIIT IN 300796 "La Recepción del Darwinismo en Iberoamérica. Un análisis comparativo" del cual la Dra. Rosaura Ruiz es responsable.

Desde luego, agradezco a los integrantes del Comité Tutorial, Dr. Jorge Llorente Bousquets y M. en C. David Nahum Espinosa Organista, sus observaciones y paciencia para la realización de la tesis. También debo agradecer su apoyo otorgado a través del proyecto PAPIIT IN 207995 "Áreas de Endemismo del Trópico Mexicano" del cual son responsable y corresponsable respectivamente.

Agradezco también a los integrantes del jurado, la Dra. Rachel Laudan por su impulso para llevar a buen término el presente trabajo, al Dr. Carlos López Beltrán, la M. en C. Graciela Zamudio Varela y en especial a la Dra. Edna María Suárez Díaz por su revisión detallada de la tesis.

Asimismo agradezco la beca otorgada por la DGAPA para la conclusión de mis estudios de Maestría y también reconocer la gran ayuda que representó la solicitud de licencia laboral para la conclusión de la tesis. Mi agradecimiento al psicólogo Enrique Morales Bazán por llevar a buen término la edición de la presente tesis.

## RESUMEN

Carlos Pérez Malvác. Museo de Zoología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Avenida Guelatao 66 Col. Ejército de Oriente. *Análisis Histórico-Filosófico de la Teoría de la Deriva Continental de Alfred Wegener*. Tesis de Maestría en Enseñanza e Historia de la Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. La teoría de la deriva continental fue propuesta en enero de 1912 por Alfred Wegener en una conferencia impartida ante la Asociación Geológica Alemana en Francfort-am-Main. Apareció por primera vez en forma de libro con el título *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* en 1915. Llegó a tener cuatro ediciones y traducciones al francés, inglés, español y ruso. La idea básica de Wegener es que al principio del Mesozoico existió un supercontinente al que denominó Pangea, el cual se dividió en varios fragmentos que derivaron unos con respecto a otros hasta ocupar sus posiciones actuales. Wegener murió en noviembre de 1930, a la edad de cincuenta años, en su cuarta expedición a Groenlandia. Su cuerpo a petición de su esposa Else, fue dejado enterrado en el hielo para algún día flotar en el mar en un iceberg, una especie de barco funerario para un vikingo errante, como en ocasiones señalaba Else que descansaba en el espíritu de Alfred. La teoría de Wegener se conformaba de un conjunto de evidencias geodésicas, geofísicas, geológicas, biogeográficas y paleoclimáticas. La comunidad geológica, en particular los geólogos europeos y los geofísicos norteamericanos tuvieron una respuesta negativa para la recepción de la teoría. La oposición se encontraba en particular sobre el mecanismo propuesto por Wegener para explicar el desplazamiento horizontal de los continentes. Sin embargo, su mejor aceptación provino de la comunidad de biogeógrafos, aunque algunos geólogos como Alexander du Toit fueron grandes defensores de la teoría de la deriva. Fue ampliamente discutida en Estados Unidos, Inglaterra, Alemania, Francia, Suiza, Italia, España entre otros. Con base en la metodología de los programas de investigación de Imre Lakatos, se intenta aportar elementos de interpretación considerando a la teoría de la deriva continental como un programa de investigación que compete con otros programas existentes en la época, el programa contraccionista y el programa permanentista, con el propósito de establecer si uno de los programas predominó sobre los otros. Sin embargo, encontramos que esto no es posible establecerlo para la época en que compiten los programas. Desde luego, el programa derivista posteriormente llega a prevalecer aunque bajo una perspectiva diferente expresada en la teoría de la Tectónica de Placas. Es entonces que la biogeografía histórica contemporánea tiene la herramienta conceptual para proponer hipótesis de trabajo falsables para explicar la distribución geográfica de los diversos grupos de organismos.

# INDICE GENERAL

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUMEN .....</b>  | <b>iv</b> |
| <b>INTRODUCCION .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS .....</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1. Las ideas anteriores a Wegener .....   | 4         |
| 1.2. Ideas derivistas en el siglo XIX .....   | 9         |
| 1.3. El uniformitarismo .....   | 14        |
| 1.4. Darwin y las ideas derivistas .....  | 18        |
| <b>2. LAS IDEAS DE FRANK B. TAYLOR .....</b>  | <b>24</b> |
| <b>3. LA TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL<br/>DE ALFRED WEGENER .....</b>                    | <b>29</b> |
| 3.1. La formación de Wegener .....  | 29        |
| 3.2. Las ideas básicas de la teoría .....   | 35        |
| 3.3. Las evidencias geodésicas .....  | 39        |
| 3.4. Las evidencias geofísicas .....  | 41        |
| 3.5. Las evidencias geológicas .....  | 44        |
| 3.6. Las evidencias paleontológicas y biológicas .....                                      | 48        |
| 3.7. Las evidencias paleoclimáticas .....   | 52        |
| <b>4. LA CONTROVERSIA SOBRE EL MECANISMO Y<br/>LA TEORIA DE LA DERIVA CONTINENTAL .....</b> | <b>58</b> |
| 4.8.1. Las ideas de John Joly y Arthur Holmes .....   | 61        |
| 4.8.2. Alexander Du Toit .....  | 63        |
| 4.8.3. El Simposio de Nueva York .....  | 67        |
| 4.8.4. La reacción en la Europa continental .....   | 71        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.8.2.1. En Alemania .....   | 71         |
| 4.8.2.2. En Francia .....  | 72         |
| 3.8.2.3. En Suiza .....  | 73         |
| 3.8.2.4. En Italia .....   | 74         |
| 3.8.2.5. En España .....   | 74         |
| <b>5. HACIA UNA INTERPRETACIÓN<br/>HISTÓRICA-FILOSÓFICA .....</b>      | <b>77</b>  |
| 5.1. El programa de investigación contraccionista (CON) .....          | 78         |
| 5.1.1. Isostasia y estructura de la corteza .....                      | 83         |
| 5.1.2. La objeción geofísica a la teoría de la deriva .....            | 89         |
| 5.2. El programa de investigación permanentista (PERM) .....           | 91         |
| 5.3. Programas de investigación ¿encontrados? .....                    | 94         |
| 5.3.1. La alianza de Wegener con los puentecontinentalistas (PC) ..... | 95         |
| 5.3.2. La reaparición del permanentismo .....                          | 100        |
| 5.3.3. La respuesta de los derivistas .....                            | 104        |
| <b>6. COMENTARIOS FINALES .....</b>                                    | <b>107</b> |
| <b>NOTAS .....</b>   | <b>112</b> |
| <b>LITERATURA CITADA .....</b>   | <b>118</b> |

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo versa sobre la teoría de la deriva continental, sus antecedentes y fundamentos. El interés por desarrollar un trabajo de tipo historiográfico con relación a la hipótesis de Alfred Wegener es el resultado de encontrar en la evolución de esta hipótesis un caso interesante desde la perspectiva de la historia de la ciencia.

La idea de que los continentes podían desplazarse tiene una larga historia y contribuyó al desarrollo cartográfico de las costas del continente americano. Las formas complementarias de África y Suramérica, propiciaron la idea de que alguna vez estuvieron juntas. Esta idea se combinó a menudo con la tradición catastrofista, como era el caso de explicar la apertura del océano Atlántico a partir del diluvio universal. Sin embargo, esta idea estaba distante de la tradición uniformitarista en geología, fortalecida con los *Principles of Geology* de Charles Lyell a partir de 1830. Eduard Suess intentará combinar ambas explicaciones, tanto la catastrofista como la uniformitarista, expuesta en su obra *Das Antlitz der Erde* hacia finales del siglo XIX. Este panorama hacia 1900 dificultará cualquier intento por establecer un carácter científico a los desplazamientos horizontales de los continentes y encontraría por tanto una fuerte oposición.

Alfred Wegener fue quien más contribuyó para abordar desde una metodología científica la idea del desplazamiento horizontal de los continentes. Wegener desarrolla su idea desde los márgenes del campo de la geología, es decir, sin tener una formación formal ni reconocimiento en el área. Su tesis doctoral, en 1905, fue en astronomía con un tema más histórico que científico. Después estudió meteorología y física atmosférica. Su primer libro fue *Thermodynamik der Atmosphäre* en 1911. Por esa época, ninguno de estos estudios podría presagiar sus aportaciones ulteriores en geología.

Se sabe poco de las ideas iniciales de Wegener sobre la deriva continental. En la cuarta y última edición de su libro *The Origin of Continents and Oceans* (1929) escribe: "La primera idea sobre la deriva continental se me ocurrió en 1910, cuando analizaba el mapa del mundo, bajo la impresión directa producida por la congruencia de las costas de ambos lados del Atlántico. Primeramente no puse atención a la idea porque la vi como improbable. En el otoño de 1911, encontré, de manera accidental un reporte sinóptico en el que me enteré por primera vez de evidencias paleontológicas de un puente anterior entre Brasil y África. Como resultado emprendí una revisión en los campos de la geología y paleontología, y esta investigación me proporcionó tal corroboración que la convicción sobre la confianza en la idea se enraizó en mi mente".

Pocos meses después de llegar a tal conclusión, en enero de 1912, Wegener dio dos conferencias en las que expuso la idea general de su teoría. En 1914 fue reclutado en el ejército, pero resulto herido. Durante su recuperación, reelaboró y amplió sus conferencias hasta culminar en la primera edición de *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* en 1915. Aquí presentó una teoría sobre el desplazamiento horizontal de los continentes con toda la evidencia que pudo conseguir. Expresó el tema central en los siguientes términos: "Hace millones de años la masa continental suramericana estaba directamente adyacente a la masa continental africana, formando con ella una gran masa unida. Se separaron por primera vez en el Cretácico en dos partes, las cuales como icebergs flotantes se fueron separando cada vez más lejos".

En la época en que Wegener expone sus ideas existen dos escuelas de pensamiento geológico que se presentan como teorías rivales: la teoría contraccionista y la permanentista. La primera, se relaciona con la postulación de puentes de tierra que emergen y posteriormente se hunden, uniendo áreas continentales distantes con el fin de explicar la distribución geográfica de grupos de organismos; por esta escuela los continentes nunca se han movido. Entre sus más destacados representantes se



encuentra Eduard Suess. La segunda, considera que los continentes siempre han permanecido en las posiciones que actualmente ocupan y para explicar la distribución geográfica de los organismos recurre a los factores de dispersión que los más plausibles; esta escuela tiene entre sus representantes a Bayley Willis. La idea de Wegener es que la distribución geográfica puede ser mejor explicada a partir de considerar que los continentes se han desplazado horizontalmente unos con respecto a otros. Estas escuelas geológicas rivales son las que vamos a conocer como la contraccionista y/o puentecontinentalista, la permanentista y la derivista.

Las escuelas geológicas a las que hacemos referencia se presentan como tres programas de investigación: el programa contraccionista (CON), el permanentista (PERM), y el derivista (DRIFT). En el presente trabajo aportaré elementos para una interpretación histórico-filosófica de estos tres programas rivales, con el propósito de analizar si alguno de los programas llega a predominar sobre los otros como mejor explicación geológica y biogeográfica.

La aceptación de la teoría de la deriva continental de Wegener tuvo grandes dificultades. La oposición más fuerte fue contra su propuesta del mecanismo de desplazamiento continental. Wegener proponía dos tipos de fuerzas: la fuerza polífuga o que tiende a huir de los polos para explicar el movimiento hacia el Ecuador de los continentes; y la fuerza de las mareas, para explicar el movimiento hacia el oeste. Sin embargo, ambas fueron consideradas como fuerzas de poca intensidad para desplazar a los continentes.

Entre los más importantes adversarios de Wegener se encontraba el geofísico de Cambridge, Harold Jeffreys, que publicó en 1924 la primera edición de *The Earth*. Para Jeffreys era muy peligroso suponer que la Tierra podía deformarse indefinidamente por causa de pequeñas fuerzas que actuaran persistentemente por largos períodos de tiempo, haciendo referencia por ejemplo a la fuerza de las mareas. Jeffreys se oponía a la idea del desplazamiento continental y consideraba más adecuadas las ideas de la escuela contraccionista, aunque estaba de acuerdo con la validez del principio de la isostasia.

Wegener intentó una réplica a sus críticos en la última edición de su libro. Aunque la comunidad le era claramente hostil, en particular la de los geólogos ingleses y geofísicos norteamericanos, Wegener tuvo aliados en Alemania, Francia, Suiza, Italia y España. Un apoyo importante fue el de biogeógrafos, que con gran entusiasmo se apoderaron de la deriva continental para explicar la distribución de los organismos.

Los más importantes defensores de Wegener en la preguerra fueron Arthur Holmes y Alexander du Toit. Holmes, a quién muchos consideran como el mayor geólogo inglés de este siglo, había establecido una escala de tiempo absoluta fundada en la constancia del ritmo de desintegración de los elementos radiactivos de las rocas. En apoyo a la teoría de Wegener propuso un mecanismo alternativo para explicar el desplazamiento continental a partir de proponer la hipótesis de las corrientes de convección.

Du Toit conocía bien las similitudes entre la geología Paleozoica y Mesozoica de Suráfrica y las del este de América del Sur. Se convirtió en uno de los principales discípulos de Wegener y defendió la idea de la deriva continental hasta su muerte. Du Toit es conocido por su libro *Our Wandering Continents*, publicado en 1937.

La teoría de la deriva continental permaneció congelada hasta la posguerra. Es entonces que a través del desarrollo del paleomagnetismo se desarrolló la teoría de la expansión del fondo oceánico que posteriormente adquiere un desarrollo teórico y empírico que se expresa actualmente como la teoría de la tectónica de placas. Esta teoría, se ha convertido en necesaria para llevar a cabo explicaciones

sobre la distribución de grupos de organismos. Esto es, la biogeografía histórica contemporánea, en particular la vicariancista, genera hipótesis biogeográficas y se apoya en la teoría de la tectónica de placas. En este sentido, consideré necesario desarrollar el presente trabajo con el objetivo de establecer un cuadro sobre el desarrollo histórico sobre la teoría de la deriva continental y las implicaciones en su momento y posteriormente sobre el pensamiento biogeográfico.

La estructura del trabajo se conforma de 5 capítulos, comentarios finales y una sección de notas. El primer capítulo contiene el desarrollo de un conjunto de ideas que señalaron la complementariedad entre las costas de África y Suramérica y/o regiones del Viejo y Nuevo Mundo. Entre ellas encontramos las de Francis Bacon en el siglo XVII, de George Louis Leclerc Conde de Buffon en el siglo XVIII y de Antonio Snider-Pelligrini en el XIX. Se incluye además una discusión sobre las ideas derivistas en el siglo XIX como parte del contexto en que Charles Darwin escribe *The Origin of Species* y en particular con relación a los capítulos sobre Distribución Geográfica y sus ideas permanentistas. En el segundo capítulo se presentan las ideas generadas a principios de este siglo por Frank B. Taylor, que trata de explicar la formación de las cadenas montañosas del Terciario a partir de ideas derivistas, que presentan semejanza con las de Wegener. El tercer capítulo es el más extenso. Se incluye una amplia biografía sobre Wegener y las ideas básicas de su teoría. Se presenta además el conjunto de evidencias geodésicas, geofísicas, geológicas, biogeográficas y paleoclimáticas de la teoría de la deriva continental de Wegener. En el cuarto capítulo se incluye la controversia sobre el mecanismo del desplazamiento continental, los defensores más importantes de la teoría de Wegener, el Simposio celebrado en Nueva York organizado por la Asociación Americana de Geólogos Petroleros y las distintas reacciones en Europa continental ante el sentimiento anti-alemán de la Primera Guerra Mundial. En el quinto capítulo se lleva a cabo una interpretación histórico-filosófica a partir de la metodología de los programas de investigación de Imre Lakatos.

Este es el intento. La teoría de la deriva continental de Alfred Wegener representa una de las teorías más importantes del presente siglo. La importancia actual de la tectónica de placas es indiscutible, como por ejemplo, para poder explicar la formación de las grandes cordilleras y la actividad sísmica; y desde luego como un mejor elemento de interpretación para explicar la distribución pasada y actual de los organismos en apoyo de la biogeografía histórica contemporánea. En este trabajo se analiza el proceso de construcción de la teoría de la deriva continental, desde las ideas sobre complementariedad continental de los continentes, como era el caso de África y Suramérica hasta la conformación de una teoría que si bien no explica de una manera contundente el porque de los movimientos, si reúne toda la evidencia posible en su época para el establecimiento de un hecho: la deriva continental. De manera similar se analizan las controversias sobre las propias evidencias y sobre el mecanismo para explicar el desplazamiento horizontal de los continentes.

Como veremos más adelante, Wegener no empezó con un modelo específico. Fue más bien una aproximación para representar la historia y la estructura de la superficie de la Tierra que incorporaba movimientos laterales de gran escala de los continentes. Muchos de los contemporáneos de Wegener encontraron inimaginable que los continentes pudieran moverse. Para Wegener era fácil de imaginar.

## 1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

### 1.1. LAS IDEAS ANTERIORES A WEGENER

Durante al menos tres siglos y medio ha llamado la atención el contorno a través de las costas del Atlántico, por posibles uniones continentales y se han ofrecido varias conjeturas para explicar este hecho. Entre quienes han expresado ideas al respecto podemos citar a: Bacon (1620), Placet (1668), Buffon (1749), Lillienthal (1756), Young (1810), Hopkins (1844), Humboldt (1845), Owen (1857), Snider (1858), Lovisato (1874), Wettstein (1880), Fisher (1881), Warring (1887), Coxworthy (1890), Pickering (1907), Mantovani (1909), Taylor (1910), Baker (1911) y Wegener (1912). Y habría que incluir también a Hopkins (1844), Forbes (1846), Hooker (1860) y quizás Darwin (1859). A continuación presentamos las ideas más relevantes de algunos de estos personajes y una discusión sobre la inclusión de Darwin.

La existencia de una geografía de extensión global es prerrequisito para la formulación de hipótesis científicas acerca del origen de los continentes y océanos. Esto quiere decir que, formular una hipótesis sobre la coincidencia de las líneas de costa, entre continentes separados, solo sería posible hasta alcanzar una cartografía completa de nuestro planeta (Rupke, 1970). De acuerdo con Raisz (1985), ello nos puede ubicar a partir de 1529 con el mapa de Diego Ribero, quien fue uno de los pocos sobrevivientes del viaje de Magallanes. Dice Raisz, comentando el mapa de Ribero, "...el contorno de las diferentes partes del mundo es de una notable actualidad..."

En la obra *Novum Organum* de Francis Bacon (1561-1628) ( Fig. 1), escrita en 1620, se comenta la correspondencia existente entre la costa occidental de Africa y la oriental de Suramérica como difícilmente accidental, pero no se ofrece interpretación alguna de esas observaciones (Tarling y Tarling, 1986).

Carozzi (1970), proporciona una cita del original de la obra *Novum Organum* de Bacon sobre tal correspondencia que dice:

...ctiam in ipsa configuratione mundi in majoribus non sunt negligendae Instantiae Conformes; veluti Africa, et regio Peruviana cum continente se porrigente usque ad Fretum Magellanicum. Utraque enim regio habet similes isthmos et similia promontoria, quod non temere accidit.  
Item Novus et Vetus Orbis; in eo quod utrique orbes versus septentriones lati sunt et exprorecti, versus austrum autem angusti et acuminat...

En una traducción al español de edición mexicana de la obra de Bacon, que a continuación citamos, se incluye primero un texto sobre el tipo de hechos en los que clasifica la correspondencia entre ambos continentes y el texto donde se incluye lo citado más arriba en latín.



Fig.1. Portada del libro *Novum organum* de Francis Bacon (tomada de Papavero *et al.*, 1995)

**Bacon (1620)** se expresa así:

...Entre los hechos preferentes, pondremos en sexto lugar los hechos conformes o análogos, que llamamos también paralelos o similitudes físicas. Estos, los que ponen de relieve las semejanzas y las relaciones de las cosas, no en las formas secundarias (esto es propio de los hechos constitutivos) sino en lo concreto precisamente...

Y más adelante como ejemplo de hecho análogo comenta sobre la similitud entre los continentes:

...Se ven estos hechos en la configuración de Africa y del Perú junto a las tierras que se prolongan hasta el estrecho de Magallanes. Una y otra región tienen istmos y promontorios semejantes, lo que, sólo por causas idénticas, tiene explicación razonable... Otros análogos: el nuevo y el antiguo mundo; uno y otro se ensanchan, se extienden hacia el Norte, se estrechan hasta terminar en punta hacia el mediodía...

Bacon no sugiere explícitamente que los dos continentes pudieran haber estado juntos en otro tiempo y la observación de Bacon parece la comparación lógica de un filósofo, carente de cualquier idea preconcebida acerca de la deriva continental, comprometido más bien entre dos objetos de figura similar, Africa y Suramérica. En consecuencia, Bacon no podría ser considerado como precursor de la teoría de la deriva continental, pues él no compara la oposición de las líneas de las costas Atlánticas, que la teoría de la deriva continental asume que estuvieron originalmente juntas (Carozzi, 1970).

La opinión de Rupke (1970) es que Bacon no podría haber externado su comentario sin un conocimiento adecuado para la época desde el punto de vista cartográfico. Tyrrell (1972), agrega que Bacon había señalado la forma triangular de los continentes y su mayor anchura hacia el norte, observando que se trataba de una circunstancia que no podía atribuirse a una simple casualidad. En este sentido, una de las más sorprendentes explicaciones de este fenómeno es la que se conoce con el nombre de *teoría tetraédrica*.<sup>1</sup>

El padre Francois Placet, prior de la abadía Bellosanne, cerca de Rouen, en un trabajo publicado en París en 1668, intitulado *La Corruption du grand et petit Monde ...où il est montre que devant le Deluge, l' Amerique n'estoit point separée des autres du Monde, et qu'il n' y avoit aucune Isle dans la Mer*, supuso igualmente que Sir Francis Bacon, la separación de las Américas de las otras partes del mundo.

Para Carozzi (1970), el trabajo es de un carácter moralista y religioso, puesto que lo que pretende demostrar Placet, es que todo el universo *le grand monde* de la naturaleza y *le petit monde*, la humanidad, han sido corrompidos por el pecado original.

Placet, en la primera parte de su volumen (Capítulo V, sección I hasta la III), discutió las *catástrofes locales* descritas por autores clásicos y mostró que tales eventos son consecuencia del pecado original y que sus efectos son de menor importancia comparados con el producido por el diluvio. El efecto de largo alcance de este último es examinado posteriormente en la sección IV del mismo capítulo bajo el título "*Avant le Deluge*". Placet enunció que, de acuerdo con el texto del Génesis, el Creador ordenó que las aguas cubrieran por entero la Tierra, reunidas al mismo tiempo en un único lugar, caracterizado por tierra árida y formando una única masa.

Carozzi (1970), cita a Placet quien dice:

...D où il s'ensuit, que l' Amerique, et tant d' Empires, que l'on trouve aujourd' huy dans le sein de l' Ocean, n'estoient point alors separées de la terre ferme, mais que la catastrophe du monde a causé cette division, élevant les abysmes, et les changeant en montagnes, et au contraire enfocant des Provinces pour en faire des abysmes d' eaux

La traducción de Carozzi es:

...Therefore, America, as many islands and Empires which occur today throughout the ocean, were not at that time separated from the mainland. Indeed, the world's catastrophe (the Deluge) is responsible for this separation uplifting abysses and changing them into mountains, or, on the contrary, collapsing Provinces and making abysses out of them .

Lo citado nos dice que para Placet, América como muchas islas e imperios que ocurren hoy de un extremo a otro del océano, no todo el tiempo han estado separadas del continente y que, desde luego, la catástrofe mundial (el Diluvio) es responsable de esta separación edificando abismos y cambiándolos por montañas, o al contrario, colapsando provincias y formando abismos a lo largo de ellas.

Pérez M., C.

Placet explica la formación del continente americano como un efecto del Diluvio en los siguientes términos:

...par la destruction de l' Isle Atlantique, qui s'estant abysmée, aurait causé la découverte d' une nouvelle terre: car la Providence partage l' empire des elemens, en telle sorte, que ce que l' un gagne sur son voisin d' un costé, il le perd de l' autre...

Este texto dice, a partir de la traducción al inglés de Carozzi *op cit.*, que la destrucción de las islas del Atlántico, ha generado por colapso la emergencia de nuevas tierras: la Providencia divide el imperio de los elementos de tal modo que no importa que un límite gane de un lado y pierda del otro.

En otras palabras, el Diluvio fue el responsable del hundimiento de las islas Atlánticas o Atlántico que se convierte en la base del océano. Esta subsidencia fue acompañada por la compensación del levantamiento de nuevas masas de tierra o grandes islas: América. Como en el caso de Francis Bacon, no hay un concepto de deriva continental implicado en la hipótesis de Placet que requiere solo movimientos verticales y representa más el espíritu de numerosas teorías de la antigüedad clásica.

El trabajo de Placet sugirió que el viejo y el nuevo mundo habían quedado separados como consecuencia del diluvio. Sin embargo, la visualización de separación de Placet no conlleva ninguna similitud con un proceso de deriva continental. Además, especula que América se originó de la aglomeración de islas o por la depresión de masas de tierra, la Atlántida, entre el oeste de Europa y África, que causó una elevación compensatoria originando lo que ahora es América.

Es por ello que Rupke (1970), sostiene que las ideas que se expresan como antecedentes de la deriva antes de 1900 pueden estar equivocadas, pues no necesariamente se referían a la deriva de los continentes, como es el caso de las ideas de Bacon y Placet.

Un siglo después George Louis Leclerc Conde de Buffon (1707-1788), reflexionó acerca de la posición y forma de los continentes.

Buffon (1785), en una edición en español de su *Historia Natural*, Tomo I, en el Discurso Segundo, sobre la "Historia y Teórica de la Tierra" escribe:

...Lo que vamos a decir en orden a la Tierra será sin duda menos extraordinario, y podrá parecer vulgar, comparado con los magníficos sistemas que hemos referido; pero debe tenerse presente que la obligación de todo Historiador es describir, no inventar, y que por lo mismo no le es lícita ninguna suposición, ni debe servirse de su imaginación sino para combinar las observaciones, generalizar los hechos, y formar de ellos un conjunto que presente al entendimiento un orden metódico de ideas claras...

Un poco más adelante, ya entrando en la cuestión de las formas terrestres señala:

...Considerando después el fondo del mar, advertimos en él las mismas desigualdades que en la superficie de la Tierra: allí encontramos eminencias, valles, llanuras, profundidades, peñascos y terrenos de toda especie: vemos que todas las islas son sino cimas de vastas montañas...

Después dice:

...¿ No debe todo esto inclinarnos a creer que efectivamente ha habido grandes revoluciones en la superficie de la tierra, y que el mar ha podido abandonar y dejar descubierta la mayor parte de las tierras que ocupaba en otro tiempo? Si quisiésemos, por ejemplo, suponer por un instante que el antiguo y nuevo mundo no componían en otro tiempo sino un solo continente<sup>2</sup>, y que con un violento terremoto la antigua Atlántida<sup>3</sup> de Platón se hubiese hundido, el mar debería precisamente haber corrido de todas partes á formar el Océano Atlántico, y por consiguiente dejar descubiertos vastos continentes, que acaso son los que habitamos...

Luego en el capítulo sobre "Pruebas de la Teórica de la Tierra", artículo VI sobre Geografía señala:

...y también, que los dos continentes tienen partes considerables que se avanzan y miran opuestamente, a saber, las costas de África desde las Islas Canarias hasta las costas de Guinea, y las de América desde la Guyana hasta el paraje en que desagua el Río Janciro...

Más adelante:

El antiguo y el nuevo continente están casi opuestos el uno al otro: el antiguo se extiende más al Norte del Ecuador que al Sur, y al contrario el nuevo se extiende más al Sur que al Norte del Ecuador...

De lo anterior, encontramos ideas de similitud física entre los contornos de los continentes y la idea de una unión anterior entre el viejo y nuevo mundo formando un solo continente a través de la mítica Atlántida de Platón. La idea de una gran isla, como un gran puente de unión continental, será heredada para invocar puentes continentales posteriores como posibles uniones continentales pasadas como ruta de migración de los organismos.

De acuerdo con Rupke (1970), en el siglo XVIII se encuentra una referencia que parece implicar a la primera persona que sugiere la idea del desplazamiento continental y se encuentra en Theodor Christoph Lillienthal, profesor alemán de Teología en la Universidad de Königsberg, quien escribió una serie de libros apoloéticos bajo el título *Die gute Sache der Göttlichen Offenbarung* (1756). Lillienthal había estudiado los trabajos de los geólogos diluvistas del siglo XVII y XVIII, y fue cuidadoso al convencerse de una extensión global y de la realidad catastrófica del diluvio bíblico. Fue dentro de este cuadro de *catastrofismo bíblico* que Lillienthal se convenció de la posibilidad del desplazamiento continental. Su punto de partida fue el texto bíblico referente a los días en que la Tierra fue dividida. Con una base etimológica argumentó que esta fue una división física de la Tierra después del diluvio.

Para apoyar su visión Lillienthal adecuó las costas Atlánticas de África y Suramérica. Escribió:

... la Tierra fue dividida. El mensaje, sin embargo, estrictamente hablando significa que tal división ocurre con tierras y aguas... Esto es apropiado con el hecho de que lo opuesto, como es el caso del mar que separó las costas de muchas regiones tiene un contorno congruente que cubre cada posición orilla por orilla; por ejemplo la parte sur de América y África.

## 1.2. IDEAS DERIVISTAS EN EL SIGLO XIX<sup>4</sup>

Carey (1988), proporciona una lista de autores que en algún momento expusieron ideas derivistas. Si consideramos desde Hopkins (1844), encontramos que durante el siglo XIX se encuentran entre otros, Humboldt (1845), Forbes (1846), Owen (1857), Snider (1858), Hooker (1860) y Fisher (1881). Incluimos a estos autores como parte del contexto en que Darwin escribe *El Origen de las Especies*.

Evan Hopkins, propuso una teoría de amplia escala de movimiento continental en su obra *On the Connexion of Geology with Terrestrial Magnetism* publicada en 1844. Hopkins fue un ingeniero practicante de la minería, asociado a *The Geological Society of London*, que trabajo en Europa, Norteamérica y Australia con especial interés en la formación y localización de los depósitos de oro. El creía que su teoría global podría ser de valor en las operaciones mineras. Proponía que la fuerza de la deriva para el movimiento continental estaba en el magnetismo de la Tierra. Existe una continua circulación de fluido magnético hacia el Polo Norte, bajo el eje polar del Polo Sur, entonces circunda el globo y se conduce eléctricamente a través de los océanos y regresa al Polo Norte. Los océanos contienen varias sustancias en solución. En el Polo Sur se cristalizan por el flujo magneto-eléctrico, formando los continentes que fueron llevados hacia el norte. Los continentes eran flexibles composiciones cristalinas flotando en y moviéndose a través de un denso fluido. Para apoyar su disputa del movimiento hacia el norte de las tierras comparó las determinaciones de latitud antiguas y modernas, referidas a mitos y leyendas de tierra en el hemisferio norte. También discutió sobre la permanencia de tierras tropicales en el lejano norte y sobre los restos glaciares en masas de tierra ahora no lejos del trópico. Esto, dijo Hopkins, no puede explicarse en términos de una calma general de la Tierra. La congruencia de las líneas de costa opuesta fue de poco interés para sus nociones sobre el origen de los movimientos de los continentes. La teoría de Hopkins fue no Lyellana, pero fue insistente en convenir en una mejor teoría global acorde con la física y que fuera uniformitarista (Le Grand, 1988)

Friedrich Heinrich Alexander von Humboldt (1769-1859), reconoció el ajuste de las líneas de costa de África y Suramérica y estaba impresionado por la similitud geológica entre los dos continentes. Especuló que un evento catastrófico hundió las masas de tierra que conectaban Europa y África con América.

En una edición en español de su obra *Cosmos* (1874), expresa:

...Es también muy notable que las salidas de los continentes hacia el Norte y sus prolongaciones hacia el Sud estén situadas casi en los mismos meridianos...



Después:

...El Africa y la América del Sud, que ofrecen bajo otras relaciones tantas analogías en su configuración, son de todos los continentes aquellos que guardan en las costas mayor uniformidad...

Más adelante:

...Nuestro Océano Atlántico presenta todos los rasgos que caracterizan la formación de un valle. Diríase que el choque de las aguas se ha dirigido primero hacia el Noreste, luego hacia el Noroeste, y después otra vez hacia el Noreste. El paralelismo de las costas situadas al Norte del décimo grado de latitud austral; los ángulos salientes y entrantes de las tierras opuestas; la convexidad del Brasil, que mira hacia el golfo de Guinea; la de Africa, opuesta al golfo de las Antillas; todo en una palabra, confirma estas consideraciones que pudieron parecer en un principio temerarias...Largo tiempo ha que hice yo observar de cuanto interés era para la geognosia la comparación de las costas occidentales del Africa y de la América del Sud bajo los trópicos...

Después:

...A pesar de tales analogías y contrastes, no es permitido a la ciencia escrutar profundamente los grandes fenómenos que han debido presidir al nacimiento de los continentes. Lo que sabemos se reduce a lo siguiente: la causa productora es una fuerza subterránea; los continentes no se han formado una vez, tales como existen hoy, antes bien remóntase su origen, como indicamos más arriba, a la época silúrica (separación neptuniana), y su formación ocupa los períodos sucesivos hasta los terrenos terciarios...Es un hecho reconocido hoy por todos los geólogos, que la emersion de los continentes se debe a un levantamiento real y no a un levantamiento aparente ocasionado por la depresión real del nivel general de los mares...

De lo expresado por Humboldt, se percibe una idea de similitud física, muy similar a la de Bacon y Buffon, pero más detallada. Su explicación, sin embargo, es distante de una ruptura y deriva continental. Para Carozzi (1970), Humboldt no sugirió un posible mecanismo de como los continentes pudieron haber derivado aparte. El más bien, enfatizó el paralelismo de la oposición de las costas del Atlántico y el carácter complementario de su geología.

De acuerdo con Marvin (1974) no obstante las implicaciones de la teoría de la contracción, o posiblemente por ignorancia de ello, sólo dos publicaciones americanas del siglo XIX tratan sobre el desplazamiento continental, la de Owen y la de Snider. Richard Owen, profesor de Geología y Química en The University of Nashville, en Tennessee, fue el primero en escribir sobre el tema. En su libro *Key to the Geology of the Globe*, publicado en 1857, Owen describe el mundo inorgánico como sujeto a procesos similares a la reproducción, creciendo y decayendo tal como se observa en la materia viva. El libro se subtituló "An essay designed to show that the present geographical, hydrographical, and geological structures observed on the earth's were the result of forces acting according to fixed, demonstrable laws, analogous to those governing the development of organic bodies".

Owen pudo haber sido el primer escritor en sugerir que la Tierra no es una esfera sino un tetraedro, una figura envuelta por cuatro triángulos equiláteros que, para una área superficial dada, incluya el menor volumen posible. Pensó que la primera tierra que fracturo la superficie del océano original fue una gruesa corteza sobre la porción norte del núcleo de un tetraedro que rotó sobre un eje vertical. La erosión de la superficie terrestre combinada con la sedimentación y el abundante crecimiento orgánico en los trópicos causó un cambio en la superficie y esto balanceó el centro de gravedad de la masa entera. Ante esto, la masa de la corteza se convirtió en nuestros continentes actuales los cuales fueron sobrepuestos, con Suramérica reposando sobre el norte de África y Australia extendiéndose sobre Arabia. De acuerdo con Owen, el cambio en el centro de gravedad fue resultado de convulsiones violentas que inclinaron el giro del eje que pudo al mismo tiempo cambiar la posición relativa del mar y la tierra, especialmente si, como se supone, las fuerzas internas fueron suficientes para atenuar la corteza, incrementando su diámetro ecuatorial, separando las más sólidas masas montañosas y continentes por la extensión de materiales plásticos intermedios, produciendo así amplios canales tales como el Atlántico dentro del cual las aguas fluyeron muy parecido a un final convulsivo.

Owen sugirió que el planeta pasó por una expansión final tan grande que la Luna pudo haber sido lanzada hacia el espacio como "un óvulo terrestre" de una región del Mediterráneo. Este evento lo comparó con la ruptura de un foliculo de Graaf y la expulsión de una semilla. Varios escritos han también asociado la ruptura continental y la apertura del Atlántico con catástrofes que implicaron a la Luna con una expansión global. Owen fue el primero en proponer la división de bloques de corteza en términos claros, y lo atribuyó a ambos agentes.

Owen fue un científico altamente respetado, y fue uno de los primeros asociados de la *Geological Society of America*. El concepto de Owen de una Tierra tetraédrica fue ampliamente adoptado por los geólogos, sin embargo muchos de ellos creyeron que se originó con William Lowthian Green, un mercader inglés y ministro del reino de las islas Sandwich, donde hizo extensas observaciones del vulcanismo en Hawai lo que inspiró su libro *Vestiges of a Molten Globe*, publicado en 1875. Atribuyó las relaciones antipodas de los continentes y océanos de la Tierra a la forma tetraédrica resultado del colapso gravitacional del globo en enfriamiento. Las aguas de los océanos cubrieron cada una de las cuatro caras del tetraedro, dejando los márgenes y las cuatro esquinas secas. Con la Antártica ocupando el extremo sur del tetraedro y Eurasia y Norteamérica las tres aristas del norte, Green razonó que la preponderancia de tierras en el hemisferio norte se debe a que este sector se atrasó después que el sur cuando la Tierra rotó hacia el este. Como resultado, el hemisferio sur viró 30° al este, como en un plano gemelo de un cristal gigante, desplazándose los continentes del sur con respecto a los del norte. La torsión del plano se marcó por los mares Mediterráneo y del Caribe y el cinturón montañoso este-oeste de Eurasia.

La llamada hipótesis tetraédrica era un intento ingenioso para explicar, entre otras cosas, la notable contracción de tierra en el hemisferio septentrional y de agua en el meridional, combinada con el contraste inverso en las regiones polares. Un tetraedro es un poliedro limitado por cuatro triángulos equiláteros, a modo de una pirámide con tres caras laterales. Puesto que para una superficie dada, una esfera es la figura regular de volumen máximo, mientras el tetraedro es la de volumen mínimo, se pensó que un globo, al contraerse tendería a encogerse hacia la forma tetraédrica. Así, considerando a la Tierra como un globo en contracción, las depresiones oceánicas se reducirían, desde esta perspectiva, por un aplastamiento irregular de la corteza, a consecuencia de una contracción interna; los océanos Pacífico, Índico, Atlántico y Ártico corresponden a las cuatro caras tetraédricas, mientras los continentes se separarían, como elevadas regiones que encierran las aristas y vértices (Fig. 2). En la actualidad, la forma de distribución de la tierra y el mar se representa a grandes rasgos

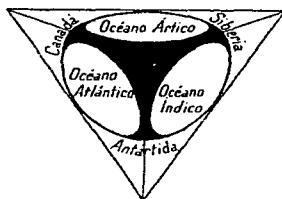


Fig. 2. Distribución tetraédica de continentes y océanos (tomada de: Holmes, 1952)

por un tetraedro apoyado sobre un vértice que es el polo Sur, y en el cual se observa que una cara, la correspondiente al Pacífico, es mucho más grande que las otras. Una objeción fatal para la hipótesis tetraédrica es que una Tierra con una corteza homogénea no pudo haberse contraído en forma tetraédrica, por la razón de que cualquier aproximación a esta figura geométrica en un cuerpo de la masa de la Tierra sería inestable gravitatoriamente e incompatible con la isostasia. El peso de las caras y los vértices sobresalientes, si se hubieran desarrollado alguna vez, sería tan grande que se hundirían hasta que se restaurara otra vez la forma estable de un globo. Un globo muy pequeño podría contraerse en una forma parecida a un tetraedro; pero nunca si es tan enorme como la Tierra (Holmes, 1952).

De acuerdo con Marvin (1974), la hipótesis tetraédrica tuvo numerosas aproximaciones e imperfecciones, y ante un más estricto modelo geométrico no pudo explicar la forma triangular y el arreglo de los continentes y océanos. Sin embargo, tuvo buena acogida tanto que, en 1938, Walter Bucher, profesor de Geología por The University of Cincinnati, objetó la hipótesis del desplazamiento continental porque, entre otras muchas fallas, violaba el concepto de una Tierra tetraédrica. Quizá el concepto siempre padeció de problemas, como el hecho de que las aristas permanecieron arriba a pesar de la presión que ejercía la gravedad, y finalmente tuvo que ser abandonada cuando las mediciones geodésicas mostraron que la tierra era un elipsoide imperfecto antes que un tetraedro imperfecto.

En la primera mitad del siglo XIX, varios habían observado la congruencia de las líneas de costa del Atlántico sur, o bien habían hecho especulaciones sobre si el océano Atlántico se había formado a partir de la depresión de un misterioso continente anterior, "Atlántida", o a partir de la excavación de un enorme valle. Snider fue el primero en presentar una idea defendiendo que los continentes que actualmente estaban limitados por el Atlántico habían estado anteriormente en contacto y se habían separado después.

Snider señalaba el transcurso de los acontecimientos entre la Creación y el Diluvio con la expresión de "días" (épocas), de acuerdo con la relación del Génesis. Durante el primer día, la solidificación de una corteza o de un líquido interior muy caliente fue la causa de presiones tan poderosas, que provocaron una violenta y simultánea explosión de numerosos volcanes, explosión que desgajó la Luna de la Tierra. Seguían cuatro épocas más, cada una de ellas finalizada por un cataclismo, hasta que, en el quinto día, todas las tierras del planeta estuvieron concentradas en una

masa enorme e inestable a lo largo de la cual corría una fisura gigantesca orientada de norte a sur. El Diluvio tuvo lugar en el sexto día, mientras los gases volcánicos se escapaban por la fisura, obligando a los continentes del Antiguo y Nuevo Mundo a separarse y siendo causa de una súbita contracción de la Tierra. De esta manera, las aguas oceánicas fueron dirigidas a los continentes, y así nació el Atlántico (Hallam, 1989).

Casi dos siglos después de la obra de Bacon, en 1858, el americano residente en París Antonio Snider-Pelligrini publicó un libro con el título *La Création et ses Mysteres dévoilés. Ouvrage où l'on expose... l'origine de l'Amérique et de ses Habitants primitifs*, en el que intentó explicar el origen de las Américas y de sus poblaciones indígenas. Snider asumió que antes del diluvio las tierras secas formaron una única masa que a través de la acción de fuego subterráneo incrementaron su endurecimiento como resultado de la distribución irregular de la cristalización. A su vez, durante el Diluvio, se incrementó la expansión debido al vulcanismo, llevando a la fractura de las tierras áridas, principalmente a lo largo de la mayor fisura y las islas del Atlántico, acompañado por sus volcanes, y derivaron hacia el oeste durante una única conmoción hasta que el equilibrio planetario se alcanzó hasta convertirse en América. Como prueba de este desplazamiento es la similitud de las costas opuestas del Atlántico (Carozzi, 1970).

En su intento de explicar el origen de las poblaciones indígenas, Snider presentó una serie de hipótesis sobre el hecho de que las Américas no se cubrieron por las aguas del diluvio como otros continentes y que por lo tanto, sus antidiluvianas poblaciones escaparon a la catástrofe y evolucionaron a partir de los fundadores nativos.

La conclusión de Snider es: *l'Amérique.. o América* es realmente la antigua Atlántida de tiempos antidiluvianos. Por tanto, dice Carozzi (1970), Snider aparece como el primer precursor de la idea de la deriva continental, teniendo uniones y divisiones de los continentes en el mismo sentido de Taylor y Wegener en la primera década del siglo XX.

En el trabajo de Snider se realizaron las primeras observaciones respecto a las semejanzas de tipo geológico entre ambos continentes, a partir del intento por explicar la presencia de plantas fósiles idénticas tanto en los sedimentos del Carbonífero en Europa como en Norteamérica. A su vez, Snider elaboró el primer diagrama de los continentes de ambos lados del Atlántico antes y después de su separación (Fig. 3) Este trabajo, dice Rupke (1970), es considerado dentro de lo que se conoce como *catástrofismos múltiples*, en donde el diluvio de Noé es el último de una serie de procesos catastróficos. En apoyo a su visión Snider aduce en primer lugar a las pruebas físicas, como la adecuación de las costas de África y Suramérica, formaciones geológicas con el mismo tipo de roca y el hallazgo de fósiles idénticos en los dos continentes.

Hallam (1989), señala que el libro de Snider parece más una obra de la cosmogenia especulativa del final del siglo XVII que un tratado del siglo XIX. Además, no cabía esperar que las ideas fantásticas de Snider, propuestas sin prácticamente prueba alguna, fueran tomadas en serio por la comunidad geológica, sobre todo teniendo en cuenta que se basaban, por encima de todo, en las ideas catastrofistas que Lyell había refutado de una manera tan efectiva.

Otro autor que merece nuestra atención, es el reverendo inglés Osmond Fisher (1817-1914), en especial porque su libro *Physics of the Earth's Crust* (1881) es el primer tratado general sobre Geofísica.

Fisher fue un geofísico que cuestionó la permanencia de la base de los océanos. Sugirió que hay rasgos recientes en ellas que permiten, al contrario de los presentes en continentes antiguos,



Fig. 3 Mapas publicados por Snider en 1858 que representan a los continentes antes y después de su separación (tomada de: Holmes y Holmes, 1987)

señalar que hubieron cambios. El propuso que la Luna había sido arrancada y la enorme depresión dio lugar al océano Pacífico y que los continentes se movieron hacia esta depresión, resultando en una grieta de las Américas desde el viejo mundo. Siguió en este sentido a G.H. Darwin (1845-1912) en su propuesta de 1879, de que la Luna había sido expulsada de la Tierra en una primera época de la historia de ésta, dejando a su paso la cicatriz gigantesca que formó el océano Pacífico (Le Grand, 1988).

Como C.E. Dutton en América, que fue el responsable del planteamiento de la moderna teoría de la compensación isostática, Fisher tuvo serias dudas sobre si la contracción debida al enfriamiento era suficiente para causar un acortamiento de la corteza terrestre como el que indicaban determinados accidentes, como los grandes pliegues y cabalgamientos que se empezaban a descubrir en los Alpes. Discutió varios cálculos sobre la edad de la Tierra que estaban basados en el concepto del enfriamiento. Defendía un interior relativamente fluido, con corrientes de convección que eran ascendentes por debajo de los océanos, especialmente por debajo de la cresta continental atlántica, y descendentes por debajo de los continentes (Hallam, 1989).

La afirmación de Fisher, de que los continentes y los océanos son permanentes, seguía de una apreciación del principio de la isostasia, sin embargo, eran permanentes de una manera relativa porque debido a la convección de los océanos debían ensancharse hasta una posición media, por la adición de las rocas volcánicas y los continentes debían contraerse hasta formar montañas plegadas en sus márgenes.

### **1.3. EL UNIFORMITARISMO**

El uniformitarismo es la corriente o escuela geológica que en los siglos XVIII y XIX se caracterizará por explicar los procesos geológicos que ocurrieron en el pasado a partir de la comprensión de los procesos geológicos actuales. Es James Hutton (1726-1797) (Fig. 4) quien a fines del siglo XVIII propondrá las ideas uniformitaristas. Los trabajos de Hutton aparecieron en 1788, en el volumen primero de *Transactions of the Royal Society* de Edimburgo y se publicó una versión más extensa



Fig. 4. James Hutton (1726-1797) (tomada de: Adams, 1938)

en dos volúmenes en 1795 con el título de *The Theory of the Earth*. Para Read (1949), ninguna obra ha tenido un efecto tan revolucionario en el mundo del pensamiento y señala que en ese sentido la *The Theory of the Earth* puede ocupar el mismo lugar en la biblioteca de un geólogo, que *El Capital* de Marx en la de un economista, y añadiríamos que *El Origen de las Especies* en la de un biólogo.

Lyell (1830) se expresó así sobre el trabajo de Hutton en el capítulo IV del primer tomo de sus *Principles of Geology*:

Este tratado fue el primero en el que la Geología fue declarada no estar en el sentido de preguntar como se originaron las cosas; lo primero que intentó fue hacer una dispensa completa con todas las causas hipotéticas, y explicar los cambios pasados de la corteza terrestre, con referencia exclusiva a agentes naturales. Hutton trabajó para contribuir a fijar los principios de la geología, como Newton lo hizo en astronomía...

La teoría de Hutton sobre la Tierra armonizaba con la entonces creciente filosofía científica según la cual el universo es racional y todo en él se halla sujeto a una ley natural inalterable. Hutton pensó que los procesos geológicos que cambian lentamente la faz de la Tierra en la actualidad son suficientes por sí solos, para explicar la antigua historia de la Tierra, tal y como ha quedado registrada en las rocas más accesibles de la corteza terrestre. Esta era su teoría denominada *uniformitarismo*.

El autorenovador mundo-máquina de Hutton funciona sobre un ciclo de tres etapas repetidas sin fin. Primero, la topografía terrestre se disgrega cuando las olas y los ríos desintegran las rocas formando suelos sobre los continentes, diluyendo los productos de la erosión en los océanos. Segundo, las innumerables partículas de los viejos continentes son depositados como estratos horizontales en los fondos marinos; cuando los estratos se compactan, su propio peso genera el suficiente calor y

presión para movilizar las capas más bajas. Tercero, el calor de los sedimentos fundidos y la penetración del magma ocasiona la expansión de la naturaleza con sorprendente fuerza produciéndose enormes elevaciones y generando nuevos continentes en los lugares de los antiguos océanos (Gould, 1992).

El concepto huttoniano de la Tierra implicaba una escala de tiempo inmensamente grande: argumentó que no existían trazas del comienzo ni indicios del final de los tiempos geológicos.<sup>6</sup> Su conclusión *el presente es la clave del pasado* y especialmente las implicaciones que la misma conlleva acerca de la edad de la Tierra fueron furiosamente atacadas por muchos teólogos y científicos (Booth y Fitch, 1986).

El esquema que prevalecía en tiempos de Hutton era el catastrofismo. Esta hipótesis sostenía que todas las rocas son depósitos de un océano primitivo que en algún tiempo cubrió por entero la Tierra. Este esquema neptunista, catastrófico desde el punto de vista de la historia de la Tierra, tendió a ser aceptado porque el gran mar primitivo que postulaba se tendía a ajustar a las ideas sobre el diluvio bíblico, teniendo así un interés teológico y además porque era un punto de vista sostenido por uno de los maestros más persuasivos e influyentes de la Europa del siglo XVIII, Abraham Werner (1749-1817). Como resultado de esto, el punto de vista catastrófico se mantuvo por encima de la posición uniformitarista de Hutton por espacio de cuatro décadas.

Empleando la terminología de Kuhn (1970), podríamos decir que el paradigma dominante Werneriano, referente al origen por precipitados químicos de rocas como el granito, se mantuvo por un tiempo sobre las ideas de Hutton. Sin embargo, una conclusión final de ésta polémica dio la razón a Hutton que postulaba el verdadero origen del granito. Así, el que denominaremos paradigma de Hutton fue el que predominó; pero no solo en ese sentido, sino también desde la perspectiva del uniformitarismo, generando una revolución en el pensamiento geológico, puesto que rompía con una visión estática y teológica sobre la Tierra. Al ser retomadas estas ideas por Lyell, el uniformitarismo se convirtió en una de las más grandes influencias en el pensamiento de Darwin.

Para Eicher (1973), el concepto de Hutton de un cambio gradual mediante causas físicas encontró en Charles Lyell (1797-1875) a su mejor defensor. Palerm (1982), nos dice que Lyell publicó entre 1830 y 1833 los tres volúmenes de sus *Principles of Geology* que en cincuenta años se reeditó doce veces, once de ellas con correcciones y ampliaciones del propio Lyell. En 1838 publicó los *Elements of Geology*, dedicados sobre todo a la estratigrafía y a la paleontología.

Lyell (1830) en el capítulo I del primer tomo de sus *Principles of Geology* dice:

La Geología es la ciencia que investiga los cambios sucesivos que han tenido lugar en los reinos orgánico e inorgánico de la naturaleza; investiga las causas de esos cambios, y la influencia que ellos ejercen en la modificación de la superficie y la estructura externa de nuestro planeta. Esas investigaciones sobre el estado de la Tierra y sus habitantes de periodos pasados, nos permiten adquirir un mejor conocimiento de las condiciones presentes, y una mayor comprensión de las leyes que ahora gobiernan las producciones animadas e inanimadas. Cuando estudiamos la historia, obtenemos una más profunda visión de la naturaleza humana...

Encuentro que Lyell expresa lo que es el uniformitarismo. El conocimiento de las fuerzas geológicas que modifican a la naturaleza y las causas de esos cambios que sería el objetivo de la

geología nos permite tener una mejor comprensión de la ley uniformitarista. Para Lyell el estado que presenta la corteza terrestre no se debe a grandes cataclismos, sino que en realidad es el resultado de una lenta evolución geológica.

Lyell argumentaba que los geólogos debieran adoptar el método científico de Newton, pues sólo en este camino la geología podría conseguir el estatus de ciencia que caracterizaba a la astronomía y a la mecánica. En este sentido Lyell adoptó el método de la *vera causa* para resolver problemas particulares de la geología. John Herschel (1792-1871), influyó en Lyell sobre el principio de la *vera causa* que fue desarrollado en sus *Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*. Para Herschel el principio de *vera causa* se aplica a las causas que tienen una existencia real en la naturaleza y no son sólo hipótesis o invenciones de la razón. La adhesión de Lyell al método de la *vera causa* generó su principio del uniformitarismo. Para articular el método de la *vera causa* en geología, Lyell se basó en el hábito, común en los geólogos, de hacer inferencias del pasado para el presente y viceversa, en una epistemología empirista. Entendido este camino, el uniformitarismo Lyelliano no es un método desarrollado sólo para compartirse con los problemas de la geología, sino es una adaptación de un método para ser empleado extensamente en todas las ciencias (Laudan, R. 1987).

En sus *Principles* Lyell en lugar del catastrofismo, estableció el uniformitarismo como la filosofía aceptada para la interpretación de la historia de la Tierra. Podríamos decir que tendió a exponer con mayor claridad el paradigma Huttoniano, *sensu* Kuhn (1970), y hacerlo prevalecer.

Como a los neptunistas, con los que se les ha relacionado con frecuencia, los catastrofistas tenían en general mala prensa. En la mitología popular eran aquellos que daban rienda suelta a la fantasía, que aducían a causas sobrenaturales y permitían que sus investigaciones geológicas las dictaran, a priori, sus creencias metafísicas (Hallam, 1989).

Hooykaas (1963), considera que ha existido una confusión muy extendida sobre la diferencia entre método (es decir, técnica de investigación) y sistema (una teoría que lo abarca todo). El catastrofismo es un sistema que se remonta a las cosmogonías especulativas de Thomas Burnet (1635-1715), John Woodward (1665-1722) y William Whiston (1667-1752). El uniformitarismo por otra parte, tal como observa Lyell, es un sistema y un método. Es perfectamente posible utilizar métodos actualistas y llegar a conclusiones catastrofistas.

Fue precisamente en la *Quarterly Review* donde William Whewell (1794-1866) profesor de Mineralogía en Cambridge y uno de los principales críticos de Lyell, fue quien acuñó e introdujo los términos de catastrofismo y uniformitarismo. La controversia entre catastrofistas y uniformitaristas que animó las reuniones de la *Geological Society* durante los años de 1830, nunca alcanzó la aspereza que había caracterizado a la controversia neptunista-plutonista-vulcanista.

Rudwick (1987), distingue en el libro de Lyell cuatro significados diferentes de uniformitarismo:

- 1) La ley uniformitarista. Las leyes de la naturaleza son constantes en el tiempo y en el espacio.
- 2) La uniformidad de los procesos. Si se puede representar un fenómeno del pasado como el resultado de un tipo de proceso que actualmente sigue operando, no tenemos que recurrir a causas desconocidas o extinguidas para su explicación.
- 3) Gradualismo o uniformidad en la proporción. El ritmo de cambio es generalmente lento, regular y gradual.



4) Uniformidad de estado o antiprogresismo. El cambio no solamente se da de manera majestuosa y uniforme a lo largo del tiempo y del espacio, sino que además la historia de nuestro planeta demuestra que no sigue ningún vector específico de progreso que se halle dispuesto en alguna dirección inexorable.

Para Rupke (1970), durante el siglo XIX el uniformitarismo reemplazó más y más al catastrofismo como un cuadro explicativo dentro del pensamiento geológico. Sin embargo, la idea de la deriva continental persiste como una clase de evento catastrófico. De acuerdo con Vinc (1977), la hipótesis de Wegener fue la primera que formuló el concepto de deriva dentro de un cuadro de explicación uniformitarista.

#### **1.4. DARWIN Y LAS IDEAS DERIVISTAS**

Charles Darwin (1809-1882) se formó como geólogo. Inevitablemente se tiende a contar a Darwin entre los biólogos, preocupado por el origen y la evolución de las especies vegetales y animales. Sin embargo, la verdad es que antes que biólogo fue geólogo, cuando tomó parte en la travesía del Beagle de 1831 a 1836. Gracias a los buenos oficios de Henslow, Darwin iniciaba en el verano de 1831 su primer trabajo de campo con Adam Sedgwick (1785-1873)<sup>7</sup> responsable de la cátedra Woodward de Geología en Cambridge. Justamente ese fue el trabajo que indujo a Sedgwick a definir el sistema Cámbrico. Así, a escasos meses antes de embarcarse en el Beagle, Darwin se había adiestrado en los trabajos de campo nada menos que de la mano del más eminente geólogo británico de campo (Herbert, 1986)

La de 1830-1839 es considerada la década de oro para la geología del siglo XIX. En esa época, la geología combinó el énfasis tradicional puesto por la historia natural en la particularidad de las cosas, con la apertura al trabajo teórico; una mezcla que compaginó muy bien con la capacidad y gustos de Darwin. Iniciado ya el viaje en el Beagle, no tardó en decidirse por centrar su labor en la vertiente geológica. En su perspectiva, las fuerzas externas e internas habían conformado la Tierra. En su autobiografía, infirió la historia geológica de la isla Santiago mediante el estudio de sus rocas; Darwin dijo: *"cobré conciencia de que quizá valiera la pena escribir una obra sobre la geología de los diferentes países que visitara; eso me embargó en una agradable sensación de deleite"*.

Para Herbert *op cit.*, que Darwin se imaginara así mismo como autor de una obra importante sobre geología a tan temprana edad, rondaba por entonces los 23 años, era un signo de su ambición. Una ambición realista, porque sabía que la geología de América del Sur, en particular el confin meridional del continente, estaba tan poco explorado que su trabajo tenía que ser original. Contaba además, con la influencia y la inspiración de dos importantes trabajos que acababa de leer: la narración personal de los viajes de Humboldt por América del Sur, de un notable contenido geológico, y los *Principios de Geología* de Charles Lyell, cuyo primer volumen, aparecido en 1830, encantó a Darwin por su estilo atrevido y contenido provocador.

Darwin había recibido una formación geológica en la escuela catastrofista representada por Sedgwick. En su autobiografía, Darwin da la impresión de que su convencimiento total y absoluto de las ideas de Lyell ocurrió de un modo más bien súbito tan pronto como llegó a Santiago. Sin embargo, esto no fue exactamente así, pues se sabe que las diferencias de opinión entre Lyell y otros geólogos, como Sedgwick, no eran tajantes. Con respecto a la geología aplicada ambas facciones seguían por lo general una metodología actualista y no proponían la ocurrencia de muchos

El trabajo de campo geológico que Darwin hizo en Santiago de Chile no tendría nada anormal para un seguidor de Sedgwick, solo que éste no consideraría las elevaciones y hundimientos al respecto de un modo tan significativo. Pero esta claro que cuando el Beagle zarpó hacia Suramérica, donde Darwin pasaría cuatro años, éste todavía no había abandonado todas sus creencias en la teoría catastrofista. Sin embargo, Darwin no tardó en empezar a usar la palabra *diluvial* entre comillas, y está claro que su creencia en cataclismos de máxima envergadura había comenzado a dispersarse. Durante su estancia en Suramérica la influencia de Lyell no dejó de aumentar, y cuando abandonó ese continente en 1835 ya era un actualista a la manera de Lyell sin reservas; no creía en la ocurrencia de cataclismos y por el contrario, estaba enteramente convencido de la teoría del equilibrio dinámico de Lyell.

A continuación, queremos considerar aquí como otra posible influencia en Darwin el trabajo de Snider y en este sentido especular sobre si Darwin llegó a conocer el trabajo de Snider.

Le Grand (1988), señala que el trabajo de Snider (1858) atrajo poco la atención, sin embargo sus mapas describen la unión de los continentes, los cuales fueron reimprimos en una popular introducción inglesa a la geología por Pepper en 1861, más de diez años antes de la última edición, en 1872, de *El Origen*....

Snider era un catastrofista, que especulaba que cuando la masa en fusión de la Tierra se enfrió y cristalizó, los continentes quedaron de un solo lado, creando una inestabilidad que solo se resolvió después del Diluvio: en ese momento, extensas catástrofes fracturaron y separaron las Américas del Viejo Mundo (Hallam, 1976).

Darwin pudo haber considerado las ideas de Antonio Snider, que publicó su trabajo un año antes de la publicación en 1859 de la primera edición de *El Origen*. La publicación del trabajo original de Snider fue en francés, pero Darwin no tendría problema al respecto, sin embargo, la publicación inglesa de la obra mostraba las interesantes reconstrucciones de la unión y posterior separación del Nuevo y el Viejo Mundo. Sin tratar de justificar a Darwin y sin pretender sobreinterpretarlo, pienso que probablemente Darwin estaba enterado del trabajo de Snider y que sin embargo no lo convenció. Independientemente del juicio de Hallam (1989) pienso que los mapas de Snider son provocativos y que a una mente abierta debieron parecerle una idea interesante. Además, Snider se valió de información de índole paleontológica para postular sus ideas y uniones. Otra cuestión puede ser que Darwin no leyó nunca el trabajo de Snider, como ocurrió en el caso del trabajo de Mendel.

Ahora, Darwin era un uniformitarista convencido al momento de escribir *El Origen*. Por tanto, debía tener una concepción de la Tierra dinámica, con una visión geológica distinta a la catastrofista que le podría permitir considerar las ideas derivistas. Darwin debía tener conocimiento de las más importantes ideas geológicas expuestas durante el siglo XIX al menos. Cabe preguntarse ¿Si eran del conocimiento por Darwin las incipientes ideas derivistas, no las consideró por falta de evidencia empírica suficiente, o porque siendo un evento que implicaría ligarlo con el catastrofismo no podía ser admitido por un uniformitarista como explicación científica de un suceso?.

A continuación se expone lo que consideramos como el conocimiento por Darwin sobre inferencias geológicas derivistas.

Darwin (1859), en *The Origin of Species*, capítulo XI sobre la *Distribución Geográfica* dice:

Ningún geólogo encuentra dificultad en que la Gran Bretaña posea los mismos cuadrúpedos que el resto de Europa, pues no hay duda de que en otro tiempo estuvieron unidas.

Buffon (1785) ya hacía mención a algo semejante:

Muchos autores como Versteegan, Twinc, Sommer, y señaladamente Campbell en su descripción de Inglaterra, en el capítulo de la Provincia de Kent, dan razones muy poderosas para probar que la Inglaterra estuvo en otro tiempo unida á la Francia, y que fue separada de ella por un golpe de mar, el cual, habiéndose abierto aquella puerta, dejó descubierta gran cantidad de tierras bajas y pantanosas á lo largo de las costas meridionales de Inglaterra...

Darwin se refiere a la unión de Gran Bretaña con Europa como consecuencia de un corredor, resultado de una regresión marina, estableciéndose así un «puente» que permitió migrar a los organismos de un sitio a otro. Este puente no es del mismo tipo que los postulados como tierras emergidas y que como veremos posteriormente, isostáticamente no serían posibles. Darwin y Buffon en estos términos percibían la separación de la Gran Bretaña del resto de Europa como resultado de una transgresión marina. Sin embargo, Darwin habla en términos de corredores para establecer las uniones, pero nada más.

En el mismo capítulo Darwin dice:

Ningún geólogo discute el hecho de que han ocurrido grandes cambios de nivel dentro del periodo de los organismos actuales. Edward Forbes ha insistido sobre el hecho de que todas las islas del Atlántico tienen que haber estado, en época reciente unidas a Europa o Africa y también Europa con América. De igual modo, otros autores han tendido puentes hipotéticos<sup>8</sup> sobre todos los océanos, y han unido casi todas las islas con algún continente

Más adelante, en el capítulo XII sobre la *Distribución Geográfica* dice:

No niego que existen muchas y serias dificultades para comprender cómo han llegado hasta su patria actual muchos de los habitantes de las islas más lejanas, ya conserven todavía la misma forma específica, ya se hayan modificado después. Pero no hay que olvidar la probabilidad de que hayan existido en otro tiempo, como etapas, otras islas, de las cuales no queda ahora ni un resto.

Darwin ha leído los trabajos de Forbes y considera que éste tenía una idea diferente a la suya, puesto que plantea las uniones de todas las islas con los continentes, lo que interpretamos a partir de procesos de transgresión y regresión marina de gran amplitud. Para Darwin, las islas cercanas a los continentes podían haber estado unidas como resultado de regresiones marinas locales, que permitían el establecimiento de corredores, que posteriormente desaparecen como resultado de una transgresión formando una barrera geográfica. Para Darwin la postulación de puentes hipotéticos o puentes continentales no parecen descansar sobre evidencia sólida, pues en la obra en general y en los capítulos que trata sobre la distribución geográfica apenas los menciona. En estos párrafos, se establecen por Darwin al menos cuatro ideas de índole geológico para explicar la distribución de los organismos, en particular las distribuciones anómalas: la explicación de Forbes, la de quienes postularían puentes hipotéticos y las de Darwin sobre las cadenas de islas y los corredores.

Para redondear esto, Darwin señala:

...Realmente, si hay que dar fe a los argumentos empleados por Forbes, tenemos que admitir que apenas existe una isla que no haya estado unida a algún continente. Esta opinión corta el nudo gordiano de la dispersión de una misma especie a puntos sumamente distantes y suprime muchas dificultades; pero, según mi opinión, no estamos autorizados para admitir tan enormes cambios geográficos dentro del periodo de las especies actuales. Me parece que tenemos abundantes pruebas de grandes oscilaciones en el nivel de la tierra o del mar; pero no de cambios tan grandes en la posición y extensión de nuestros continentes para que en un periodo reciente se hayan unido entre si y con las diferentes islas oceánicas interpuestas. Admito sin reserva la existencia anterior de muchas islas, sepultadas hoy en el mar, que han servido como etapas a las plantas y a muchos animales durante sus emigraciones.

Pienso que Darwin tenía conocimiento de algunas ideas derivistas, esto es, de que la posición geográfica de los continentes podría haber variado, sin embargo, por alguna razón no las considera seriamente. Incluso sorprende su reconocimiento, como admite, sobre las posibilidades de interpretación biogeográfica que le hubiera proporcionado la idea de una posición distinta de los continentes. La consideración de las ideas de Forbes, le hubieran permitido a Darwin resolver problemas sobre la distribución de las especies, pero lo que ocurre es sólo un rechazo a esas ideas. Darwin, sin embargo, rechazó la visión de Forbes cuando reconcilió su conocimiento de la distribución biológica con su doctrina de que cada especie procede de un único sitio.

El trabajo de Edward Forbes (1815-1854), si bien supuso la existencia de centros de origen, al analizar las relaciones entre los distintos elementos de la flora Británica con sus parientes continentales, llegó a la conclusión de que la serie de especies idénticas que se encuentran a ambos lados del Canal de la Mancha, se explican mejor por un solo episodio de aislamiento que separó a Gran Bretaña del continente europeo, que por dispersiones repetidas e independientes (Bueno y Llorente, 1991).

Es bien conocido que Darwin tuvo dos influencias muy importantes en su vida: una, la de Charles Lyell, su tutor, protector y consejero; la otra, de J.D. Hooker (1817-1911), su colega y crítico más conocedor de sus ideas sobre la evolución y la biogeografía. A partir de 1844, Darwin trabajó con más coherencia su teoría acerca del origen de las especies, con la constante ayuda de Hooker y mediante una abundante correspondencia no solamente acerca de la identificación de plantas y la provisión de listas de las mismas de acuerdo con su lugar de origen, sino en especial con la crítica de las ideas globales de Darwin acerca de la biogeografía, las relaciones de floras y faunas, las adaptaciones de los organismos. Hooker, al igual que Darwin, pensaba que la comprensión de la distribución geográfica de los animales y las plantas era una pieza clave para entender el origen de las especies, ya que su distribución podría explicar aspectos de su desarrollo y esto marcaba una importante diferencia entre ellos y Lyell.

Lyell estaba convencido de la fijeza de las especies y consideraba de gran importancia el descubrimiento de los principios que determinan la distribución geográfica, pero no que ayudarían a explicar el desarrollo de las especies.

En el capítulo V tomo II de sus *Principles of Geology* (1832) dice:

...la consideración de las leyes que regulan su distribución geográfica es un tema de primera importancia para los geólogos. Sólo por el estudio de esas leyes con atención, y por la observación de la posición que grupos de especies ocupan en el presente, y la investigación de como ellos cambiaron en el curso del tiempo por migraciones, por cambios en la geografía física, y otras causas, nosotros podemos esperar saber si la duración de las especies es limitada, o de que manera el estado del mundo animado se afecta por las continuas vicisitudes de lo inanimado.

Y más adelante, en el capítulo X tomo II de sus *Principles of Geology* señala:

El número y distribución de especies particulares se afecta en dos sentidos, por cambios en la geografía física de la Tierra. Primero, esos cambios promueven o retardan la migración de las especies; segundo, alteran las condiciones físicas de las localidades que las especies habitan.

Darwin (1859), dice:

...se presentan muchos casos en los que no podemos explicar cómo la misma especie pudo haber pasado de un punto a otro. Pero los cambios geográficos y climáticos que se han producido en tiempos geológicos recientes tienen que haber convertido en discontinua la distribución geográfica, antes continua de muchas especies.

Se establece de lo anterior la influencia que Lyell va a tener en los escritos de Darwin. Lyell establece la pertinencia de los cambios en la geografía física de la Tierra y Darwin asume a su vez como esos cambios han afectado la distribución geográfica de las especies.

En una carta de C. Darwin a A.R. Wallace el 25 de enero de 1859 (F. Darwin, 1892) dice:

Me pregunta por el estado de ánimo de Lyell. Creo que empieza a vacilar, pero no cede y muchas veces me habla con horror de lo que sería y el trabajo que supondría la próxima edición de «The Principles», si consiguiéramos pervertirlo. Pero es enormemente sincero y honrado y creo que acabará por dejarse pervertir. El doctor Hooker se ha vuelto tan heterodoxo como usted o como yo y considero a Hooker el juez más competente, con mucho, en Europa.

Hooker fue uno de los primeros que sugirieron la intervención de cambios tectónicos para explicar los patrones de distribución biótica septentrionales. Hooker, proponía que era adecuado pensar en movimientos continentales para explicar la similitud entre las biotas endémicas de la Patagonia, Australia y Nueva Zelanda (Llorente y Espinosa, 1992).

Hooker retomó la idea de Forbes y la generalizó para explicar la distribución de especies vegetales en el hemisferio sur, supuso la misma historia para las biotas y la Tierra. Afirmó que para entender la distribución actual de plantas, es necesario estudiar los cambios que ocurrieron en el pasado tanto en el clima como en la distribución de tierras y mares. Para Hooker, después de haber estudiado la flora del hemisferio austral, así como los mecanismos de dispersión de diversos grupos vegetales, concluyó que las afinidades entre grupos endémicos de Australia, Tasmania y Nueva Zelanda, con la porción austral de Sudamérica y de Africa, podía entenderse mejor bajo la hipótesis de que en el pasado existió una gran masa terrestre continua, posteriormente fragmentada y disgregada. Aunque en el tiempo en que vivió Hooker predominó una visión inmovilista de la corteza terrestre, se pensaba en la mayor facilidad de los organismos para desplazarse hasta encontrar continentes que imaginar una fuerza tan colosal que moviera continentes enteros (Bueno y Llorente, 1991).

Darwin, decidió considerar lo siguiente, expresado en el capítulo XI sobre *Distribución Geográfica*:

Creiendo, por las razones que antes se han expuesto, que los continentes actuales han permanecido mucho tiempo casi en las mismas situaciones relativas, aunque sujetos a grandes oscilaciones de nivel,<sup>9</sup> me inclino mucho a extender la hipótesis precedente, hasta deducir que durante un periodo anterior más caliente, como el periodo plioceno antiguo, en las tierras circumpolares, que eran casi ininterrumpidas, vivía un gran número de plantas y animales iguales y que estas plantas y animales, tanto en el mundo antiguo como en el nuevo, empezaron a emigrar hacia el Sur cuando el clima se hizo menos caliente, mucho antes del principio del periodo glacial.

A pesar del contexto en que Darwin escribe su trabajo, esto es, en el marco del surgimiento de las primeras ideas derivistas, él mantiene una visión inmovilista de la corteza terrestre y solo considera la aceptación de posibles corredores para explicar la distribución de ciertos grupos de organismos, pues recordemos que para él lo que mejor explica esa distribución es la dispersión a través de lo que denomina medios accidentales de distribución. Para Darwin son más importantes los efectos de las regresiones y transgresiones marinas para establecer uniones y desuniones entre regiones y así explicar la distribución de los organismos. Desde esta perspectiva, a Darwin lo podemos situar con una visión permanentista de los continentes.

## 2. LAS IDEAS DE FRANK B. TAYLOR<sup>10</sup>

En este siglo las ideas derivistas fueron retomadas por Frank B. Taylor (Fig. 5), quien publicó en junio 3 de 1910 en el *Bulletin of The Geological Society of America* un trabajo con el título *Bearing of the tertiary mountain belt on the origin of the Earth's plan*. De acuerdo con Hallam (1989), en el se presenta la primera hipótesis coherente sobre lo que ahora llamamos la deriva de los continentes.

El punto de partida de la hipótesis de Taylor no es, como podría esperarse, la coincidencia del contorno de los continentes que bordean el Atlántico, sino la disposición de las cadenas montañosas del Terciario en Eurasia. Sin duda, dice Hallam (1989), Taylor había leído con gran interés la amplia descripción que hace de estas cadenas E. Suess en *The Face of the Earth*. En las fronteras sur y este de Asia y también en la región mediterránea, se encuentra una serie de arcos montañosos cuya cara convexa mira hacia el océano y muestra señales de compresión lateral en la forma de estratos plegados y yuxtapuestos. De su análisis de las líneas fundamentales de estas cadenas, Suess deducía que podían interpretarse como resultado de hundimientos oceánicos y de presiones tanguenciales dirigidas hacia el océano y procedentes de ciertos vértices septentrionales llamados horts, después de la contracción producida por el enfriamiento de la Tierra.

Taylor fue un apasionado admirador del método de investigación de Suess sobre la estructura de la Tierra, mapeando la línea de dirección de esas cadenas. No obstante le entristeció la causa de la construcción de las montañas del Terciario invocada por Suess. Esta causa no fue otra que la hipótesis de la contracción, que Taylor rechazó (Laudan, R., 1985).

Todas las formas de la hipótesis de contracción se encuentran con dos insuperables dificultades referentes a la formación de montañas del periodo Terciario. Falta una explicación satisfactoria de la distribución de las montañas del Terciario sobre la superficie de la Tierra y no se explica como grandes periodos de formación de montañas pudieron haber ocurrido en tiempos recientes. Si debido a la contracción se levantaron desde su enfriamiento, es necesario suponer un largo periodo de acumulación y almacenamiento de fuerzas forjadoras de montañas antes del comienzo del movimiento de plegamiento (Taylor, 1910).

Taylor apoyaba la noción de un desplazamiento de la corteza desde altas a bajas latitudes tomando como ejemplo a Groenlandia, a la que consideraba un resto de un antiguo bloque de donde se habían desprendido Canadá y el norte de Europa siguiendo la línea de las zonas de torsión o rifts. Suess y otros habían observado con interés la estrecha semejanza de las rocas y estructuras paleozoicas a ambos lados del Atlántico Norte, a pesar de que atribuían esto al hundimiento de la Atlántida y no a la deriva de los bloques continentales.

Taylor se refería con menos detalle al hemisferio sur, pero consideraba que Australia se había desplazado hacia el noreste por la presencia de cinturones de plegamientos Terciarios en Nueva Guinca y las zonas aledañas. La cordillera central del Atlántico, que era ya conocida como una importante cadena montañosa submarina paralela a las costas, era para Taylor la línea de la zona de rift entre Africa y América del Sur. Pero en tanto que este último continente se había desplazado hacia el oeste durante el Terciario, como lo demostraba la cordillera de los Andes, la ausencia de jóvenes cadenas montañosas similares del lado africano indicaba que no había habido movimientos posteriores al Carbonífero (Hallam, 1989).

Taylor no atendió demasiado al mecanismo del desplazamiento continental en su trabajo de 1910, pero en trabajos posteriores sugirió la acción de las mareas cuando la Luna fue capturada, y no



Fig. 5. Frank Bursley Taylor (1860-1938) (tomada de: Totten, 1981)

perdida por la Tierra durante el Cretácico. Por más que sus ideas eran sumamente interesantes, sólo en pequeña medida se apoyaban en pruebas independientes.

Dos fueron las razones por las que la hipótesis de Taylor recibió poca atención. En primer lugar, cierto número de movimientos continentales resultan implícitos a causa de la estructura de las zonas orogénicas, pero parece una extravagancia innecesaria invocar miles de kilómetros de translaciones horizontales cuando sería suficiente con 30 a 60 kilómetros y raramente más. En segundo lugar, el intento de Taylor de explicar los pretendidos movimientos resultaba inaceptable. Suponia que la Luna se separó como satélite de la Tierra durante el Cretácico y que durante la época de su acercamiento y captura estuvo mucho más cerca de la Tierra que en la actualidad. Las fuerzas de marea resultantes fueron supuestas lo suficientemente poderosas, no solamente para modificar la velocidad de rotación de la Tierra, sino también para arrastrar los continentes alejándolos de los polos (Holmes, 1952).

Aparte de la improbabilidad de que la Tierra careciera de satélite hasta el Cretácico, se pueden hacer dos objeciones a esta hipótesis:

a) Si la elevación de las montañas durante el Cretácico superior y el Terciario fueran correlativas de la supuesta captura de la Luna, entonces es evidente que quedarían sin explicación los ciclos orogénicos más antiguos.

b) Si la fuerza de las mareas producidas en la Tierra por la Luna recientemente capturada hubiese sido capaz de producir la translación de los continentes y elevar las montañas en la escala requerida, entonces la fricción producida hubiera actuado a modo de freno y la rotación hubiera llegado a pararse antes de un año.

De esta manera, expresa Holmes *op cit.*, la explicación de Taylor es insostenible, pero se puede obtener una conclusión y es que, el hecho de que continuara la rotación de la Tierra demuestra que ninguna fricción a modo de marea ni otra clase de fuerza aplicada desde afuera de nuestro planeta pudo ser causante del levantamiento de las montañas o de las derivas continentales.



Desde la muerte de las cosmogonías químicas en la tercera década del siglo XIX, el reino de la cosmogonía que influiría en la Geología será una cosmogonía física, la hipótesis nebular. Se da una estrecha conexión entre la hipótesis nebular y su contraparte geológica, la hipótesis de contracción. Si la hipótesis nebular parece ser soportada, entonces fue natural asumir que la Tierra comenzó como una bola fundida y que gradualmente se enfrió, solidificando primero las capas externas. Como se enfría, se contrae y se causan tensiones en la corteza. Desde 1820, cuando la conexión entre la hipótesis nebular<sup>11</sup> y la hipótesis de la contracción<sup>12</sup> fueron explicadas por el geólogo francés Elie de Beaumont y sus físicos contemporáneos; los geólogos aceptaron la visión geológica de que las irregularidades de la corteza, particularmente la gran cantidad de cadenas montañosas y su corteza arrugada fueron deformadas por la contracción de la Tierra (Laudan, R., 1985).

Taylor sugirió que la hipótesis nebular fue un concepto erróneo, pues carece de soporte empírico. La hipótesis no ofrece razones del porque los planetas se arreglan en dos distintos grupos, separados por asteroides, o porque ellos no exhiben un patrón general en su velocidad del eje de rotación. Taylor avanzó en una hipótesis alternativa. Sugirió que algunos cometas pasaron cerca del Sol y fueron capturados. Los primeros en ser capturados cambiaron a un planeta que se unió a la órbita ahora ocupada por Mercurio. La segunda causa es que todos los planetas se transfieren hacia afuera de su órbita en la dirección de la de Neptuno. Similarmente, los planetas también capturan cometas. Taylor especuló que la Luna pudo ser capturada como un cometa.

Taylor atacó a la hipótesis nebular pero no aisladamente. Como en otras ocasiones, los geólogos glaciales como T.C. Chamberlin (1843-1928), también cuestionaron la viabilidad de la hipótesis nebular. Chamberlin argumentó además de lo geológico la cuestión astronómica. La hipótesis, señaló, falla al explicar la ocurrencia intermitente de las edades de hielo. Propuso una alternativa, su hipótesis planetesimal, en que la Tierra originalmente se formó por la acreción fría de la materia sólida y el subsecuentemente calentamiento. La hipótesis planetesimal de Chamberlin fue tomada seriamente por la comunidad científica y la cosmogonía de Taylor desapareció pronto dentro del olvido. Las razones no están lejos de encontrarse. Diferente a Chamberlin quien, con la asistencia de F.R. Moulton, articularon su teoría en detalle y con rigor lo que dominó la atención, Taylor dejó su teoría solo como un esbozo (Laudan, R., 1985).

Esta asociación entre la teoría cosmológica y geológica formó uno de los temas predominantes a través de la Geología del siglo XIX. Alcanzó su apogeo en el cuarto volumen del trabajo *Das Antlitz der Erde* (1883-1909) del geólogo austriaco E. Suess.

Señala Laudan *op cit.*, que Taylor al igual que Alfred Wegener, prefirió abandonar la estructura conceptual en que la Geología del siglo XIX se había dado, reinterpretando los datos empíricos que se tenían bajo su nueva perspectiva.

Wegener desarrolló sus ideas independientemente, poco tiempo después. Realizó un prolijo análisis geofísico, cosa que Taylor no hizo, y obtuvo a lo largo de los años una considerable cantidad de pruebas de diversas fuentes. En este sentido, la relación de Taylor con Wegener es similar a la de Wallace con Darwin (Hallam, 1989).

Wegener (1929), comenta que encontró grandes semejanzas con sus propias teorías en el trabajo de Taylor de 1910, donde éste acepta para el Terciario importantes translaciones horizontales de los continentes, que relaciona con los grandes sistemas de plegamiento de esta época. Por ejemplo, para la separación de Groenlandia y Nortamérica, dice Wegener, se llegó prácticamente a conclusiones idénticas.

Respecto al Atlántico, supone que tan sólo parte de él se ha originado por migración del bloque americano, mientras que el resto se hundió, originando la cresta centroatlántica. Por esta razón, dice Wegener, los americanos la denominan a veces como la teoría de Taylor-Wegener a la teoría de la deriva.

Al leer las publicaciones de Taylor, Wegener encuentra que este autor, buscaba un principio genético que explicara la disposición de las grandes montañas, principio que creyó hallar en la deriva de los continentes desde los polos, y que en este orden de ideas la translación de los continentes, jugaba un papel subordinado y por esta razón el desarrollo de la idea se hacía muy escuetamente. Wegener conoció una gran variedad de trabajos, el de Taylor incluido, cuando ya había él elaborado la teoría de la deriva en sus rasgos principales. Wegener llegó a expresar que no hay que descartar que en el futuro se descubran otros trabajos que incluyan puntos de acuerdo con la teoría de la movilidad continental o bien que hubiesen anticipado algunos de sus temas.

Du Toit (1937), señala que Taylor ignoró las relaciones estratigráficas, paleontológicas y cualquier analogía tectónica antigua del Cretácico, mientras que, salvo el caso de Norteamérica y Groenlandia, él no hizo el intento de ensamblar el acertijo de los fragmentos continentales como espectacularmente lo hizo Wegener.

Aunque la deriva es algunas veces llamada la hipótesis de Taylor-Wegener en los Estados Unidos, en otros países la contribución de Taylor parece tener perdido su reconocimiento. Taylor argumentó que su influencia en la carrera de la teoría de la deriva, fue el dar primero a Wegener un indicio de la hipótesis de la deriva. Para Laudan, la hipótesis denominada también de Taylor-Wegener, se parece más a casos de «descubrimiento simultáneo». Esta es la mejor explicación para ver el descubrimiento como una respuesta similar a cierta clase de problemas y es mejor que las especulaciones acerca de las peculiaridades de la genialidad individual, o de las teorías conspirativas acerca del robo de ideas. Torien (1981) establece que el reciente descubrimiento de una carta de Taylor contiene evidencia de que Alfred Wegener consiguió sus ideas sobre el desplazamiento de Taylor (Laudan, R., 1985).

Entre otros que desarrollaron ideas similares está H.B. Baker. Du Toit (1937), señala que en 1911 Howard B. Baker publicó -ilustrado por ideas del desplazamiento del globo- *The Origin of Continental Forms*. De manera similar a Wegener, postula un único continente, que se fractura, aunque no centralmente, desde Alaska a través del Ártico y debajo de la total extensión del Atlántico al Antártico, en partes desiguales que derivan en direcciones opuestas hacia la región del Pacífico con fracturas subsidiarias y la rotación de ciertas porciones (Fig. 6).

El hemisferio sur es poco tratado, Australia es una obstrucción entre Suráfrica, Antártica y Patagonia. Nueva Zelanda es empujada hacia el oeste. La posición de la India no se indica. Si bien el autor se extiende sobre numerosos paralelismos geológicos con habilidad, da insuficiente atención a las similitudes estratigráficas y tectónicas y a los lugares importantes de reensamble entre las líneas de costa opuestas, que no concuerdan con su hipótesis particular. Por alguna razón, no le da importancia a las implicaciones sobre los climas pasados. En otro sentido, la evidencia biológica forma conexiones entre las varias tierras que presentan considerable extensión.

Baker ve el movimiento de la fractura del Atlántico de fragmentos angulares y su convergencia sobre el Pacífico no como un progresivo y lento acto, pero sí como un simultáneo y rápido vuelo, ocupando un breve periodo durante el pasado Mioceno o Plioceno temprano. Du Toit *op cit.*, dice que la explicación dada por Baker, aunque ingeniosamente trabajada, es bizarra.



Fig. 6. Modelo de unión continental de Howard B. Baker (tomada de: Du Toit, 1937).

Las órbitas excéntricas de la Tierra y Venus suponen variaciones con la consecuente distorsión de las mareas de la Tierra causando una alineación por capas de materia de la corteza, la cual sería descortezada desde la región del Pacífico. Semejante camino desde la Luna! La consecuente pérdida de la mayor parte de las aguas oceánicas capturadas por la Tierra desde la ruptura del hipotético quinto planeta del sistema solar, ahora representado por asteroides. Sin embargo, es inconcebible que tal catástrofe durante el pasado Terciario no hubiera dejado una impresión indeleble sobre el registro geológico de todo el globo.

Este trabajo de Baker, dice du Toit *op cit.*, se caracteriza por su originalidad de perspectiva y presentación; la explicación astronómica prueba ser inaceptable, sin embargo, prueba con riqueza de argumentación en favor de la deriva continental, que es de más importancia.

### 3. LA TEORIA DE LA DERIVA CONTINENTAL DE ALFRED WEGENER

#### 3.1. LA FORMACIÓN DE WEGENER

La idea de la deriva continental<sup>13</sup> está irrevocablemente asociada con el nombre de Alfred Wegener, quien fue el primero que presentó pruebas sólidas de una hipótesis con argumentos lógicos y coherentes, que tenían en cuenta una amplia gama de fenómenos naturales (Hallam, 1989).

Alfred Lothar Wegener (1880-1930), (Fig. 7) nació en Berlín. Fue hijo de Richard y Anna Wegener y tuvo dos hermanos, Kurt y Tony. Por casi trescientos años los Wegener fueron clérigos evangelistas. El padre de Wegener no fue la excepción; Doctor en Teología, estuvo a cargo de un orfanato restringido a los hijos de los académicos, sirvientes civiles y clérigos. En 1886, cuando Alfred tenía seis años, la familia compró una casa de verano a las afueras de Berlín. Desde entonces adquirió su afición por el deporte al aire libre. Practicaba el alpinismo en verano, la natación lo mismo que la navegación. En el invierno acostumbraba esquiar y patinar (Greene, 1984).

Wegener comenzó sus estudios secundarios en el *Cöllnischen Gymnasium* de Berlín y los completó en septiembre de 1899; luego continuó en las Universidades de Heidelberg, Innsbruck y Berlín. De septiembre de 1902 a septiembre de 1903 trabajó como astrónomo en el observatorio de la Sociedad Urania, en Berlín. De 1905 a 1906 estuvo como asistente para el Aeronautic Observatory en Lindenberg. Se doctoró en Astronomía por la Universidad de Berlín, el 24 de noviembre de 1904, con un trabajo que consistió en convertir un juego de tablas astronómicas, las Tablas Alfonsinas del movimiento planetario, de sexagesimales a decimales (Schwarzbach, 1986). Con ello dio término a su incursión en la Astronomía, disciplina en la que se requería talento matemático, equipo caro y un temperamento casero, tres cosas de las que careció, según él mismo afirmaba (Greene, 1984).

Desde sus primeros días de estudiante había tenido la ilusión de explorar Groenlandia y también se había sentido enormemente atraído por una ciencia relativamente moderna, la Meteorología. En preparación para sus expediciones a la Antártica, Wegener entró a programas de caminatas largas. Llegó a dominar el uso de cometas y globos para observaciones climatológicas. Fue tan exitoso como aeronauta, que en 1906, con su hermano Kurt, estableció un récord mundial con un vuelo ininterrumpido de 52 horas. La preparación de Wegener fue recompensada cuando fue elegido meteorólogo de una expedición danesa que partió al noreste de Groenlandia de 1906 a 1908, liderada por Mylius-Erichsen. Fue la primera de cuatro expediciones en las que participó en el territorio que más le interesaba (Hallam, 1975).

De acuerdo con Greene (1984), los dos años que Wegener pasó en Groenlandia, llevó a cabo una variedad de trabajos científicos en Meteorología, Geología y Glaciología. Fue una expedición con fatalidades, pero Wegener sobresalió con una reputación como miembro expedicionario competente y viajero polar. Regresó a Alemania con volúmenes de observaciones climatológicas. Entre 1909 y 1919 califica y recibe habilitación como profesor de meteorología y astronomía, luego es designado *Privatdozent* y después de 1917, profesor de la University of Marburg. En esta época publica más de cuarenta artículos, la mayoría basados sobre sus estudios de precipitación en Groenlandia e inversión térmica, sobre el origen de las tormentas ciclónicas y fenómenos ópticos de



Fig. 7. Alfred Lothar Wegener (1880-1930)

altas latitudes, ilustradas con algunas de las cientos de fotografías que él tomó. Este periodo, que fue el más productivo de su carrera científica, culminó con su primer libro *Thermodynamik der Atmosphäre* (1911), que alcanzó tres ediciones y luego dejó de imprimirse por voluntad expresa de su autor, para ser sustituido por uno nuevo, publicado en 1935 con el título *Vorlesungen über Physik der Atmosphäre*, en el que estaba como segundo autor su hermano Kurt Wegener (Wegener, K., 1961). En opinión de Greene (1984) los meteorólogos han aclamado a Wegener como uno más de sus colegas y la teoría de la precipitación conocida por muchos años como la teoría de Bergeron-Findeison ha sido nuevamente bautizada como la teoría de Wegener-Bergeron-Findeison basada en el acierto que Bergeron obtuvo de ese primer libro.

En Marburg, Wegener renovó amistad con Wladimir Köppen (1846-1940), quien anteriormente lo había provisto con equipo para el viaje hecho a Groenlandia en 1906. Visitó a la familia Köppen varias veces en Hamburgo, adquiriendo valiosos consejos del maestro meteorólogo y formando una creciente amistad con su hija Else Köppen, quien más tarde se convirtió en su esposa en 1913, y colaboradora científica. Tuvieron tres hijos, Hilde, Kathe y Charlotte (Fig. 8). Recién casado, se asentó nuevamente en Marburg para continuar con un ambicioso programa de investigación en física atmosférica. Sin embargo, la guerra mundial provocó que sus planes se detuvieran.

En el Instituto de Física de Marburg donde estuvo como profesor desde 1908 hasta 1912, se le recuerda como un maestro joven y dinámico cuyas cualidades más sobresalientes eran su sinceridad intelectual y su espíritu abierto, unidas a su modestia en el trato con sus discípulos. Sus lecciones cautivaban siempre a sus oyentes por su notable sencillez y claridad (Takeuchi *et al.*, 1986).

En 1912 Wegener realizó una nueva expedición a Groenlandia con el explorador danés J.P. Koch, expedición notoria por ser la travesía más larga hecha a pie del casquete glaciar, que tenía el propósito de realizar estudios en Glaciología y Climatología. Fue a Groenlandia como líder de las expediciones en 1929-1930 y 1930-1931 (Bullen, 1976).

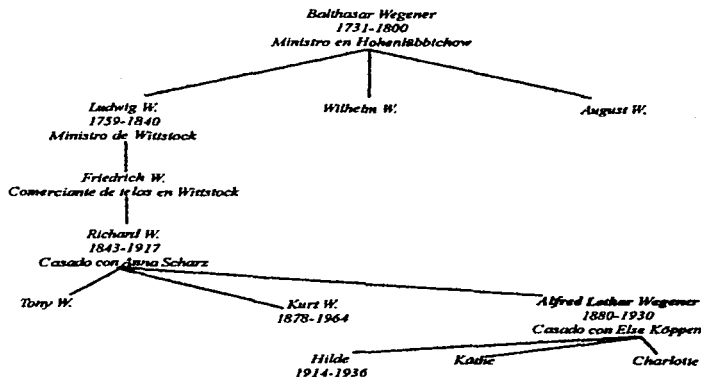


Fig. 8. El árbol familiar de los Wegener (tomada de: Schwarzbach, 1986).

De 1914 a 1919 Wegener estuvo en el ejército. En 1914 fue llamado a filas como teniente de infantería del tercer regimiento de granaderos de Queen Elizabeth. Durante el avance dentro de Bélgica fue herido en el brazo recobrándose pronto de su herida. Alrededor de catorce días después regresó a filas y ahora una bala se alojó en su cuello. Como resultado de esto, ya no fue apto para el deber y fue empleado en el campo del servicio militar climático, donde estudio los tornados e investigo el impacto de un meteoro muy grande. Su convalecencia duró hasta bien entrado 1915 y utilizó el tiempo para revisar y ampliar su evidencia para la teoría del desplazamiento de los continentes, que apareció ese año como un libro de noventa páginas.

El duro año después del armisticio, los Wegener unieron viviendas con la familia Köppen en Hamburgo. De 1919 a 1924, Wegener regresó a la vida académica, sucediendo a su suegro en la dirección del Departamento de Meteorología Teórica del servicio atmosférico del German Marine Observatory y trabajando también en la Universidad de Hamburgo. Junto con su hermano, Kurt Wegener (1878-1964), quedaron a cargo de la estación experimental meteorológica situada en Grost Borstel, próxima a Hamburgo. Alfred Wegener se hizo cargo del coloquio Geofísico, que regularmente se reunía en casa de Köppen. Entretanto continuaba su trabajo sobre Groenlandia. En un viaje que hizo a los mares de Cuba y México durante 1922, llevo a cabo mediciones junto con el Dr. Erich Kuhbrodt de las corrientes superiores sobre el Atlántico, anticipándose así al viaje aéreo trasatlántico (Schwarzbach, 1986).

De acuerdo con Greene (1984), los años de 1919-1924 fueron inmensamente productivos. Su cercanía con Wladimir Köppen y su hermano Kurt dio como resultado una serie de colaboraciones intensas. Köppen, al principio escéptico sobre las ideas de Wegener sobre el deslizamiento de los

continentes e incluso temeroso de que se arruinara su oportunidad de profesorado con tales especulaciones, se convenció posteriormente. Ya retirado, Köppen dedicó más y más tiempo a desarrollar con Alfred una nueva línea de evidencia sobre el desplazamiento continental, que dio como resultado en 1924 la publicación de un trabajo conjunto intitulado *Die Klimate der Geologischen Vorzeit*. La energía de Alfred y su amplia percepción fue complementada con la experiencia, sagacidad y erudición de Köppen. Los paleoclimatólogos han reconocido por mucho tiempo la gran importancia del trabajo de Wegener en esta área.

Wegener perseguía también otros intereses. En 1919 publicó un breve y excelente libro *Die Entstehung der Mondkrater*, donde defendía la hipótesis de que los cráteres de la Luna eran creados por impacto en lugar de ser resultado de actividad volcánica. Su defensa estaba basada sobre algunas simulaciones y fotografías. Aunque tal trabajo no tenía ninguna conexión meteorológica o con el desplazamiento continental, rondaba sobre ambas materias. Si la Luna tenía volcanes o no, tenía relación sobre el origen de la Luna, su edad y constitución física, que a su vez tenía implicaciones con teorías geofísicas en discusión. Wegener había pasado muchas noches mirando a la Luna, desde que la comparación de los lunares (posiciones aparentes de la Luna contra las estrellas fijas) eran uno de los pocos medios de medición en el desplazamiento continental.

Con relación a la controversia sobre el origen de los cráteres lunares, bien por acción volcánica o por bombardeos meteoríticos, Wegener llevó a cabo un experimento ingenioso: dejó caer yeso en polvo encima de una delgada capa de cemento en polvo. Fue capaz de producir réplicas en miniatura de los cráteres lunares de una manera tan exacta que convenció a todos los astrónomos de que la hipótesis meteórica era la correcta (Asimov, 1982).

Todos estos años significaron un profundo involucramiento de Wegener con la teoría del desplazamiento continental. Una edición revisada y ampliada del libro apareció en 1920 y otra nueva apareció en 1922. El interés en este trabajo y la aparición del libro sobre paleoclimas, lo llevó finalmente a ser llamado a un profesorado en Meteorología y Geofísica en la Universidad de Graz, Austria, por el año de 1924. Allí formaría Wegener un grupo de profesores especializado en Meteorología y Geofísica.

Por 1926, la hipótesis de Wegener era tan controversial y bien conocida que se organizó un simposio sobre ella se llevó a cabo en Nueva York, promovido por la Asociación Americana de Geólogos Petroleros. Wegener no asistió (Greene, 1984), y quizá fue una buena decisión, ya que los participantes, casi todos británicos y americanos, hicieron virulentos ataques no sólo a sus ideas, sino también a su persona, empleando incluso la difamación y dudando abiertamente de su originalidad, competencia y honestidad. Wegener quedó herido con esta respuesta y mientras llevaba a cabo una revisión mayor de su libro a la luz de nuevas publicaciones y nuevas críticas, le comentó a su hermano Kurt que sería la última edición de su libro. Los escritos en torno a su teoría crecían tan rápidamente que se hacía prácticamente imposible que una sola persona pudiera estar al tanto de ellos. En 1928, Wegener decidió que una nueva revisión de su libro sería superior a sus fuerzas, no sólo por lo extenso de la literatura sino por el carácter cada vez más especializado que adquiría. Por tanto, su deseo fue que cualquier edición adicional que pudiera resultar apareciera sin alteración (Wegener, K., 1961).

Una expedición alemana a Groenlandia fue sugerida en 1927 por uno de sus estudiantes, a la que respondió con entusiasmo. Esta nueva expedición fue en colaboración con J.P. Koch, sin embargo, éste murió en 1928. Wegener recibió fuerte apoyo de la Asociación Alemana de Investigación. Su experiencia y reputación provocaron que fuera la elección natural para ser el líder. El plan principal era colocar una estación climática para pasar el invierno dos veces a la mitad de la capa de hielo y así

adquirir mediciones climatológicas sistemáticas producidas por las tormentas y las implicaciones de un vuelo trasatlántico. Otros objetivos fueron bosquejados en un amplio programa de Meteorología y Glaciología y pruebas geofísicas del deslizamiento continental. Una expedición importante comenzó en 1930 y cuyo resultado más relevante fue el descubrimiento de que el espesor del hielo interior era de más de 1800 m.

En 1929 Wegener y dos colegas hicieron una expedición preliminar y en 1930 la expedición se embarcó por completo. Hubo grandes dificultades desde el comienzo. Los abastecimientos de las instalaciones de tierra adentro no estuvieron a tiempo y el acercamiento del invierno provocó que Wegener se esforzara por prever una base para cuando ellos estuvieran en los cuarteles de invierno. Salió desde la costa Este con una gran caravana, con fuertes vientos y nieve, que provocó la desertión de los groenlandeses contratados. Wegener y otros pocos sufrieron todo septiembre y en el mes de octubre llegaron sin provisiones y con uno de los miembros del grupo casi congelado sin poder seguir el viaje. La situación fue extremadamente desesperada. Apenas había suficiente comida y combustible para dos, habiendo cinco en la estación. Algunos tuvieron que irse. Fue decidido que Wegener y su compañero esquimal Rasmus Villumsen regresaran a la costa. Dice Greene (1984), que nunca sabremos como fue que se llegó a esa decisión. Wegener celebró su cincuenta aniversario el 1 de noviembre de 1930 y salió a la siguiente mañana. La última fotografía muestra a un Wegener determinado, con su bigote empastelado con escarcha de hielo y con el no muy complacido Villumsen a un lado, con un viento de 50°C bajo cero. Nunca más fueron vistos vivos. El cuerpo de Wegener envuelto en una bolsa de dormir, fue encontrado dentro de una tumba hueca, marcada con sus esquís el mes de mayo siguiente. El cuerpo de Villumsen y el diario de Wegener conteniendo los pensamientos privados con respecto a volver y otras cosas relacionadas a la expedición, nunca han sido recobrados.

Gohau (1990), proporciona su versión sobre la última expedición de Wegener. En 1929 Wegener organizó la tercera expedición a la costa oeste de Groenlandia en preparación para un importante viaje planeado para el siguiente año. Planeó el estudio de un área a través de la capa de hielo entre el paralelo 17° en una ruta descuidada al sur en la expedición de 1912. En 1930-1931 intentó erigir tres estaciones; una estación en el oeste que ha sido explorada en 1929; una en el este; y una en la mitad de la capa de hielo, a 3000 m de elevación y 400 km de la estación oeste (Fig. 9).

La cuarta expedición, dice Gohau, fue la última de Wegener. El mal tiempo retrasó el levantamiento de las tres estaciones. En agosto 6 de 1930 Wegener escribía que el mes de agosto llevaría la decisiva batalla, particularmente con relación a la estación a la mitad del hielo. En septiembre 21, marchó a la estación oeste para llevar provisiones a la estación del centro. Pero el viaje tomó más de lo planeado y llegó a la estación hasta el 30 de octubre con sólo víveres. Se fue al día siguiente, su cumpleaños 50, con un joven de Groenlandia para retornar a la costa. Sin embargo, ya no lo pudo lograr. Su cuerpo fue encontrado bajo la nieve el 8 de mayo del siguiente año envuelto en su bolsa de dormir y con una piel de reno, entre las dos estaciones. Sus manos no mostraban congelamiento, lo que indica que él no murió durante el camino por el frío, pero fue en su tienda de campaña donde una interrupción cardíaca lo mató por el excesivo esfuerzo físico.

Greene (1984), señala que la esposa de Wegener, Else, declinó el ofrecimiento del gobierno alemán para enviar un acorazado y así traer el cuerpo de Wegener a su casa para un funeral público pero insistió en que se dejara intacto en la capa de hielo. Allí, el yace hoy en día profundamente enterrado en el hielo, siguiendo bajo la cuesta de la capa de hielo como un paso geológico, y algún día flotar en el mar en un iceberg, un barco funerario para un vikingo errante que, como Else a menudo bromeaba, descansaba dentro de su espíritu.



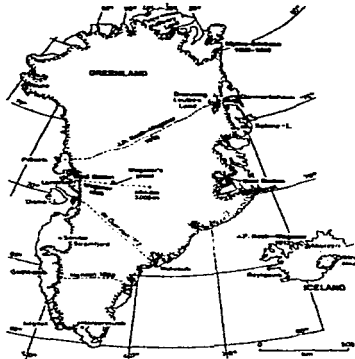


Fig. 9. Mapa de Groenlandia e Islandia mostrando las rutas de las expediciones en que Wegener participó y dos primeras expediciones por otros exploradores (tomada de: Schwarzbach, 1986).

Greene *op cit.*, cita a Poincaré que dice: "*el azar solo favorece a las mentes preparadas*"; las ideas necesitan contexto para tener sentido. Y una idea es buena solo si le sucede a una mente que puede hacer uso de ella, en una tradición científica que puede dar sentido y que la necesita, en o cerca del momento en que es pensada.

En 1910 un compañero de oficina de Wegener recibió un Atlas del Mundo como regalo de Navidad y Wegener le escribió a su esposa que había sido golpeado por la congruencia de las costas del Atlántico de Suramérica y África, como si antes fueran continuos. Georgi (1962), cita a Köppen quien dice "*probablemente muchos científicos cuando veían el mapa del mundo ya se habían preguntado sobre la similitud de las costas del Atlántico pero ahora esta similitud había sido notada por un geofísico experto, un hombre brillante de gran energía quien no se detendría ante nada para seguir el tema y retomar hechos de otros campos de la ciencia que estuvieran ligados a él*". El mismo Köppen también previó la respuesta de la cual Wegener más tarde padecería cuando señaló "*que trabajar en temas que caen fuera de los límites tradicionales definidos de una ciencia naturalmente lo expone a uno a ser considerado con desconfianza por algunos, si no por todos y ser considerado un fuereño*".

En el otoño de 1911, Wegener se encontró con un reporte sinóptico sobre evidencia paleontológica con respecto a la conexión anterior de la tierra entre Brasil y África, intitulado *Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt* de Theodor Arldt's, de donde Wegener obtuvo la sugerencia de un título similar. Esto lo llevó a revisar la evidencia paleontológica y geológica de una conexión anterior a través del Atlántico. Cualquier texto principal del periodo como *Traité de Géologie* (1907) de Haug, el *Das Anilitz der Erde* (1883-1909) de Suess y el *Lehrbuch der allgemeinen Geologie* (1909) de Kayser lo habían provisto con listas de idénticas especies fósiles sobre ambos lados del Atlántico y mapas de las extensiones montañosas europeas y americanas.

Geólogos influyentes ya habían discutido desde fines de 1870, que el Atlántico era un océano joven, creado por el apaciguamiento en un tiempo geológico reciente de grandes fragmentos continentales. Esta reconstrucción geológica se basaba en la teoría geofísica de la Tierra en contracción. Esta teoría, nos dice que la Tierra responde a un largo proceso de enfriamiento desde su estado original de nebulosa incandescente y que la corteza externa se contrae alrededor de un interior en proceso de encogimiento.

En ese tiempo muchos geólogos apoyaban la visión de que varias porciones del piso oceánico intermitentemente se levantan y retroceden en el proceso de progresiva solidificación y contracción de la Tierra desde su estado fundido. Esta visión, incluye la noción de que los puentes de tierra conectan continentes que aparecen y desaparecen. Sin embargo, se encuentra dificultad para reconciliar la teoría de la evolución de Darwin con el amplio reconocimiento de las similitudes en formas de vida en diferentes continentes excepto a través de alguna conexión como los puentes de tierra (Bullen, 1976).

Greene *op cit.*, señala que la emoción de Wegener sobre la amplia corroboración de la antigua conexión y la dedicación de gran parte de sus energías en 1911 y 1912 a éste problema, se basaba en su inmediata percepción de que la teoría de la fundición continental era geológicamente imposible. El vio esto cuando nadie lo había hecho, porque las evidencias en las cuales sus conclusiones se apoyaban, tenían en cualquier caso dos años de antigüedad y aparecían en el momento cuando estaba preparando su primer curso de astronomía, geodesia y física atmosférica como joven instructor en la Universidad de Marburg, así como un lector profundo de temas geofísicos. Su evidencia estaba basada en monografías recientes y extensas elaboradas por científicos no bien conocidos fuera del habla alemana. Para la mayoría de sus contemporáneos, quienes no veían a la teoría sino a la bibliografía y revistas, no había razón suficiente para tomar a Wegener seriamente sin también leerlo y evaluar la evidencia.

Si bien había clara evidencia geológica y paleontológica sobre una antigua conexión intercontinental, la teoría geofísica que la explicaba era incorrecta, de modo que había que intentar otras explicaciones. Una, sería ignorar o minimizar la evidencia de la antigua conexión. Otra, ignorar la evidencia geofísica contra la antigua teoría e ir de acuerdo con ella, como si nada hubiera pasado. Un tercer camino, sería desarrollar una hipótesis que incorporara la nueva evidencia geofísica con la antigua evidencia geológica. Esta última alternativa fue la que escogió Wegener al proponer su hipótesis sobre el desplazamiento de los continentes. Los autores americanos siguieron generalmente la primera y los europeos la segunda. Así, la unidad de la geología se quebrantó y se establecieron dos escuelas: la americana, apoyada en la geofísica y la europea, que se basaba en la paleontología. Una escuela en formación sería la wegeneriana.

La fama de Wegener descansa hoy tanto en su trabajo como en originar la idea de la deriva continental. De acuerdo con Greene (1984), la estatura de Wegener como científico continua creciendo y es mucho más conocido hoy que en ningún momento de su vida.

### 3.2. LAS IDEAS BÁSICAS DE LA TEORÍA

Alfred Wegener presentó sus ideas al público por primera vez el 6 de enero de 1912 en una conferencia ante la Asociación Geológica en Frankfurt-am-Main. El título de la plática era *Die Herausbildung der Grossformen der Erdrinde (Kontinente und Ozeane) auf geophysikalischer Grundlage*. Una

segunda plática fue rendida en enero 10 de 1912 a la Sociedad de Avances de Ciencias Naturales en Marburg bajo el título de *Horizontal verschiebungen der Kontinente* (Carozzi, 1985).

Después de dar a conocer sus ideas, Wegener partió a su segunda expedición a Groenlandia (Marvin, 1985). En vista de los peligros que encaraba, dejó a manera de testamento su manuscrito, idéntico al del 10 de enero, para publicarse en *Petermanns Geographische Mitteilungen*. Se publicó en tres partes bajo el título "Die Entstehung der Kontinente" en la edición de abril, mayo y junio de 1912.

La teoría del deslizamiento continental apareció por primera vez en forma de libro con el título *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, que se publicó en Brunswick (Alemania) en 1915. Posteriormente, se dio una segunda edición en 1920, una tercera edición en 1922 y una cuarta en 1929; cada edición conteniendo revisiones numerosas y pruebas adicionales. La tercera edición fue el vehículo para su notoriedad y breve fama en los 20's.

La tercera edición fue traducida al francés en 1924 por M. Reichel bajo el título *La genèse des continents* y fue publicada como volumen en la Librarie Scientifique Albert Blanchard, en Paris. Esta edición también fue traducida al inglés por J.G.A. Skerl el mismo año, intitulada *The Origins of Continents and Oceans* con un prólogo del presidente de la Sociedad Geológica Inglesa, John W. Evans. Esta traducción fue publicada por Methuen & Ltd., London. También se dio una traducción al español de la tercera edición en el mismo año, con el título *La génesis de los continentes y océanos*. La traducción fue de Vicente Inglada Ors y publicada por la Biblioteca de Occidente, Madrid, en 1925 G.F. Mirtzinka (Moscú y Leningrado) publicó una traducción por Marii Mirtzink (Wegener, K., 1961).

En *The Origins of Continents and Oceans* (1929), establece que Suramérica debió haber estado junto a Africa y formado con ella un único continente, escindido en el Cretácico en dos partes que luego, como los fragmentos de un témpano agrietado, se separaron cada vez más en el curso del tiempo geológico, pero los bordes de estos dos bloques concuerdan todavía hoy. No solo el gran codo recto que forma la costa brasileña en el cabo San Roque encuentra su negativo en el recodo de la costa africana en Camerún, sino también al Sur de estos accidentes la forma de la costa es tal que a cada saliente en la costa brasileña corresponde una bahía de igual forma en la africana y viceversa : a cada bahía en el lado brasileño un saliente en el africano. Como puede comprobarse con el compás sobre un globo terrestre, las dos distancias concuerdan con precisión.

Igualmente, Norteamérica ha estado situada en el pasado junto a Europa, y formó un bloque único con ella y Groenlandia, al menos desde Terranova e Irlanda hacia el Norte. Este bloque se fragmentó a partir del Terciario superior por medio de una fractura que se bifurcaba en Groenlandia, tras lo cual los fragmentos se separaron unos de otros. La Antártida, Australia y la India estaban situadas junto a Suráfrica hasta el comienzo del Jurásico, formando con ella y con Suramérica un gran continente único, parcialmente cubierto por mares someros, que en el transcurso del Jurásico, el Cretácico y el Terciario se fragmentó en bloques aislados que luego derivaron en todas direcciones. En el caso de la India, se trata de un fenómeno algo distinto: inicialmente, un largo bloque cubierto totalmente de mares someros la unía por completo al continente asiático. Tras la separación de Australia por una parte, en el Jurásico inferior, y por otra de Madagascar, en el límite entre el Cretácico y el Terciario, este largo bloque fue plegado cada vez más por la aproximación de la India a Asia, y constituye hoy una de las más poderosas cadenas de montañas de la Tierra: el Himalaya y las cadenas vecinas (Fig. 10).

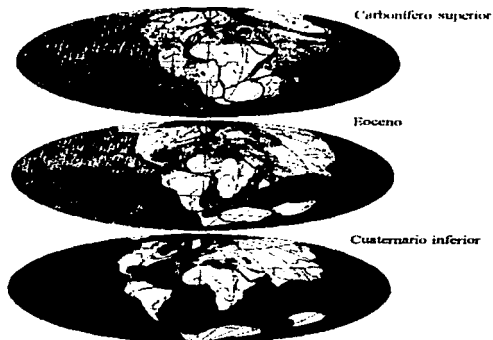


Fig. 10. Reconstrucción del desplazamiento continental a través del Carbonífero superior, Eoceno y Cuaternario inferior (tomada de: Wegener, 1929).

También en otras zonas se presenta la deriva continental en relación causal con el origen de las montañas: en la migración hacia el Oeste de las dos Américas, su borde anterior se plegó en la gigantesca cadena andina, que se extiende desde Alaska hasta la Antártida, a causa de la resistencia frontal del fondo de la cuenca del Pacífico, muy antigua, fría, y por tanto rígida. También junto al continente australiano, solo separado de Nueva Guinea por un mar de plataforma, se encuentran las elevadas montañas de Nueva Guinea, formadas recientemente, entonces se plegaron las montañas de Nueva Zelanda que se extendían y debido a los cambios en la dirección de la deriva, se desligaron y retrasaron, formando arcos de islas.

De acuerdo con Wegener, se puede observar sin dificultad que la teoría de los desplazamientos se basa en la suposición de que los fondos marinos y los continentes están compuestos de distintos materiales, que en cierta medida representan diferentes niveles de la Tierra.

Wegener (1929) escribe:

Si tomamos la teoría de la deriva como base, podemos satisfacer todos los requisitos legítimos, tanto de la teoría de los puentes continentales como de la teoría de la permanencia. Esto quiere decir que hubo conexiones entre los continentes actualmente separados, pero no intercontinentales que luego se hundieron: y que hay permanencia, pero no de cada océano o continente individual, sino del área de los continentes y del área de las cuencas marinas en su conjunto.

Wegener tuvo la sospecha de que los continentes se habían movido lateralmente cuando advirtió en 1910, la notable coincidencia de los contornos continentales a ambos lados del Atlántico. Con todo, desestimó inicialmente la idea considerándola improbable, pero al año siguiente leyó un trabajo sobre Paleontología que probaba la existencia de un arcaico puente terrestre entre África y el Brasil. La búsqueda de nuevas evidencias de este tipo fue tan fructífera y corroboró de tal manera su idea inicial que se sintió obligado a desarrollar la hipótesis.

De acuerdo con Gohau (1990), la idea fundamental de Wegener fue que los continentes estuvieron juntos al mismo tiempo en una época del pasado; después de eso, ellos derivaron similar a una balsa sobre el piso oceánico, hasta alcanzar finalmente su presente posición.

En su obra *Los Orígenes de los Continentes y los Océanos* Wegener postulaba que al principio del Mesozoico y continuando hasta el momento presente, un enorme supercontinente denominado *Pangaea*<sup>14,15</sup> se había escindido y los fragmentos que lo componían se habían separado. América del Sur y África empezaron a separarse en el Cretácico, al igual que América del Norte y Europa, pero éstas habían conservado un contacto por el norte hasta el mismo Cuaternario. Su fractura comenzó hace unos 200 millones de años en la era Mesozoica durante el Triásico superior. El Mesozoico se caracteriza por la desaparición de los Trilobites y el predominio de los Ammonites, y diversos grupos de Gasterópodos y Pelecipodos. En cuanto a los vertebrados, es la era de los reptiles. Con relación a la flora predominan las gimnospermas.

La Pangea fue una masa de Tierra con una línea de costa irregular, rodeada por un océano, la Panthalasa, que constituía el ancestral Pacífico. La fractura dio origen a dos supercontinentes, uno denominado Laurasia y el otro Gondwana. Entre ellas se hallaba el mar de Thetys. Laurasia (el hemisferio norte) era el supercontinente que estaba formado por lo que más tarde serían Norteamérica, Groenlandia y la Eurasia septentrional. Gondwana (el hemisferio sur), estaba formado por las futuras Suramérica, África, India, Australia y la Antártida.

A Wegener se le ocurrió la idea de la deriva de los continentes y empezó a tomarla en serio, sólo después de enterarse por la evidencia fósil que se establecía la presencia de un puente ancestral entre Brasil y África. Fue el registro fósil y no el siempre señalado encaje físico entre las líneas costeras opuestas lo que le inspiró.

La importancia del trabajo de Wegener, es que más que subrayar el encaje del rompecabezas y las pistas paleontológicas que pusieron en marcha la idea básica, lo que hizo fue buscar una explicación geofísica. El llegó a la conclusión de que el proceso de una Tierra que se enfriaba o se contraía era vulnerable porque algunos supuestos básicos sobre el pretendido enfriamiento de la Tierra, en especial los de Kelvin, se habían visto destruidos por el descubrimiento de la radiactividad en las rocas.

Por otra parte, los datos sobre la gravedad indicaban que el fondo oceánico tenía subsidentes rocas más densas que las de los continentes y el concepto de isostasia hacía imposible la subsidencia de grandes áreas continentales en las profundidades del océano, como todavía defendían algunos geólogos.

La hipótesis de Wegener estaba fundada en un amplio conjunto de evidencias geodésicas, geofísicas, geológicas, biogeográficas y paleoclimáticas. En este sentido, a continuación se presenta una síntesis de la argumentación para cada conjunto de datos con base en la cuarta edición del libro de Wegener (1929).

### 3.3. LAS EVIDENCIAS GEODÉSICAS

De acuerdo con Wegener (1929), la teoría de los desplazamientos continentales tiene una base empírica tan amplia como otras teorías, con la ventaja de ser verificable mediante posicionamientos astronómicos exactos. Si estos desplazamientos se produjeron durante largos periodos de tiempo, es probable que continúen actualmente, y en este caso solo es necesario que aquéllos sean lo suficientemente rápidos como para que sean apreciables por medio de mediciones astronómicas en un periodo de tiempo no demasiado largo. Para enjuiciar esta cuestión, decía Wegener, tendríamos que adentrarnos en las escalas de tiempo absoluto de las eras geológicas, cuya valoración para la época era bastante dudosa, pero no tanto que hiciera imposible el responder a la pregunta sobre los desplazamientos continentales.

Wegener argumentaba que la datación por métodos radioactivos podía proporcionar una escala de tiempo mucho más larga, especialmente para las eras más antiguas. Así, con la ayuda de las estimaciones de tiempo geológico obtenidas a partir del método radiométrico<sup>19</sup> y de las distancias recorridas por los continentes es posible construir una imagen aproximada de la cuantía del movimiento anual, suponiendo que estos movimientos se han producido y aún se producen a velocidad constante.

De hecho, desde hace tiempo se prestó atención al incremento diferencial entre Groenlandia y Europa. Comenta Wegener que en la época en que él comenzó a elaborar la teoría de la movilidad continental, todavía en forma esquemática, aún no se habían calculado las determinaciones de longitud de la expedición danesa al noreste de Groenlandia (de 1906 hasta 1908, dirigida por Mylius-Erichsen, y en la que él formó parte como ayudante).

Durante los cálculos definitivos, el cartógrafo J.P. Koch, revisó con especial cuidado las fuentes de error, llegando a la conclusión de que la teoría de la movilidad continental era realmente la explicación más plausible. Wegener cita a Koch quien dice: "*De lo que precede parece que las fuentes de error, tomadas bien por separado o en conjunto, resultan insuficientes para explicar la diferencia de 1190 m existentes entre la posición de Haystack según los datos de la expedición de Dinamarca y los de la expedición Alemana (1869-1870)*".

Sabine, señala Wegener, ya había realizado determinaciones de la longitud en el noreste de Groenlandia, y para el año de 1823 existían ya tres grupos de determinaciones. Pero estas medidas más antiguas no se habían realizado en el mismo lugar; Sabine realizó sus observaciones en la parte sur de la isla que llevaba su nombre, pero existe un cierto grado de indeterminación sobre el lugar exacto donde se realizaron las observaciones.

De las observaciones se desprenden los siguientes incrementos en la separación entre el noreste de Groenlandia y Europa:

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Durante el periodo de 1823 hasta 1870..... | 420 m, o sea, 9 m por año   |
| Durante el periodo de 1870 hasta 1907..... | 1190 m, o sea, 32 m por año |

Todo lo que se puede concluir de estas observaciones, dice Wegener, es que se ajustan perfectamente a las premisas de la teoría de los desplazamientos y que reciben de ella su mejor explicación, más todavía carecían del carácter de una prueba exacta.

Desde entonces, el Instituto Geodésico de Copenhague (antes Servicio Geológico Danés) hizo suya esta cuestión de forma enconmiable. Con esta idea en mente, P.F. Jensen realizó, nos dice Wegener, en el verano de 1922 nuevas determinaciones de la longitud en el noreste de Groenlandia,

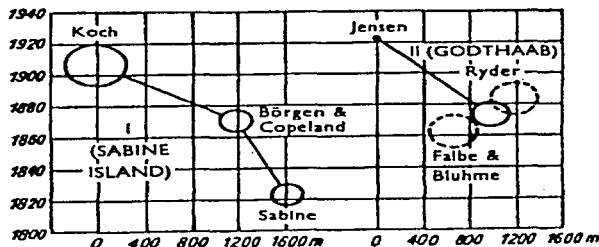


Fig. 11. Desplazamiento de Groenlandia de acuerdo con las primeras determinaciones hasta las últimas consideradas por Wegener (tomada de: Wegener, 1929).

utilizando esta vez un método de mayor precisión, el tiempo de las transmisiones radiotelegrafiadas. Jensen obtuvo un valor promedio de determinaciones que correspondía al año de 1873 y que se encontraban libres de grandes errores sistemáticos. El resultado obtenido por Jensen volvió a mostrar un desplazamiento de Groenlandia hacia el oeste de unos 980 m, equivalentes a unos 20 m anuales (Fig. 11).

El Instituto Geodésico Danés se propuso en su programa de trabajo la repetición de las determinaciones de la longitud a intervalos regulares de tiempo. Con este motivo, Jensen llevó a cabo su segunda misión, consistente en la instalación de un observatorio apropiado a tal fin en Kornok, en el clima favorable de la zona más interna del fiordo de Godthaab, para la realización de la primera determinación standard de su longitud con ayuda de transmisiones precisas de la hora por radio. En 1922 encontró que la longitud de Kornok era de:

3 h 24 min 22.5 s  $\pm$  0.1 s al Oeste de Greenwich (por observaciones estelares)

3 h 24 min 22.5 s  $\pm$  0.1 s al Oeste de Greenwich (por observaciones solares)

Durante el verano de 1927, el teniente Sabel-Jørgensen volvió a repetir las determinaciones de la longitud de Kornok utilizando esta vez un moderno micrómetro, con el que se excluyen los errores personales. El grado de exactitud es mucho mayor que el de las medidas realizadas por Jensen.

El resultado, esperado con considerable interés fue:

Longitud de Kornok en 1927: 3 h 24 min 23.405 s  $\pm$  0.008 s.

La comparación con las medidas de Jensen evidenció un incremento diferencial en la longitud con respecto a Greenwich, es decir, en la distancia de Groenlandia respecto a Europa, de alrededor de 0.9 segundos en cinco años, o sea, 36 m al año. Este incremento es nueve veces mayor que el error medio de las observaciones y hay que descartar cualquier error sistemático en las transmisiones radiotelegráficas de la hora. El resultado es una prueba más del desplazamiento de Groenlandia que todavía se está produciendo.

Como resultado de esta primera comprobación astronómica exacta del desplazamiento continental, que confirma la predicción de la teoría de los desplazamientos, dice Wegener, toda la discusión se centra sobre una nueva base, de manera que todo el interés anterior sobre si la teoría era físicamente correcta se centra ahora en averiguar si sus postulados concretos son correctos o están adecuadamente elaborados.

Durante el Congreso Geodésico celebrado en Madrid en 1924, lo mismo que en la *Conferencia de la Unión Astronómica Internacional* en 1925, se estableció un extenso plan para el seguimiento de los desplazamientos continentales por medio de las determinaciones radiotelegráficas de la longitud.

De esta forma se puso en marcha y a gran escala, la comprobación exacta de la teoría de los desplazamientos por medio de posicionamientos astronómicos repetidos, y se han encontrado las primeras pruebas de que la teoría es correcta. Wegener señala, que como una conclusión se puede decir que se han apreciado cambios latitudinales desde hace tiempo en observatorios europeos y norteamericanos.

### 3.4. LAS EVIDENCIAS GEOFÍSICAS

De acuerdo con Wegener *op cit.*, la distribución estadística de las cotas de la superficie terrestre conduce a la conclusión de que existen dos valores modales altitudinales, mientras que los valores intermedios son raros. El valor más alto corresponde a las llanuras continentales y el más bajo a los fondos oceánicos.

Probablemente no existe en toda la Geofísica otra ley tan clara como esta: la existencia de dos niveles preferentes sobre la superficie terrestre que se presentan el uno junto al otro constituyen la alternancia de continentes y fondos oceánicos. Si de acuerdo con las interpretaciones geológicas más comunes, las alturas son el resultado de elevaciones y las profundidades el resultado de la subsidencia de un único nivel original uniforme, y si los niveles son menos frecuentes cuanto mayor sea su altura o su profundidad con respecto al nivel del mar, tendremos una distribución final de frecuencias que se aproximará a la curva de error de Gauss.

Wegener en ese sentido se pregunta ¿son los demás datos de la Geofísica compatibles con la idea de que existe una diferencia fundamental entre los bloques continentales y las cuencas oceánicas, y con los desplazamientos horizontales de los primeros? y ¿puede la Geofísica corroborar con sus datos la teoría de la deriva?

Para empezar, y en lo referente a la isostasia, existe un acuerdo total entre ésta y el concepto global de la teoría movilista, pero dice Wegener, no es posible conseguir ninguna comprobación directa de la validez de la teoría a partir de la isostasia.

Las mediciones gravimétricas constituyen la base física de la teoría de la isostasia que tiene su origen en Pratt, mientras que Dutton fue en 1892 el que acuñó el término. Ya en 1855, Pratt había descubierto que el Himalaya no ejercía la esperada atracción sobre la plomada. Según Kossmat, citado por Wegener, la componente norte de la desviación de la plomada en Kaliana (en las llanuras del Ganges, a 56 millas de distancia del pie de la cadena) era sólo de un segundo de arco, mientras que



*Análisis Histórico-Filosófico de la teoría de la deriva continental de Alfred Wegener*

la atracción debida a las montañas tenía que resultar en una desviación de 58 segundos de arco. Estos ejemplos son representativos del hecho, de que la fuerza del campo gravitatorio de las grandes montañas no se aparta del valor normal en la cuantía esperada.

Se ha demostrado que la atracción de la gravedad medida en la superficie de los océanos presenta un valor normal a pesar del déficit de masa evidentemente grande que representan las cuencas oceánicas.

A lo largo del tiempo se han propuesto diversos modelos para explicar la naturaleza de estos excesos y defectos de masa. Pratt imaginaba la corteza como una pasta que originalmente tendría un espesor uniforme en todas partes, pero que en los continentes habría engrosado debido a algún mecanismo de dilatación, mientras que en las cuencas oceánicas se habría comprimido. Esto es, cuanto mayor fuera la altura de la superficie respecto al nivel del mar, tanto menor serían la densidad o el peso específico de la corteza. Pero por debajo de la profundidad de compensación, aproximadamente a 120 km de profundidad, han desaparecido todas las diferencias de densidad en la horizontal. Según Wegener, W. Bowie es el representante más conocido de esta teoría.

Wegener establece que otros geofísicos han empleado para la interpretación de las mediciones gravimétricas el modelo expuesto por Airy en 1859. Su modelo admite una corteza ligera, engrosada debajo de las montañas en que el magma más pesado sobre el que flota la corteza es empujado a mayores profundidades en estas áreas. El modelo de Airy se adapta mucho mejor que el de Pratt a la imagen geológica de la corteza, pero, por otra parte, este modelo deja sin explicar los dos máximos de frecuencia en la estadística de altitudes de la superficie terrestre, ya que no aclara porque tiene que aparecer la corteza ligera con dos espesores distintos, en forma de gruesos bloques continentales y finos bloques oceánicos.

Para Wegener, la interpretación correcta se podría encontrar uniendo ambas concepciones. En el caso de las cadenas de montañas nos encontramos con una corteza ligera engrosada en el sentido de Airy; pero cuando consideramos la zona de transición entre los bloques continentales a los fondos oceánicos es cuestión de diferencias en el tipo de materiales en el sentido de Pratt (Fig. 12).

La teoría de la isotasia proporciona un criterio directo sobre la cuestión de la movilidad horizontal de los continentes. Un ejemplo de equilibrio isostático lo constituye la elevación de Escandinavia alrededor de un metro por siglo. Este movimiento se puede considerar como consecuencia de la descarga debido al deshielo de los glaciares continentales, que culminó hace 10,000 años dado que la mayor elevación actual se puede observar allí donde el deshielo ha desaparecido hace menos tiempo.

Con relación a las investigaciones sobre el magnetismo terrestre, Wegener dice que le llamanon la atención por la opinión de que los fondos oceánicos se encuentran formados por un material que presenta una magnetización más fuerte y también un mayor contenido en hierro que el de los bloques continentales.<sup>17</sup>

Otro aspecto importante de la argumentación de Wegener es la discusión con relación al Sial y al Sima. Las rocas volcánicas se distinguen por su mayor densidad y por su mayor contenido en hierro y generalmente se les considera como procedentes de niveles profundos. Suess denominó a todo este grupo de rocas básicas, cuyo representante es el basalto, con el nombre de Sima por el par inicial de letras de cada uno de sus constituyentes principales, silicio y magnesio, y lo contrapuso a otro grupo de rocas, las ricas en sílice o Sal (de silicio y aluminio), cuyo representante principal es el

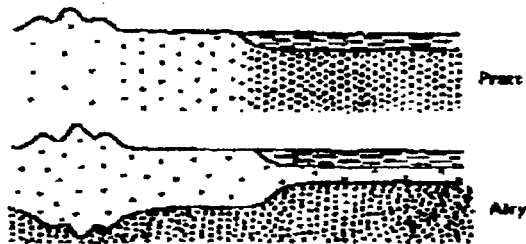


Fig. 12. Modelos isostáticos de Pratt y Airy (tomada de: Wegener, 1929)

granito que forma el substrato de nuestros continentes. Wegener prefiere usar el término Sial en vez de Sial para evitar su confusión con la palabra latina que se utiliza para un material diferente. De esta manera, es posible afirmar que el basalto reúne las propiedades requeridas para el material de los fondos oceánicos. La mayor parte del Sima ha de estar formado por una rocas muy básicas o ultrabásicas, más básicas que el basalto, de forma que este último material podría constituir la parte más alta del Sima.

Con frecuencia se hace la siguiente objeción a la teoría movilista: la Tierra es tan sólida como el acero y por tal razón los continentes no pueden desplazarse. De hecho las observaciones sobre los terremotos, las fluctuaciones de los polos y las deformaciones mareales de la Tierra sólida han conducido al mismo resultado: el coeficiente de elasticidad o de rigidez de la Tierra es aproximadamente  $2.10^{12}$  g /cm por  $s^2$  o, si se diferencia entre un manto rocoso que se extiende hasta 1200 km de profundidad y un núcleo de metal y minerales metálicos, tendremos para el primero el valor de  $7.10^{11}$  , y de  $3.10^{12}$  para el segundo. Como este coeficiente es de  $8.10^{11}$  para el acero frío, la Tierra es, en efecto, tan rígida como el acero. De lo anterior es posible asegurar que la Tierra se comporta como un cuerpo sólido elástico cuando se encuentra bajo la acción de fuerzas de periodo corto, como son las ondas sísmicas y que en estos casos no hay ni asomos de flujo plástico. Sin embargo, cuando la Tierra se encuentra bajo fuerzas que se aplican a lo largo de periodos geológicos, debe comportarse como un fluido.

En sus investigaciones sobre la separación de la Luna con respecto a la Tierra, G.H. Darwin supuso que las fuerzas mareales que actúan entre 12 y 24 horas producen un deformación por flujo. Sin embargo, una investigación más reciente llega a la conclusión de que las premisas de Darwin no implican ni siquiera hoy en día que la corteza terrestre se esté desplazando hacia el Oeste como consecuencia de la fricción mareal.

Los geólogos han supuesto frecuentemente que existe una capa de magma bajo la corteza sólida de la Tierra y de la misma manera Wiechert creía que ciertas peculiaridades de los sismogramas se podrían explicar por la existencia de una capa de fluidez considerable.

Para Wegener, todas las investigaciones demuestran que no se debería ser dogmático con los coeficientes de viscosidad del interior de la Tierra y en particular con los de sus capas individuales.

porque aún no conocemos nada sobre ellos. Después de todo lo anterior resulta superfluo, dice Wegener, afirmar que la teoría movilista se encuentra en excelente concordancia con los resultados de la Geofísica; constituye incluso el punto de partida para un buen número de nuevas y prometedoras investigaciones que ya han producido resultados importantes, aunque muchos de los detalles sólo quedarán explicados totalmente en el futuro.

### **3.5. LAS EVIDENCIAS GEOLÓGICAS**

De acuerdo con Wegener, la comparación de las estructuras geológicas a uno y otro lado del Atlántico proporciona pruebas rigurosas a la teoría de que este océano representa una descomunal fractura ensanchada cuyos bordes estuvieron en el pasado en contacto directo o muy próximos. Esto es lógico, pues se podía esperar que muchos pliegues y otras estructuras formadas antes de la ruptura se continuaran a uno y otro lado, y realmente sus extremos deben extenderse en ambos márgenes del océano, de forma que en la reconstrucción parecerían prolongaciones directas.

La fractura Atlántica presenta su mayor anchura en el sur, donde se formó primero. su anchura alcanza aquí 6,220 km. Entre el cabo San Roque y el Camerún hay sólo 4,880 km.

En el extremo meridional de Africa se encuentra una cadena plegada Pérmica que se alinea de este a oeste. En la reconstrucción, la prolongación hacia el oeste de esta cadena se encuentra justo al sur de Buenos Aires, en una zona que no presenta ningún rasgo especial.

H.A. Brouwer, citado por Wegener, ha comparado las rocas eruptivas de regiones de Africa y del Brasil encontrando cinco paralelismos: 1) los granitos antiguos; 2) los granitos modernos; 3) las rocas alcalinas; 4) las rocas volcánicas y las doleritas intrusivas jurásicas y 5) las kimberlitas, y similares. En Brasil, los granitos antiguos están contenidos en el llamado *Complejo Brasileño*; en Africa, en el *Complejo fundamental* de Africa del Suroeste. Tanto la costa oriental de Brasil en la zona de Serra do Mar, como las costas occidentales de Africa Central y del Sur, situadas enfrente, están formadas en su mayor parte por estas rocas, que muchas veces prestan al paisaje de ambos continentes un carácter topográfico similar. Respecto a las kimberlitas, esta situación es muy conocida porque proporcionan, tanto en Brasil como en Suráfrica, los yacimientos de diamantes, que en ambas zonas adoptan idénticas formas de yacimiento. Los diamantes blancos existen en Brasil en la provincia de Minas Gerais y en Africa del Sur solamente al norte del río Orange.

Wegener nos dice, que el conocido geólogo surafricano du Toit, efectuó estudios comparativos particularmente completos en un viaje de estudios a Suramérica. Los resultados de estas investigaciones, en la que también la bibliografía ha sido revisada a fondo, han sido publicados en 1927, formando un libro intitulado *Una comparación geológica de Suramérica con Suráfrica*, y que constituyó la publicación número 381 de la *Carnegie Institution* de Washington. De acuerdo con Wegener, todo el libro es una argumentación geológica sin par a favor de la teoría movilista en esta parte de la Tierra. En este trabajo, du Toit, citado por Wegener, señala que su propósito es comparar las dos extensiones, que van por una parte desde Sierra Leona hasta el Cabo, y por la otra parte desde Pará hasta Bahía Blanca, limitándose en cada caso a una banda de unos 45° de longitud y unos 10° de latitud. En cada continente se puede observar entre lo más importante lo siguiente:

1. El basamento está compuesto de rocas cristalinas de edad Precámbrica, con algunas capas de sedimentos predevónicos, de edades variables aunque en general indeterminadas: los caracteres litológicos coinciden a grandes rasgos.

2. En el extremo norte de la zona encontramos sedimentos marinos Silúricos y Devónicos disconformes sobre este complejo y muy ligeramente plegados, ocupando un amplio sinclinal cuyo eje es oblicuo a la línea de costa. Esta estructura se extiende entre Sierra Leona y Costa de Oro en Africa y forma la base del estuario del Amazonas en Suramérica.

3. Hacia el sur se encuentran, casi paralelos a la costa, cinturones de rocas sedimentarias entre las que predominan cuarcitas, pizarras y calizas. Sus edades son Proterozoico y Paleozoico inferior, y están plegados ligeramente en el norte y más intensamente en el sur, donde hay intrusión de masas graníticas, por ejemplo, en la zona entre Lüderitz y ciudad del Cabo y entre el río San Francisco y el río de la Plata.

4. Aún más hacia el sur, el Devónico-Carbonífero de la parte meridional de la provincia del Cabo corresponde a la comarca similar al norte de Bahía Blanca, incluyendo ambas una transición concordante hacia sedimentos glaciares Pérmicos y Carboníferos; las dos series están intensamente plegadas por movimientos Permotriásicos y Cretácicos de direcciones similares.

5. Las tillitas se continúan hacia el norte, en ambos casos horizontales y transgresivas sobre el devónico, y descansando sobre una perillanura postglacial que se ha formado en estas rocas y en otras anteriores y desaparece hacia el norte.

6. Los depósitos glaciares están cubiertos en ambos casos por sedimentos continentales pérmicos y triásicos con flora de *Glossopteris* que cubren enormes extensiones y van seguidos por potentes series de basaltos y doleritas a los que se atribuye una edad del Liásico<sup>18</sup> inferior.

7. En este resumen general no puede pasarse por alto el importante eslabón formado por las islas Malvinas, cuyas series Devónico-Carboníferas apenas se diferencian de las de la provincia del Cabo, mientras que el Lafoniense es totalmente comparable al sistema de Karroo. Tanto desde el punto de vista estratigráfico como estructural, las islas Malvinas tiene un lugar junto a la región suroeste del Cabo y no en Patagonia.

8. Desde el punto de vista paleontológico, la atención se centra en:

a) Las facies austral del Devónico del Cabo, las islas Malvinas, Argentina, Bolivia y el sur del Brasil, opuestas a las facies boreal del norte de Brasil y del Sahara Central;

b) El género fósil *Mesosaurus*, un reptil de la formación Dwyka, en el Cabo, y de las capas de Iraty, en Brasil, Uruguay y Paraguay;

c) La flora de *Gangamopteris* y *Glossopteris*, con pequeñas adiciones de formas septentrionales, en las capas de Gondwana, al sur de ambos continentes;

d) La flora de *Thinnfeldia* en la parte alta de esas mismas capas, en el Cabo y en Argentina;

f) La fauna Neocomiense<sup>19</sup> en el sur de la provincia del Cabo y en el noroeste de Neuquén, en Argentina.

Y por último, se tienen los contornos geográficos de Africa y Suramérica, asombrosamente parecidos no sólo en general, sino también en los detalles.

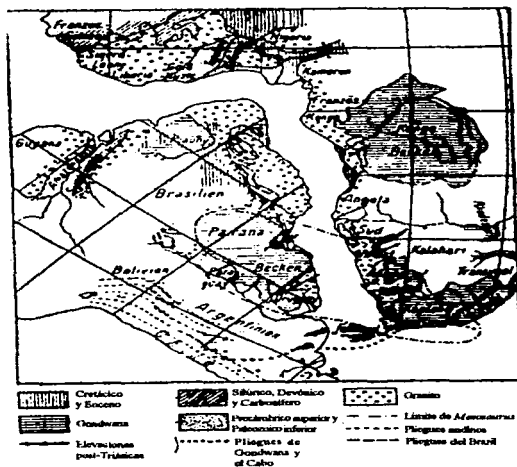


Fig. 13. Antiguas posiciones relativas de Suramérica y África. Se visualizan semejanzas geológicas en los granitos de ambos lados de los continentes (tomada de: Wegener, 1929; modificada)

Con base en los datos paleontológicos y biológicos debe concluirse que los intercambios de fauna y flora entre Suramérica y África cesaron entre el Cretácico inferior y medio. No por ello se entra en contradicción con la suposición de Passarge, dice Wegener, de que la fractura entre Suráfrica y Suramérica ya estaba formada en el jurásico, pues la ruptura se produjo gradualmente a partir del sur y sobre todo, fue precedida largo tiempo por la formación de fosas tectónicas.

Las coincidencias de las costas atlánticas, o sea, los plegamientos de las montañas del Cabo y de las sierras de Buenos Aires, la concordancia de las rocas eruptivas, los sedimentos, las direcciones de innumerables particularidades de las grandes mesetas gnéicas de Brasil y África, los plegamientos armoricanos, caledónicos<sup>20</sup> y algonquicos<sup>21</sup> y las morrenas frontales diluviales forman en conjunto, aun cuando las interpretaciones de ciertas cuestiones aisladas puedan ser todavía inseguras, una impresionante demostración de que nuestra teoría, señala Wegener, que considera el Atlántico como una gran fractura ensanchada, es correcta (Fig. 13).

Aunque el ensamblaje de los continentes puede efectuarse basándose en otros aspectos, tales como sus contornos, el hecho de que en esta reconstrucción cada extremo de cada una de las estructuras citadas entre directamente en contacto con su continuación al otro lado del océano es de una importancia crucial.

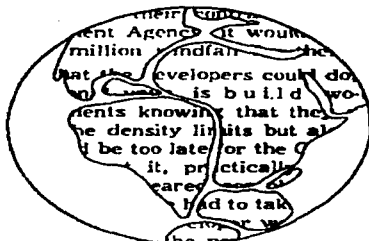


Fig. 14. Composición del arreglo de un texto roto atendiendo a la forma de los continentes (tomado de: Takeuchi, *et al.*, 1986).

Wegener (1929) comenta:

Es como si compusiéramos los trozos de un periódico roto atendiendo sólo a su forma y luego intentáramos leer los renglones a través de la rotura. Si esto se cumpliera, evidentemente no quedaría más remedio que aceptar que, efectivamente, esos trozos estuvieron alguna vez en contacto. Aunque sólo un renglón cumpliera tal prueba, tendríamos ya una seria probabilidad de que la composición fuese correcta.

Pero si la cumplieren  $n$  líneas, esta probabilidad se elevaría a la potencia  $n$ . No es superfluo aclarar lo que esto significa: supongamos que basándonos sólo en nuestro primer renglón, las cadenas del Cabo y las sierras de Buenos Aires, apostamos diez contra uno a que la teoría de la deriva es correcta. Pues bien, como podemos encontrar al menos seis controles independientes de este tipo, podemos ya apostar 10<sup>6</sup>, es decir, un millón contra uno, a que nuestra teoría es cierta (Fig. 14).

Los enormes pliegues del Himalaya, esencialmente originados en el Terciario, significan la compresión de una parte importante de la corteza terrestre. Si reconstruimos estos plegamientos en el marco de nuestra hipótesis, indica Wegener, la periferia del continente asiático presenta un aspecto distinto. Probablemente todo el este de Asia hasta el lago Baikal, incluyendo el Tibet y Mongolia, e incluso hasta el estrecho de Bering, tomó parte en esta compresión. De esto concluye Wegener, no queda lugar para un continente de Lemuria (en la acepción antigua) que se hubiese hundido luego.

Otro ejemplo que de acuerdo con Wegener también puede ser explicado por la teoría de la deriva, es el caso de Nueva Zelanda. Para él, según la teoría de la deriva, Nueva Zelanda formaba inicialmente el borde este del continente australiano, de modo que su plegamiento principal estaba conectado con el de la cordillera australiana; pero el proceso de plegamiento cesó en Nueva Zelanda al desprenderse las cadenas neozelandesas formando un arco insular. Los movimientos del Terciario superior pueden estar relacionados con el hecho de que el bloque australiano se movió, alejándose de Nueva Zelanda.

Wegener dice, hacia el final de su capítulo sobre los argumentos geológicos de la teoría de la deriva, que al considerar globalmente los resultados geológicos, no se puede evitar la impresión de que la teoría de los desplazamientos puede hoy ser considerada como algo sólidamente fundado desde el punto de vista geológico, incluso en sus afirmaciones de detalle. Para él, era cierto que existían, y precisamente entre los geólogos, muchos oponentes a la teoría y que han manifestado contra ella objeciones desde diferentes puntos de vista, pero en general puede decirse que cuando estas objeciones no se deben totalmente a malos entendidos, se refieren en su mayoría sólo a cuestiones marginales cuya solución no es de significación esencial para las ideas fundamentales de la teoría.

### **3.6. LAS EVIDENCIAS PALEONTOLÓGICAS Y BIOLÓGICAS**

Para Wegener, la Paleontología, la Zoogeografía y la Fitogeografía proporcionan una contribución significativa para develar las condiciones en que se encontraba la Tierra en tiempos pasados; y el geofísico se puede encontrar en el camino equivocado si no tiene permanentemente en cuenta los resultados aportados por estas ramas de la ciencia como control de la suya propia.

Wegener (1929) agrega:

Y a la inversa, el biólogo que se ocupe de las cuestiones de la movilidad, deberá tener en cuenta los hechos geológicos y geofísicos para la formación de sus juicios, porque de no hacerlo así, también el estará amenazado de cometer errores inútiles. Por lo que alcanzo a ver actualmente, gran parte de los biólogos se encuentran defendiendo la idea de que es lo mismo suponer puentes continentales hundidos o el desplazamiento de los continentes, lo cual es erróneo. Los biólogos pueden comprender, sin tener que aceptar a ciegas opiniones extrañas, que la corteza terrestre ha de estar formada por un material más ligero que el del interior, y que consecuentemente, si los fondos oceánicos fueran continentes hundidos que tuvieran también el mismo espesor del material continental más ligero, las mediciones de la gravedad en los océanos deberían de mostrar el defecto en la fuerza de atracción correspondiente a una capa de rocas de 4 a 5 km de espesor.

Por el contrario, se han obtenido unos valores de la gravedad normales para los océanos, y los biólogos deberían de ser capaces de deducir que el supuesto hundimiento de los puentes continentales queda restringido a las regiones de plataforma continental e incluso a grandes cuencas oceánicas.

Y más adelante:

Sólo manteniendo este tipo de comunicación entre ciencias afines se podrá lograr que el estudio de la distribución actual y pasada de los organismos sobre la Tierra arroje todo el peso de su evidencia en la balanza, permitiendo así develar la verdad.

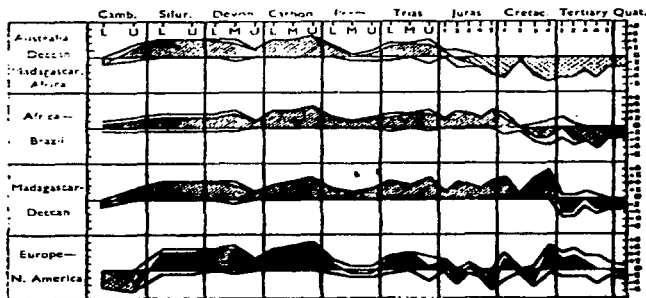


Fig. 15. Número de respuestas de investigadores que proponen (curva superior) y de aquellos que se oponen (curva inferior) a la existencia de cuatro puentes continentales desde el Cambriaco. La diferencia de respuestas está rayada cuando es afirmativa y cuadriculada cuando es negativa (tomada de Wegener, 1929).

Señala Wegener, con relación a las cuencas oceánicas, que no se trata de elegir entre la teoría de los desplazamientos o la teoría de los puentes continentales hundidos, ya que esta última posibilidad ni siquiera se puede tomar en consideración, sino que es cuestión de elegir entre la teoría movilsta o la teoría de la permanencia de las cuencas oceánicas (Fig. 15).

En este sentido, se considerarán como hechos favorables a la teoría de los desplazamientos todas aquellas observaciones biológicas que impliquen la existencia de antiguas conexiones terrestres libres de obstáculos a través de las cuencas oceánicas.

La cuestión está clara en el caso de la antigua conexión continental entre Suramérica y Africa. Stromer, dice Wegener, ha resaltado como la distribución de la flora de *Glossopteris*, de los Mesosáuridos y otros ejemplos, llevan a suponer una antigua gran extensión de tierra firme que unió los continentes meridionales. Jaworski, también citado por Wegener, concluye que todos los hechos geológicos conocidos sobre Africa occidental y Suramérica concuerdan con la hipótesis a la que se ha llegado con base en los datos zoogeográficos y fitogeográficos, tanto los actuales como del pasado: en periodos anteriores de la historia de la Tierra ha existido una conexión continental entre Africa y Suramérica en el lugar del océano Atlántico sur actual.

La cantidad de relaciones de afinidad observadas en las floras del Cabo y Australia hacen también deseable una conexión entre Africa y Australia a través de la Antártida.

Wegener cita a Von Ubisch que dice: Los hipotéticos puentes de la antigua teoría se extienden en su mayoría sobre regiones considerables. Algunos puentes se extienden incluso a través de distintas zonas climáticas. Por tanto, es evidente que estos puentes no podrían ser utilizados por todos los animales existentes en los continentes que éstos comunicaban, de igual forma que encontramos una distribución completamente homogénea de la fauna en continentes que actualmente se encuentran interconectados, incluso aunque estén incluidos en una zona climática homogénea. Pero con la teoría de Wegener, las cosas son muy distintas, porque de acuerdo con ella, la fractura que se produce



conduce a la separación de una región faunística completamente uniforme, siempre que esta fractura no se produzca accidentalmente a lo largo de una barrera faunística ya existente.

En un trabajo sobre los Ascidiidae, se externa que la teoría de los desplazamientos tenía una ventaja especial por ofrecer no solo la posibilidad de conexiones entre continentes, sino también la proximidad de hábitats. La teoría de Wegener permite una interpretación muy simple de las relaciones transatlánticas. Se puede suponer no solamente que el litoral, sino que también la distancia entre dos continentes pudiera ser mucho más estrecha durante el terciario de lo que es ahora.

Kubart, señala Wegener, realizó un estudio sobre la flora de las islas de la cresta centroatlántica, que geológicamente se han considerado como fragmentos continentales. Kubart llevó a cabo una investigación estadística de los tipos autóctonos y obtuvo un resultado cuantitativo, respaldado por un estudio faunístico, de que el aislamiento de las islas avanzó de sur a norte. Para él, estos resultados no sólo pueden ser aprovechados por la teoría de los desplazamientos, sino que también pueden valer para demostrar la existencia de grandes puentes continentales. Sin embargo, en cualquier caso, las islas son consideradas como los restos de esos procesos anteriores, e incluso de acuerdo con la teoría de los puentes continentales, el hundimiento del continente intermedio que conectaba África y Suramérica tuvo lugar en un periodo geológico anterior al del hundimiento de la parte norte de esta Atlántida. Sin embargo, de acuerdo con la teoría de la permanencia, la elevación de una inmensa Atlántida es desde cualquier punto imposible. Por tanto, la progresión matemática de los porcentajes de la flora, apoyada por todos los datos zoológicos y que aparentemente no está en contradicción con las observaciones geológicas, se convierte en una prueba directa de la separación del bloque africano-europeo-americano, que avanzó de sur a norte, y éste es precisamente el punto de vista de la teoría de los desplazamientos.

Las coincidencias biológicas entre el Decán y Madagascar, que habrían implicado un supuesto continente de *Lemuria*<sup>22</sup> luego hundido, son muy conocidas. Diener, citado por Wegener, apoyaba la idea de la permanencia de las grandes cuencas oceánicas y sobre el Decán y Madagascar opinaba, que desde el punto de vista zoogeográfico, era irrefutable la existencia de una conexión de tierra firme entre la península de la India y Suráfrica pasando por Madagascar, durante el Triásico y el Pérmico, ya que en las faunas de Gondwana en las Indias Orientales se encuentran vertebrados terrestres europeos, mezclados con otros que eran propios de Suráfrica. Sin embargo, para Wegener, la diferencia zoogeográfica consiste en que antes de la separación el Decán se hallaba al lado de Madagascar y es precisamente en este punto donde pueden apreciarse las ventajas de la teoría movilista, ya que estas dos regiones se encuentran actualmente en lugares con una diferencia latitudinal significativa y si tienen un clima y fauna similares es tan solo porque se encuentran a la misma distancia a ambos lados del ecuador. Esta enorme separación podría dar lugar a un enigma climático durante el periodo de la flora de *Glossopteris*, pero la teoría movilista viene a resolver este problema.

Wegener cita también a Sahní, y comenta que éste llevo a cabo una investigación sobre la distribución de la flora de *Glossopteris* de clima polar en el dominio de la antigua Gondwana, en un intento de examinar las ventajas de la teoría de los desplazamientos sobre las del hundimiento de los puentes continentales. Como una conclusión se consideró la existencia efectiva de una conexión continental entre Suráfrica, Madagascar, la India y Australia, resultado establecido hace tiempo por el trabajo de investigación.

Con relación a la fauna australiana Wegener cita a Wallace y señala que éste ya había reconocido una clara clasificación de esa fauna en tres elementos de diferente antigüedad. El elemento más antiguo, se encuentra fundamentalmente en el suroeste de Australia y muestra una interrelación con la fauna de la India y Ceilán en particular, pero también con las de Madagascar y Suráfrica. En esta asociación

se encuentran se encuentran representantes que gustan del calor, como sucede con las lombrices, que evitan los suelos helados. Esta asociación se remonta al tiempo en que Australia y la India estaban unidas.

La segunda asociación faunística de Australia es muy conocida, porque a ella pertenecen una serie de mamíferos peculiares, como los marsupiales y los monotremas, que se encuentran diferenciados de la fauna de las islas de la Sonda (frontera de los mamíferos, de acuerdo con Wallace). Esta asociación faunística muestra una serie de interrelaciones con Suramérica.

La tercera asociación faunística, la más reciente, es la que ha emigrado de Sonda estableciéndose en Nueva Guinea y ha comenzado a colonizar el noreste de Australia. El dingo, los roedores, los murciélagos y otros mamíferos han emigrado a Australia durante el post-Plioceno.

Estas tres subdivisiones de la fauna australiana concuerdan perfectamente con la teoría de los desplazamientos. Dice Wegener, que precisamente estas circunstancias nos muestran de la forma más clara posible la gran superioridad de la teoría movilista sobre la de los puentes hundidos, incluso si nos atenemos únicamente a hechos biológicos. De hecho, la fauna australiana va a proporcionar el material más importante con el que la Biología puede contribuir al problema general de los desplazamientos continentales.

Más adelante Wegener escribe, que junto con una serie de hechos que se señalan, existían dos rutas migratorias separadas: una de ellas hacia Nueva Zelanda, posiblemente atravesando la Antártida Occidental y la otra hacia Australia, posiblemente a través de la Antártida Oriental. A pesar de su relativa cercanía, parece que Nueva Zelanda y Australia estuvieron unidas sólo durante un corto periodo de tiempo, si es que llegaron a estarlo. La aclaración de este proceso se encuentra limitada por el escaso y disperso conocimiento de la Antártida.

La cuenca del Pacífico debe haber existido como tal desde tiempos geológicos muy antiguos. Una serie de autores ha supuesto precisamente lo contrario, entre ellos están Haug, que explica las islas como restos de un gran continente hundido y Arldt, quien creyó que las relaciones entre Suramérica y Australia se deberían explicar mediante un puente continental que atravesara el Pacífico sur, siendo así que una simple mirada a un globo terrestre nos muestra inmediatamente que el camino de Suramérica a Australia atraviesa la Antártida. También von Ihering, señala Wegener, ha supuesto la existencia de un continente Pacífico<sup>21,22</sup>, pero las razones sobre las que se basa son totalmente insostenibles. Burckhardt ha defendido asimismo la idea de un continente surpacífico que se extendía desde la costa occidental de Suramérica hacia el oeste; sin embargo, la base sobre la que se apoya su propuesta consiste en una única observación geológica, que se puede explicar de otra manera. En cualquier caso esta hipótesis ha sido desechada por varios autores, indica Wegener, entre ellos Arldt, uno de sus defensores que tiene que admitir que este puente continental es el menos apoyado por la mayoría. Nuestra suposición de permanencia de la cuenca Pacífica desde el Carbonífero, como mínimo, está de acuerdo con la opinión de la inmensa mayoría de los investigadores. Biológicamente hablando, se ha mostrado claramente la mayor antigüedad del Pacífico con respecto al Atlántico.

La teoría movilista considera que las islas del Pacífico, incluyendo su base sumergida, son cadenas marginales desprendidas de los bloques continentales, retrasadas hacia el este debido al movimiento general y predominante hacia el oeste de la corteza continental sobre el manto. Su lugar de origen habría que buscarlo en la zona asiática del océano, zona a la cual estas islas deberían haberse encontrado mucho más próximas en el periodo geológico que se considera, que lo están en la actualidad.

Wegener cita a Irmischer, quién afirma, que se ha llegado a la conclusión de que la teoría de la permanencia resulta inadecuada, por varias razones, para explicar los hechos observados en la distribución de la flora y sus condicionantes y que por el contrario, al comparar sus descubrimientos con la teoría de los desplazamientos de Wegener, se vio que tanto los rasgos particulares de la estructura zonal como los condicionantes de la distribución de las plantas concuerdan extraordinariamente bien con la suerte corrida por los grandes bloques continentales, tal como lo postula Wegener y que los primeros se encuentran directamente reflejados en la segunda.

Lo que la teoría de la permanencia nunca había llegado a explicar, el enigma de la flora australiana, encuentra por primera vez una solución completamente aceptable. El cambio en la posición de los continentes durante el Mesozoico, es lo único que puede darnos la clave para comprender el hecho, de otro modo incomprensible, de que las formas extratropicales de Australia no estén estrechamente emparentadas con las asiáticas, como sería de esperar por su actual posición geográfica y teniendo especialmente en cuenta que no ha existido ningún desplazamiento de los polos con consecuencias perturbadoras para esta zona. Esta antigua posición de Australia proporciona a su vez la clave para resolver el problema de cómo esta flora antigua ha permanecido en ese lugar casi sin alteración hasta nuestros días, como ha mantenido su diversidad de formas y como ha sido posible su desarrollo posterior. El desplazamiento de Australia hacia el norte después de su separación de la Antártida supuso un aislamiento de aquel continente. Así pues, es posible ver como el mundo vegetal de Australia proporciona la misma imagen que el mundo animal. En el curso de nuestras investigaciones, dice Irmischer, citado por Wegener, nunca surgió la necesidad de postular la existencia de un antiguo continente Pacífico.

Como se puede ver, señala Wegener, Irmischer está en el camino correcto, ya que compara la teoría movilista no con la de los puentes continentales hundidos, geofísicamente insostenible, sino con la teoría de la permanencia. A pesar de que en un primer momento llegó a considerar la teoría de los puentes continentales, acabó por rechazarla basándose en evidencias puramente botánicas.

Más adelante, Wegener cita a Michaelsen, el cual demuestra que intentar explicar la distribución de las lombrices de tierra según la teoría de la permanencia lleva a plantear problemas irresolubles, mientras que la teoría movilista lo explica de una manera sorprendente. Para Michaelsen, la teoría de la deriva continental de Wegener ofrece una explicación simple de las distintas correlaciones transoceánicas de la fauna de *Oligochaetus* en la India. Señala, que observando el mapa esquemático de Wegener sobre la configuración aproximada supuesta para los continentes durante el Carbonífero se observa que la India, en su extensión máxima (antes de producirse el plegamiento del Himalaya) llegaba hasta Madagascar y que su parte oeste, el hábitat actual de *Howascolex* estaba unida directamente con Madagascar, el segundo hábitat de *Howascolex*; lo cual explica de una forma muy simple la correlación transoceánica aplicable al hábitat occidental de la India (Fig. 16).

Como una conclusión, afirma Michaelsen, se puede decir que la distribución de *Oligochaeta* no contradice en ningún caso la teoría de Wegener sobre los desplazamientos continentales, sino que, por el contrario, debería más bien considerarse como un poderoso argumento a su favor.

### **3.7. LAS EVIDENCIAS PALEOCLIMÁTICAS**

Wegener (1929), dice que junto con W. Köppen examinó sistemáticamente el problema de los climas de las épocas pasadas en un libro publicado en 1924 intitulado *Die Klimate der Geologischen Vorzeit* (*El clima en el transcurso del tiempo geológico*).

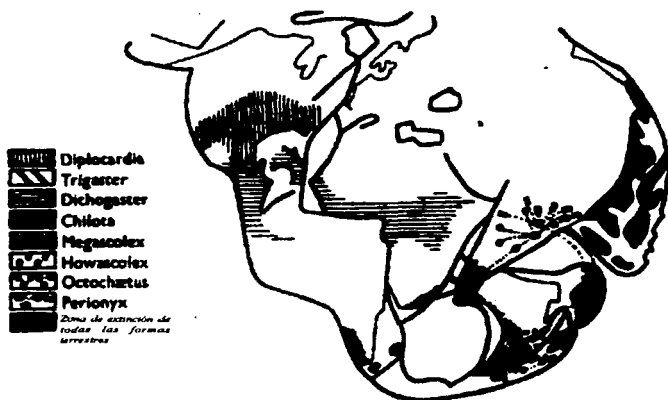


Fig. 16. Distribución actual de algunos géneros de lombrices de la familia Megascolecina, sobreimpuesta a una reconstrucción pre-Jurásica, basada en la teoría de la deriva. Según Michaelsen (tomada de Wegener, 1929).

Aunque se trataba, señala Wegener, de una recopilación de literatura geológica y paleontológica, tarea en la que el climatólogo y el geofísico están expuestos lógicamente a dificultades y errores que el especialista puede evitar, la investigación era necesaria porque la Paleoclimatología sólo puede avanzar como resultado de la unión de estas ciencias y la literatura publicada hasta el presente sobre este tema indica claramente que las bases meteorológicas y climatológicas empleadas hasta ahora son inadecuadas. Para Wegener, la cuestión era tratar hasta que punto los climas del pasado suministran criterios para demostrar que la teoría movilista es cierta.

En este sentido, el origen de la glaciación Cuaternaria queda excluida, pues en el Cuaternario la posición relativa de los continentes era tan semejante a la actual que este periodo proporciona pocos criterios paleoclimáticos a favor de la teoría de los desplazamientos. Sin embargo, sucede lo contrario para los periodos geológicos antiguos, en los que se encuentran evidencias extraordinarias que hacen innegable la teoría movilista; y dice Wegener, no es pequeño el número de autores que han abrazado la teoría basándose en estas pruebas.

Para formarse una opinión correcta son necesarias dos cosas: un conocimiento de los sistemas climáticos actuales y de sus efectos sobre los sistemas tanto orgánicos como inorgánicos y un conocimiento e interpretación correctos de los registros climáticos fósiles.

Quizá el indicador climático más importante sean las huellas dejadas por los antiguos casquetes glaciares. Como la condición para el desarrollo de los casquetes glaciares es una temperatura baja en verano, condición que falta en el interior de los grandes continentes debido a los grandes cambios de temperatura anuales que se dan en ellos, el clima polar no siempre queda definido por restos de

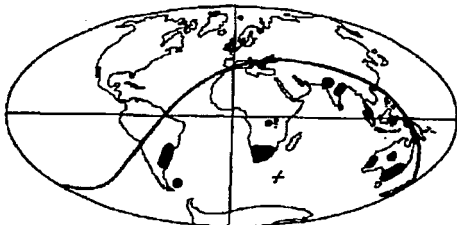


Fig. 17. Restos permo-carbónicos de casquetes glaciares en los continentes actuales. La cruz señala la posición del Polo Sur. La línea gruesa representa el Ecuador correspondiente (tomada de: Wegener, 1929).

casquetes glaciares; sin embargo, donde encontremos tales huellas es seguro que estaremos ante los resultados de un clima polar. La más frecuente es la llamada arcilla con bloques, cuyo nombre se refiere a la mezcla sin clasificación alguna de los materiales más gruesos con los más finos, que es característica de las morrenas. Las arcillas con cantos de los tiempos geológicos pasados están en su mayoría consolidadas formando rocas duras llamadas tillitas. Se conocen tillitas de los periodos, Cámbrico, Devónico, Carbonífero, Pérmico, Mioceno, Plioceno y Cuaternario (Fig. 17).

En general, se suele considerar corroborada la naturaleza glaciaria de un afloramiento cuando se comprueba que debajo de la arcilla con bloques de la morrena basal la roca presenta una superficie pulida.

Los carbones, que se interpretan como capas fósiles de turba, constituyen otro grupo importante de indicadores climáticos. El carbón es un testimonio de un clima lluvioso, aunque éste puede ser tanto de la zona lluviosa de las latitudes templadas, como también, del clima lluvioso subtropical de las zonas de monzón, en los extremos orientales de los continentes. En efecto, hoy se forma turba en numerosos pantanos ecuatoriales, pero también en los subtrópicos cuando éstos son húmedos y asimismo en las latitudes templadas, donde son muy conocidas las turberas Cuaternarias y postcuaternarias del norte de Europa. De esta manera, de la sola presencia de capas de carbón no puede obtenerse ninguna deducción sobre la temperatura, pero si puede extraerse información del carácter de la flora cuyos restos se encuentran en las capas de carbón y en las adyacentes.

Los materiales formados en las regiones áridas, especialmente sal, yeso y arenisca del desierto, constituyen un grupo especialmente importante de indicadores climáticos. La sal de roca se origina por evaporación del agua de mar. En la mayoría de los casos se trata de transgresiones del continente, en las que el agua queda aislada del mar abierto a causa de movimientos del fondo.

El mundo animal proporciona también numerosos criterios climáticos, dice Wegener. Los reptiles, que no pueden generar calor por sí mismos, caen en el letargo invernal en los climas de inviernos fríos, quedando entonces indefensos. Por tanto, sólo pueden vivir en estos climas si son lo bastante pequeños como para esconderse fácilmente, como sucede con los lagartos y víboras. Así, donde los reptiles hayan desarrollado gran riqueza de formas, se puede concluir que existió un clima tropical, o al menos subtropical.

La enorme cantidad de hechos que pueden utilizarse como indicadores del clima fósil muestran, que la mayoría de las regiones de la Tierra tuvieron en el pasado geológico un clima totalmente distinto al actual. Así, por ejemplo, se sabe que durante la mayor parte de la historia de la Tierra, Europa ha tenido un clima subtropical y tropical.

Otro ejemplo de grandes cambios climáticos lo constituye la zona del Polo Norte, en especial el caso de las islas Spitzberg. Estas islas, tiene en la actualidad un duro clima polar y están cubiertas por el hielo, pero en el Terciario inferior, crecían en ellas bosques con mayor número de variedades que las que se encuentran hoy en Europa central. No solo se hallaban pinos y abetos, sino también tilos, boj, álamos, olmos, robles, arces, hiedras, ciruelos, avellanos, fresnos e incluso vegetación de climas tan cálidos como lirios de agua, nogales, cipreses de los pantanos, sequoias gigantes, plátanos, castaños, ginkos, magnolios, e ¡ incluso viñas ! exclamaba Wegener. Por tanto, debe haber existido en las Spitzberg un clima como impera hoy en Francia, es decir, que la temperatura media anual debía ser de unos 20°C más alta que la actual. En el Carbonífero se encuentra en estas islas, por un lado potentes capas de yeso, indicios de un clima seco subtropical y por otro una flora de carácter igualmente subtropical (Fig. 18).

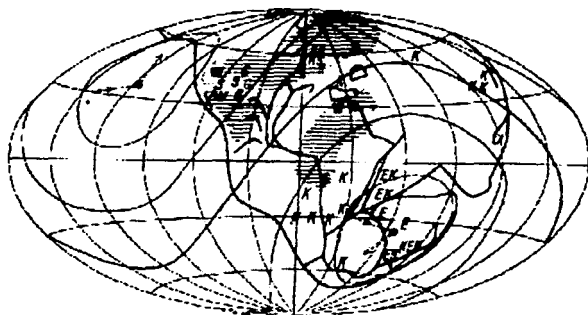
Wegener indica, que los enormes cambios climáticos, como en el caso de Europa, de un clima tropical a otro propio de las zonas templadas, en las Spitzberg de subtropical a polar, sugiere un desplazamiento del Polo y del Ecuador y con ellos de todo el sistema zonal del clima. Y esta idea encuentra una confirmación insoslayable en el caso de Suráfrica, que en el mismo intervalo de tiempo experimentó una alteración climática igualmente enorme, pero opuesta: sepultada bajo un casquete polar en el Carbonífero y hoy bajo un clima subtropical.

Estos hechos, ampliamente aceptados, no permiten otra explicación que la deriva polar. Con relación a este punto, Wegener dice que por convincentes que parezcan las razones para creer en una migración del polo a lo largo de la historia de la Tierra, también es innegable que todos los intentos iniciales de determinar la situación de los polos y el Ecuador de forma continua a través del tiempo han conducido siempre a un absurdo tan grotesco que no es de extrañar que diera lugar a la sospecha de que todo el concepto fuera erróneo.

Sin embargo, la teoría movilista, proporciona para la proyección de los indicios de los climas fósiles para el Cretácico un mapa básico diseñado según esta teoría, con la desaparición de contradicciones climáticas y todos los indicadores climáticos se ordenan según el patrón familiar de las actuales zonas climáticas.

De acuerdo con Wegener, la pregunta ya no es ¿Se han movido los bloques continentales? pues sobre esto no hay duda posible, sino ¿Se han movido los continentes de acuerdo con las suposiciones particulares de nuestra teoría? Por ello, no debe pasarse por alto el hecho de que se han hallado, en una serie de lugares de los afloramientos permocarboníferos, conglomerados que hasta ahora han sido igualmente considerados de origen glacial a base de argumentos geológicos, y cuya situación no se adapta bien a las suposiciones de la teoría de los desplazamientos. Por ejemplo, existen informaciones de conglomerados permocarboníferos de este tipo en Africa Central, conglomerados que hasta ahora han sido identificados con los de Dwyka en Suráfrica y señalados como la morrena de fondo de un casquete glacial. Si fuera necesario, los indicios glaciares permocarboníferos en la zona del Congo se podrían aún hacer compatibles con los conceptos de la teoría movilista, pero estos indicios hacen necesarias suposiciones que son inverosímiles desde el punto de vista climatológico.

**Pérmico**



**Carbonífero**



Fig. 18. Pruebas paleoclimáticas del periodo Carbonífero y Pérmico. F: indicios glaciares; K: carbón; S: sal; G: yeso; W: arenisca desértica; las regiones a rayas son áreas desérticas. Según Köppen-Wegener (tomada de: Wegener, 1929).

*Pérez M., C.*

Para Wegener, la demostración paleoclimática de la teoría de los desplazamientos sería incompleta si solo valiera para el Carbonífero y el Pérmico, y fallara para los periodos posteriores. Pero este no es el caso en modo alguno. Si se utiliza como base la reconstrucción, según la teoría movilista, los indicios climáticos se disponen siempre en un sistema climático similar al actual, mientras que si se utilizan las posiciones actuales de los continentes, aparecen contradicciones.

La deriva polar y los desplazamientos continentales forman el principio básico por cuya aplicación la confusión previa de hechos aislados, aparentemente contradictorios y desordenados, se articulan en un cuadro de simplicidad que sorprende siempre de nuevo y que en virtud de su analogía total con el actual sistema climático es extremadamente persuasivo.



#### 4. LA CONTROVERSIA SOBRE EL MECANISMO Y LA TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL

Takeuchi *et al.*, (1986), dice que en la mitología griega la Tierra estaba sostenida por un gigante llamado Atlas. Cuando Atlas se mueve, se mueve la Tierra. La pregunta es ¿Cuál es la fuerza que mueve los continentes? ¿Cuál es la personalidad de este Atlas? ¿Cuál es el mecanismo de la deriva continental?.

El movimiento de casi todos los continentes se puede dividir en dos: uno hacia el oeste y otro hacia el ecuador.

Todo objeto del universo atrae a otro con una fuerza que depende de sus masas respectivas, así como de la distancia entre ambos. La Tierra, con su enorme masa, ejerce una atracción muy grande sobre los objetos situados en su superficie. A causa de la rotación de la Tierra sobre su eje hay otra fuerza, la fuerza centrífuga de rotación, en virtud de la cual el objeto tiende a escapar de la superficie de la Tierra en rotación. La fuerza centrífuga es máxima en el ecuador y disminuye gradualmente hasta llegar a ser nula en los polos. Esta fuerza centrífuga de rotación no es en modo alguno insignificante, puesto que debido a ella, la Tierra no posee una forma completamente esférica, sino que está achatada en los polos y abombada en el ecuador.

R. Eötvös (1848-1919), científico húngaro, sugirió la existencia de una fuerza a la que denominó *polfluchtkraft*, es decir, *fuerza polifuga*, o que tiende a huir de los polos. Esta es la fuerza que Wegener propuso como causa de la deriva de los continentes hacia el ecuador (Fig. 19).

Wegener (1929) dice al respecto:

La deriva polar es un concepto geológico. Solo la parte más superficial de la corteza terrestre es accesible al geólogo y como la antigua situación de los polos solo puede estimarse tomando en cuenta los datos del registro fósil sobre el clima, se tiene que considerar la deriva polar como un fenómeno superficial, esto es, como una rotación del sistema de paralelos de latitud respecto a toda la superficie del globo, o bien como una rotación de toda la superficie relativa al sistema de paralelos. La deriva polar en este sentido solo puede demostrarse por medio del registro climático fósil.

Desde el punto de vista de su dirección, esta fuerza es ideal para la teoría de Wegener. La dificultad estriba en su intensidad. Se ha calculado su valor y demostrado que es extremadamente pequeña, tanto como varios millones de veces menor que la fuerza de la gravedad. ¿Puede ser capaz una fuerza tan débil de mover las masas continentales venciendo la resistencia que presenta el manto? Wegener insistía en que por pequeña que sea una fuerza, si actúa durante millones de años puede llegar a desplazar los continentes (Takeuchi *op cit.*, 1986).

Otra objeción era que la fuerza polifuga, aún suponiéndola capaz de efectuar el desplazamiento de los continentes, seguía siendo demasiado pequeña para haber producido los plegamientos.

Con relación al mecanismo de la deriva hacia el oeste, la explicación de Wegener resultó todavía menos convincente. La atribuyó al efecto de marea producido por el Sol y la Luna. La fuerza que origina las mareas es debida a su atracción y esta atracción actúa no sólo sobre el agua del

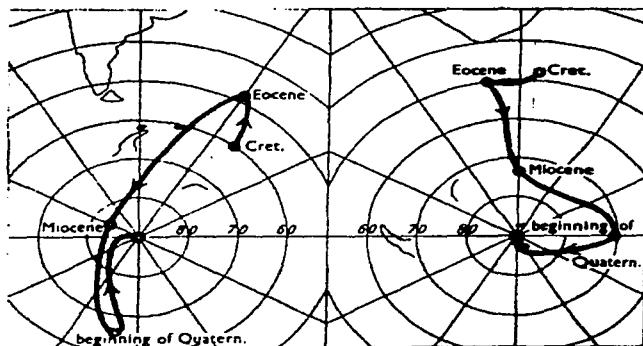


Fig. 19. Deriva del Polo Sur desde el Cretácico hasta el presente. La figura de la izquierda es con respecto a Suramérica y la de la derecha con respecto a África (tomada de: Wegener, 1929).

océano, sino también sobre la Tierra. El argumento de Wegener de que la fuerza de las mareas puede producir un lento desplazamiento de los continentes resulta muy discutible, porque la fuerza de marea que actúa sobre la corteza terrestre es extremadamente pequeña y su dirección cambia periódicamente, por el flujo y reflujo. No obstante, es cierto que la fricción producida por el movimiento de las mareas origina una constante desaceleración en el movimiento de rotación de la Tierra. Y en este caso es perfectamente posible que el movimiento de las mareas tienda a arrastrar la corteza hacia el oeste. Esta fue la esperanzadora hipótesis de Wegener. Tiempo después, el geofísico inglés, H. Jeffreys, demostró desde un punto de vista teórico que la suposición de Wegener era incorrecta. Este problema del mecanismo causante de la deriva constituía un obstáculo difícil de salvar, y la mayoría de los geofísicos se apartaron entonces de la teoría de Wegener.

Ya en 1910 F.B. Taylor había sugerido que los continentes habían derivado hacia el ecuador en gran escala. Taylor se sintió impresionado por el hecho de que las cadenas alpinas del continente asiático tienen en general forma arqueada con la convexidad hacia el sur. Puesto que la fuerza centrífuga producida por la rotación de la Tierra tiene una resultante hacia el ecuador, Taylor admitía que debido a esta fuerza los continentes del hemisferio norte se deslizaban hacia el sur y los del hemisferio sur se deslizaban hacia el norte (Fig. 20).

Según Taylor, el deslizamiento de los continentes, producido por la pequeña fuerza resultante hacia el ecuador (a causa de la rotación de la Tierra), tuvo lugar en el periodo Terciario. ¿Por qué en el Terciario? Porque para Taylor la rotación se había iniciado en dicho periodo. Taylor expuso la teoría de que al final del Cretácico, la Tierra capturó e hizo satélite suyo a la Luna, de gran velocidad de rotación y como consecuencia aumentó la velocidad de rotación de la Tierra.

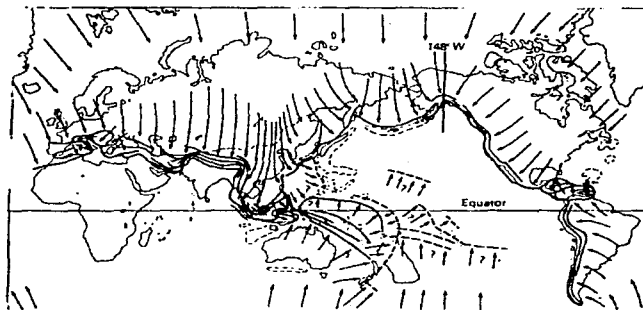


Fig. 20. Mapa que ilustra, de acuerdo con Taylor, la dirección y desplazamiento de la corteza para explicar así la formación de las cordilleras del Terciario por deriva continental (tomada de: Kearney *et al.*, 1990)

La idea del deslizamiento continental es ya de por sí una hipótesis difícil de comprobar, para hacerla depender todavía de otra hipótesis todavía más dudosa, como es la captura de la Luna. La teoría de Taylor tenía otro punto débil y es que la formación de montañas no ha tenido lugar únicamente en el Terciario pues hay cadenas montañosas más antiguas, que se formaron en tiempos anteriores de la historia de la Tierra.

Du Toit también intentó desarrollar un mecanismo explicativo de la deriva continental. Para él, jugaban un papel importante los geosinclinales. Estos, consisten en que en los márgenes de los continentes, los sedimentos se acumulan por erosión y deposición. Al aumentar de espesor, éstos se hunden por su propio peso, a la misma velocidad con que se acumulan los sedimentos, resultando que los márgenes de los continentes estén siempre a un nivel más bajo que las plataformas interiores. Los estratos pueden alcanzar espesores de 10 Km. El foso relleno con estos sedimentos es lo que recibe el nombre de *geosinclinal* (Takeuchi *et al.*, 1986).

Para du Toit (1937), el deslizamiento continental está determinado esencialmente por disturbios ciclónicos que afectan a las corrientes de convección en la subcorteza. Además, no es un proceso especial aplicado a un período o región particular, sino una propiedad inherente de la corteza y que opera a través del tiempo geológico y en el globo entero. Tal deslizamiento pudo ser, primero, de corrientes magmáticas que conformaron una distribución ciclónica y segundo, de fuerzas situadas dentro y debajo de los bloques en movimiento.

De esta manera, du Toit basándose en fenómenos geológicos conocidos, producidos por la energía gravitatoria y también por el ascenso del magma fundido, dependiente de la energía térmica, los continentes quedan provistos de su propio motor y navegan sobre el manto. Este sería el mecanismo de la deriva continental. Sin embargo, la teoría de du Toit no contó con pruebas cuantitativas y en el presente ha quedado menos que olvidada.

#### 4.8.1. LAS IDEAS DE JOHN JOLY Y ARTHUR HOLMES

Uno de los fenómenos extraños que han encontrado los geólogos a lo largo de la historia de la Tierra es que la orogénesis ocurre con cierta periodicidad. Una orogenia empieza con la depresión de la masa continental y la transgresión del océano sobre su margen. Durante una orogenia, la corteza terrestre entra en actividad general, acompañada de erupciones volcánicas, metamorfismo de rocas y formación de grandes cadenas montañosas como los Alpes, los Andes y el Himalaya, las cuales forman la más reciente revolución geológica, denominada orogenia Alpina. Hasta donde los geólogos han podido retroceder en la historia de la Tierra, estas orogenias han tenido lugar varias veces en el pasado. Una orogenia abarca un periodo de unos 100 millones de años y es seguida por un periodo de reposo.

La sucesión periódica de las orogenias ha sido siempre un enigma para los geólogos. Si la Tierra se enfía de un modo gradual ¿por qué las orogenias tienen lugar únicamente a intervalos? John Joly (1857-1933), científico irlandés, elaboró una nueva teoría entre 1923 y 1926. En el simposio de Nueva York, la teoría de Joly fue una esperanza para los seguidores de la teoría de la deriva continental.

Joly (1928), señaló que el movimiento continental no es improbable durante amplios periodos de flujo debajo de la capa de la corteza. Durante esos periodos ciertas fuerzas afectan la corteza externa. Por ejemplo, las fuerzas de las mareas debidas a la Luna y el Sol parecen generar una fuerza diferencial sobre los continentes. Tales fuerzas son ahora relativamente pequeñas, pero actúan sobre regiones inmersas en los continentes, extendiéndose muchas millas hacia el denso fluido de las capas interiores. Otro tipo de fuerzas derivan de la contracción y expansión de la corteza externa, lo cual ocurre en cada orogenia. Las regiones que sufren ascenso y descenso descansan bajo los océanos, ya que aquí el calor es descargado generando cambios considerables en el grosor del piso oceánico.

Lo que Joly sugirió fue que la periodicidad de las orogenias se debe a la radiactividad en el interior de la Tierra. La base de esta idea es que, a causa de la mala conductividad térmica del material que constituye la corteza, el calor radiactivo se acumula debajo de ella y poco a poco va fundiendo el manto terrestre. ¿Qué ocurre cuando el manto empieza a fundirse? Las rocas aumentan de volumen y se hacen más ligeras. Cuando el medio de flotación, constituido por el manto, es más liviano, la corteza que flota isostáticamente en él se hunde un poco más. Esto es lo que para Joly causa la depresión de la masa continental al principio de cada orogenia.

Arthur Holmes (1890-1965), de la Universidad de Edimburgo, conocido por ser uno de los precursores en la determinación de la edad de los periodos geológicos, fue el primero en sugerir que la deriva continental podría explicarse por una convección térmica en el manto sólido. Expuso su idea aproximadamente cuando se celebró el simposio de Nueva York.

De acuerdo con Holmes (1952), se ha demostrado que, al buscar la explicación de la deriva continental por medio de un posible arteficio propio de la ingeniería, debemos limitarnos a procesos que operan en el interior de la Tierra. Este proceso tendría que ser capaz de: a) romper en gigantescos fragmentos el continente de Gondwana y de transportar estos últimos radialmente hacia afuera; África y la India hacia el Tethys, y Australia, Antártida y Suramérica, hacia el Pacífico; b) romper Laurasia, aunque menos drásticamente y de nuevo con movimiento radial centrífugo llevar sus fragmentos hacia el Tethys y el Pacífico. Las zonas orogénicas periféricas probablemente señalan las regiones donde llegaron a reunirse sistemas opuestos de corrientes subcorticales para volver de nuevo hacia

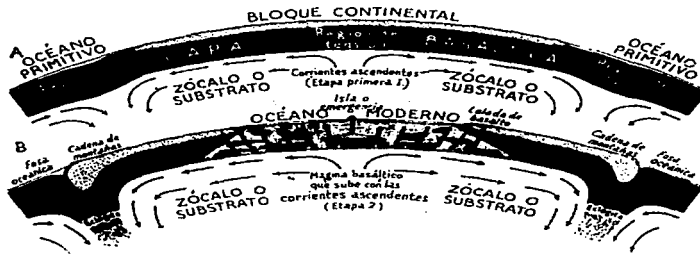


Fig. 21. Diagramas que contribuyen a explicar un mecanismo hipotético que permite imaginar los desplazamientos continentales. En A las corrientes subcorticales se encuentran en la primera parte del ciclo de convección. En B las corrientes han llegado a ser bastantes vigorosas para arrastrar, separándolas, a las dos mitades del continente original, con el consiguiente levantamiento montañoso en el frente, donde descienden las corrientes y el desarrollo del piso del océano en el sitio donde se produjo la brecha dando paso a las corrientes ascendentes (tomada de Holmes, 1952).

abajo. Los movimientos requeridos para explicar la estructura de las montañas se efectúan en la misma dirección que los exigidos para la deriva continental y así, resulta que las corrientes subcorticales de convección pueden proporcionarnos una especie de mecanismo por medio del cual podamos explicar la deriva (Fig. 21 )

Para explicar las zonas orogénicas periféricas se han supuesto tres sistemas de corrientes de convección, con sus centros ascendentes situados debajo del continente Gondwana, de Laurasia y del Pacífico respectivamente. De un modo incidental se debe indicar que la reunión de los sistemas ordinariamente caóticos o poco convectivos en tres sistemas gigantescos va involucrada a una coincidencia que tanto pudo darse durante la era Mesozoica como en otra cualquiera. La tan frecuente pregunta: ¿cómo es que la Pangea comenzó a romperse y plegarse hasta los tiempos mesozoicos? deja de tener importancia. Si la deriva continental pudo ser causada por las fuerzas de gravitación invocadas por Wegener, entonces debió haber ocurrido de una vez por todas en los comienzos de la historia de la Tierra<sup>11</sup>, puesto que tales fuerzas siempre han actuado. Si las corrientes de convección fueran necesarias, la deriva continental pudo haber acompañado todos los grandes paroxismos en que hubo formación de montañas en las primitivas edades; pero, si así fue, no ocurriría más que en una escala muy limitada. Una integración bastante excepcional de esfuerzos durante el Mesozoico y el Terciario ha sido forzosamente sugerida por las erupciones de coladas basálticas en las mesetas y la formación de montañas a una escala que sería difícil hallar en edades anteriores.

Existen buenas razones para suponer que en este periodo crítico para la historia de la Tierra la circulación convectiva llegó a ser excepcionalmente poderosa y bien organizada. Las corrientes se establecieron debajo de la corteza y arrastrarían las masas continentales, con tal que fuera superada la enorme resistencia frontal que pudieran hallar en su camino. La obstrucción que se opuso al avance continental está en la capa basáltica y es evidente que, para poder avanzar, las basálticas hubieron de ser continuamente apartadas de su camino. En otras palabras, debieron de sumergirse en las profundidades, pues no podrían ir a ninguna parte.

Esto es lo más probable que ocurriera cuando dos corrientes opuestas llegaran a juntarse y se sumergieran debajo de una cubierta de composición basáltica. Esta última sufriría una intensa compresión y es probable que el sial en tales circunstancias fuera arrastrado para formar raíces. En el fondo del océano la expresión del plegamiento hacia abajo de la capa basáltica sería una fosa oceánica.

La teoría de Holmes difiere esencialmente de otras como explicación del mecanismo de la deriva continental. Se pensaba que los continentes navegaban sobre el manto y era difícil encontrar un mecanismo adecuado para la deriva. En la teoría de Holmes, se admite que la convección tiene lugar en el manto, y entonces los continentes son transportados como si estuvieran sobre un suelo mecánico o cinta transportadora. El motor de este suelo se alimenta de la energía gravitatoria y de la energía térmica del interior de la Tierra.

Hacia fines de la década de 1930 ya se había dicho todo lo que se tenía que decir. La teoría de la deriva continental se apartó del pensamiento de los hombres, como una pesadilla, diría yo la *pesadilla Wegener*, y a duras penas se aludía a ella en las lecciones universitarias. La teoría de la deriva continental habría muerto completamente si no hubiera sido por la dramática aparición, después de la Segunda Guerra Mundial, de las denominadas «pruebas independientes» que reclamaba Holmes (Takeuchi *op cit.*, 1986)

#### 4.8.2. ALEXANDER DU TOIT

Alexander Logie du Toit (1878-1948), no fue solo el más honrado de los geólogos surafricanos sino también en palabras de R.A. Daly, el "*más grande geólogo de campo*". En grado notable combinó dos cualidades que no se encuentran a menudo: ser un observador extremadamente cuidadoso, que notó y obtuvo deducciones de detalles que se escaparon a otros, y su aptitud para sintetizar información. Hacia el final de su vida, apoyó la hipótesis de la deriva continental con argumentos obtenidos de todas partes del mundo y proporcionó consideraciones acerca de la capa superior del manto (Wilson, 1971).

El pensamiento versátil de du Toit se demostró por la importante contribución que hizo a temas variados como la estratigrafía del Precámbrico y la capa de Karroo, en paleobotánica, petrología, hidrogeología, geomorfología, geología económica de metales básicos, no metales, y depósitos de diamantes. Fue muy activo y mapeó la geología de más de 100, 000 millas cuadradas, muchas en detalle, usando una tabla plana con una bicicleta para transportarse y un burro para acarrear sus muestras de rocas.

Entre quienes recuerdan a du Toit tienen un profundo respeto por su intelecto, conocimiento, y ambas actividades son igualmente apreciables como su modestia, frugalidad, y su bondad para todos. Esas cualidades, se unen a un fuerte carácter, hecho a su liderazgo prominente de hombre y figura dominante en cualquier compañía.

Du Toit fue congénito de Rondebosch, cerca de Cape Town, Suráfrica. La familia de su padre, una de las más distinguidas en Suráfrica, fue de descendencia hugonote y ha estado en Cape desde 1687. Su madre fue Anna Logie, hija de un inmigrante escocés. Fue a la escuela en un colegio diocesano, el Colegio de Suráfrica (ahora la Universidad de Cape Town) antes de pasar dos años calificando en ingeniería de minas en el Royal Technical College, de Glasgow, y estudiando geología en el Royal College of Science, de Londres.

En Glasgow, du Toit se casó con Adelaide Walker. Tuvieron un niño, Alexander Robert. La esposa de du Toit murió en 1923, y dos años después se casó con Evelyn Harvey. En este periodo de su vida se convirtió en un hábil músico, su instrumento favorito fue el oboe, y las carreras de motocicletas.

En 1901 du Toit se convirtió en conferenciante del Royal Technical College, de Glasgow y de la Universidad de Glasgow. En 1903 regresó a Suráfrica o ingresó a la Geological Commission de Cape de Good Hope. Los siguientes diecisiete años serán casi continuos en el campo, mapeando, y a veces acompañado por su esposa e hijo. En este periodo establecerá los fundamentos de su amplio entendimiento y conocimiento sobre los detalles de la geología de Suráfrica.

En su primera temporada, la paso con A. W. Rogers en el oeste de Karroo, determinando así mucho de lo que sería su interés. Ambos establecieron la estratigrafía del sistema inferior y medio de Karroo notando el origen glacial de la tillita de Dwyka. Mapearon numerosas doleritas intrusivas, sus fases ácidas y sus aureolas metamórficas.

De 1903 a 1905 du Toit estuvo en la escabrosa área de Stormberg, mapeando y explicando la paleobotánica de la base de carbón de la capa Molteno y su vulcanismo clásico. De 1905 a 1910 trabajo en la parte norte de la antigua Cape Colony, mapeando rocas sin fósiles del Precámbrico a la edad Pérmica. Se interesó en la geomorfología e hidrogeología y colaboró con Rogers en una nueva edición del libro *Introduction to the Geology of Cape Colony*.

Siguiendo con Wilson *op cit.*, entre 1910 y 1913 du Toit estuvo cerca del océano Indico, mapeando los depósitos de carbón de Karroo, la flexible Lembombo Range entre la costa, y un inmenso número de intrusiones básicas y rocas charnockita que descubrieron. En 1910 recibió el grado de D.Sc. por la Universidad de Glasgow por su trabajo sobre los depósitos de la Insiza Range. Su *Underground Water in South-East Buchuanaland* (1906) y *The Geology of Underground Water Supply* (1913) son las más importantes monografías que sirvieron para establecer su autoridad sobre las aguas continentales en Suráfrica. En 1914 du Toit visitó Australia para estudiar las rocas equivalentes del sistema de Karroo y la geología de las aguas continentales de la Great Artesian Basin. Desde el fin de la primera guerra mundial hasta la campaña en el suroeste de Africa en 1915, fue el hidrogeólogo de las fuerzas surafricanas, poseía el rango de capitán.

Al regreso a su ciudad natal, du Toit se interesó e involucró en un trabajo en el departamento de irrigación y fue transferido en 1920. Contribuyó al continuo trabajo de campo que proporcionó la capacitación para una serie de importantes escritos y libros del Sistema de Karroo (1918), las dolomitas de Karroo (1920), la glaciación del Carbonífero (1921), las conexiones pasadas de tierra con otros continentes (1921), la línea de costa de Suráfrica (1922) y la Geología de Suráfrica (1926).

En 1923 un apoyo de la Carnegie Institution of Washington permitió a du Toit hacer una excursión a Suramérica con el propósito de comparar la geología de este continente con la de Africa. Marchó de Cape Town el 12 de junio y pasó cinco meses en Brasil, Paraguay y Argentina. Describió su visita en *A Geological Comparison of South America with South Africa* (1927), en el que esbozó los puntos de similitud entre los dos continentes.

Encontró que los dos continentes son semejantes en algunos aspectos, de los cuales solo mencionaremos los siguientes: (1) el basamento cristalino Precámbrico con sedimentos devónicos sin doblar; (2) el extremo sur, conformado por estratos del Devónico al Pérmico incluyendo tillitas Carboníferas arrugadas por la construcción de montañas; (3) tillitas que se extienden hacia el norte

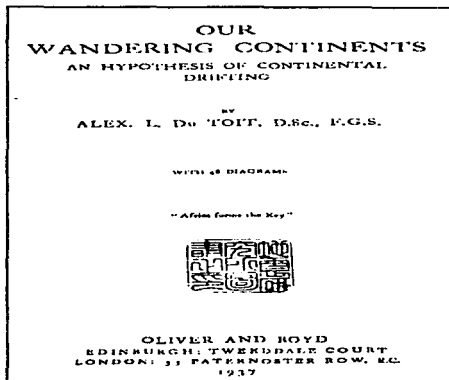


Fig. 22. Portada del libro *Our Wandering Continents* de Alexander Logie Du Toit.

que transgreden a través del Devónico en el basamento Precámbrico; (4) depósitos glaciales extendidos sobre estratos Pérmicos y Triásicos con la flora *Glossopteris*, seguida por basaltos que se extienden y dolomitas intrusivas; (5) estratos Gondwanicos que se extienden hacia el norte continuando desde el sur de Karroo al Kaokoveld en África y desde Uruguay a Minas Geraes en Suramérica; (6) un suceso en las islas Falkland muy semejante a la de Cape, pero distinta de la Patagonia; y (7) el contorno geográfico del continente.

De 1927 a 1941 du Toit fue consultor geológico para De Beers Consolidated Mines pero continuó escribiendo de muchos tópicos; en 1937 publicó su libro más conocido *Our Wandering Continents* (Fig. 22). En 1932 visitó Norteamérica, en 1937 la Unión Soviética y en 1938 la India. Desde su retiro hasta su muerte vivió en Cape Town y mantuvo intereses variados, extendiéndose hasta incluir la arqueología y la zoología de vertebrados.

Du Toit recibió muchos honores y premios, incluyendo cinco grados honorarios. Fue dos veces presidente de la Geological Society of South Africa, miembro correspondiente de la Geological Society of America, y becario de la Royal Society of London.

Nos dice Wilson *op cit.*, que para la mayoría de los científicos, la reputación de Du Toit, anteriormente alta, continuó creciendo, porque en muchas de sus deducciones fue un adelantado a su tiempo. Su fuerza fue lo meticuloso y extensivo del trabajo de campo, que comprendió virtualmente todos los aspectos de la geología de Suráfrica. Muchas de las ideas que expuso conciernen a las aguas continentales, los depósitos económicos de cobre y níquel, la geomorfología y estratigrafía de rocas, que fueron originales pero no muy diferentes de las de otros. El factor más significativo del trabajo de du Toit fue su defensa de la teoría de la deriva continental; fue el primero en establecer que los continentes sureños en algún tiempo formaron el supercontinente Gondwana que era distinto del



supercontinente del norte, Laurasia. Fue un gran defensor de la deriva continental a pesar de no ser una teoría popular en su época.

Du Toit (1937), comenta que en cada problema vital en geofísica hay, y desde luego debe ser, diferencias fundamentales en los puntos de vista. No obstante esas diferencias, es casi unánime afirmar que el mecanismo demandado para la deriva continental es de un carácter colosal, y que el movimiento lateral de los bloques se demuestra por las zonas plegadas de la Tierra. Esos bloques han retenido por todo el tiempo geológico sus posiciones relativas y las cercanas relaciones de la vida terrestre pueden ser explicadas por puentes de tierra los cuales son contruidos y destruidos en distintas épocas y lugares. Sin embargo, estos puentes son fuertemente dudosos para los protagonistas del desplazamiento. Debe reconocerse que los principios defendidos por los partidarios de la deriva continental forman la antítesis de esa corriente.

La diferencia entre las dos doctrinas son fundamentales y la aceptación de una necesariamente excluye la otra. Desde luego, bajo la nueva hipótesis ciertos conceptos irán adquiriendo un nuevo significado y en unos pocos casos hasta la inversión de los principios. Una importante consecuencia de la hipótesis del desplazamiento es el ordenar y relacionar naturalmente todos los fenómenos asociados.

En lugar de admitir un solo continente original (el Pangaea), como Wegener, otros científicos opinaban que existieron dos: uno el hemisferio norte y otro en el hemisferio sur. El proponente de esta idea fue Alexander L. du Toit, profesor de la Universidad de Johannesburgo (Unión Sudafricana).

Du Toit (1937), señala al respecto: Los escudos más importantes son los del hemisferio sur, que incluyen a Brasil Guyana, Uruguay, África, Arabia, Madagascar, India, oeste y centro de Australia y la Antártica. Ellos pueden verse como porciones integrales del basamento del gran continente del sur, Gondwana.

Los del hemisferio norte son el centro y este de Canadá, Groenlandia (*Laurentia* o *Eria*), Fennoscandia (*Báltica*), Siberia norcentral (*Angara*), el noreste de Siberia (*Kolyma*) y el sur de China-Indochina (*Cathaysia*); la individualidad de los nombres pasados es algo incierto. Estos pueden ser vistos como componentes del igualmente largo continente norte de «Laurasia» (*Laurentia* + *Asia*), que formaron una única masa de Tierra durante unos pocos y breves periodos, pero el resto del tiempo consistió de dos o más masas relativamente estables que se partieron por muchas transgresiones, a través de mares impermanentes.

Normalmente esas dos grandes unidades se partieron por un importante mar conocido como *Tethys* desde al menos la mitad del Paleozoico hacia adelante con una tendencia general este-oeste, una variada y enorme profundidad en espacio y tiempo, desde lo poco profundo hasta lo abisal y sus márgenes fluctuantes.

Mientras que el comportamiento de Laurasia y Gondwana ha sido similar a través de la historia geológica, particularmente se nota que sus respuestas frecuentemente están fuera de fase.

Du Toit *op cit.*, establece:

Esta concepción de una primitiva doble masa de Tierra es el lógico resultado de la hipótesis de Taylor y también de Argand y Staub y así difiere radicalmente de la única Pangea dibujada por Wegener.

La hipótesis del desplazamiento representa una perspectiva holística en Geología. A diferencia de la visión común de la estructura de la Tierra, ésta hipótesis puede ser probada con base en la predicción. En esta caso, varias deducciones notables en el caso de Suramérica y Suráfrica han sido verificadas por el trabajo de campo.

Mientras que los partidarios están tranquilos, un número de geólogos, biólogos y físicos tienden a admitir la capacidad de explicación de la hipótesis para ciertos enigmáticos problemas de tectónica, glaciares y migración de animales y plantas. Sin embargo, expresa du Toit, la oposición a la teoría del desplazamiento continental ha sido dirigida más hacia las opiniones de Wegener que al principio de la deriva.

### 4.8.3. EL SIMPOSIO DE NUEVA YORK

El primer simposio internacional sobre la deriva continental se celebró el 15 de noviembre de 1926, en Nueva York. Fue patrocinado por *The American Association of Petroleum Geologists* bajo la presidencia de W.A.J.M. van Waterschoot van der Gracht, geólogo holandés y vicepresidente de Morland Oil Company. Entre los participantes estuvieron John Joly de Irlanda, J.W. Gregory de Escocia, H.B. Molengraaf de Holanda y ocho americanos: los profesores Chester Longwell y Charles Schuchert de Yale University, Edward Berry y Joseph Singewald de Johns Hopkins University, Rollin T. Chamberlin de la University of Chicago, Bailey Willis de Stanford University, y dos investigadores fuera de la academia, David White de la National Research Council y William Bowie, jefe de la división de geodesia en la U.S. Coast and Geodetic Survey.

DeGolyer (1928), en la nota preliminar al texto con los resúmenes del simposio de Nueva York dice:

Vaya este pequeño trabajo en la esfera de la Geología y que es únicamente de interés académico a la Geología Económica de hoy. Wegener es un moderno pionero para la industria mineral – el buscador, si se quiere, de aquellos materiales que forman la base de nuestra civilización. Cualquier teoría de semejante alcance e importancia fundamental como la teoría de la Deriva Continental debe ser considerada por nosotros. Esto es particularmente verdadero para los geólogos petroleros. Su especialidad, una rama de la ciencia de la geología, encuentra su reconocimiento en la estructura común del control de ocurrencia de los depósitos de petróleo, sus técnicas han sido continuadas y extendidas para la introducción de mas métodos especializados para encontrar esas estructuras... Fue un gran placer y orgullo para el comité de Nueva York, que la reunión organizada por la *American Association Petroleum Geologist* estuviera de acuerdo en presentar una revisión por el Dr. van der Gracht de la Deriva Continental y una discusión por los principales exponentes americanos y geólogos extranjeros. Es igualmente un placer, que a través del generoso apoyo de varias compañías petroleras que tienen sus oficinas en Nueva York, nos fuera posible la presentación de este simposio...

Este evento reunió a los mejores geólogos de aquel tiempo y marcó época en la historia de la deriva continental. Entre los catorce geólogos que expusieron sus puntos de vista en el simposio, cinco de ellos apoyaron la teoría de la deriva continental, dos la apoyaron con ciertas reservas y los otros siete se opusieron a ella.

Los resúmenes fueron publicados en 1928. Entre las objeciones a la teoría de la deriva continental expresadas en ese simposio se tienen:

En primer lugar, la fuerza invocada por Wegener y los que lo apoyaban era demasiado débil e inadecuada para generar el efecto de la deriva continental.

Un segundo punto, es el que concierne a la rigidez, tanto de la corteza como del manto. Según Wegener, las rocas que constituyen el manto son aparentemente sólidas y sin embargo, al comienzo de un tiempo suficiente comienzan a fluir y ceden al empuje de la masa cortical. De acuerdo con este razonamiento, la corteza es más rígida que el manto; pero por otra parte, Wegener señala que las cadenas montañosas se han formado en los márgenes frontales de los continentes en deriva, al encontrar la resistencia del manto, que las ha comprimido y plegado. Las preguntas eran ¿No se deduce entonces que la corteza es más débil que el manto? ¿Cómo puede al mismo tiempo ser un material más rígido y más débil que otro?

Un tercer punto se refiere a que si la Tierra tiene una historia de varios miles de millones de años, cómo es que el continente primitivo se comenzó a fracturar hasta la era Mesozoica. La pregunta es ¿por qué no ocurrió antes? Este argumento se basa, en un concepto uniformitarista contemporáneo que nos dice que la Tierra tenía en tiempos pasados una actividad mucho mayor que en la actualidad.

Takeuchi *et al.*, (1986) dice que los partidarios de la deriva continental hicieron cuanto pudieron para refutar tales objeciones. Argumentaban que no puede ignorarse un hecho por la sola razón de que no se conozca su explicación. Por ejemplo, nadie puede refutar el hecho de que en el hemisferio norte existió una gruesa capa de hielo en el periodo cuaternario, a pesar de que se carece de una explicación teórica del mismo.

Entre los asistentes al simposio y oponente a la teoría de Wegener se encontraba Rollin T. Chamberlin (1928), que presentó un ensayo con 18 observaciones entre las que se encontraban:

1. La hipótesis de Wegener no es una teoría general del comportamiento de la Tierra o de su deformación. Simplemente describe una supuesta ruptura de la Tierra y la migración de algunos fragmentos. Chamberlin se preguntaba ¿Por qué todos los continentes permanecieron juntos en una sola masa a través del tiempo geológico, solo para fragmentarse recientemente?

2. No existe ningún mecanismo dado por Wegener para el plegamiento de las cadenas montañosas, prevaleciendo el paralelismo en los márgenes actuales desde el Cretácico. Los paralelismos precretácicos de los sistemas montañosos en los márgenes de las plataformas continentales actuales se encuentran en todos los continentes. ¿Cómo explicar entonces los plegamientos antiguos?

3. Si Wegener está en lo correcto las rocas deberían corresponder de provincia en provincia a los lados del Atlántico. H.S. Washington ha realizado una comparación petrográfica cuidadosa sobre las costas correspondientes encontrando que las rocas no concordaban. El pastel no estaba cortado como lo había dicho Wegener.

4. Si los continentes fueron uno hasta el Cretácico, entonces se tendría que explicar, no porque unas pocas plantas y animales del Paleozoico y Mesozoico fueran similares en distintas partes de la Tierra, sino porque no había mucha similitud como la que muestra el registro de las primeras faunas y floras de distintos continentes.

5. La hipótesis de Wegener en general es trivial, pues se toma mucha libertad con nuestra Tierra. Estando así las cosas, debemos ya sea modificarla radicalmente con respecto a la mayoría de las reglas actuales de la geología o hacer pasar la hipótesis como está. Señala Chamberlin, que la mejor caracterización de la hipótesis fue una observación que escuchó en 1922 en la Sociedad Americana de Geología que decía: "*Si creemos en la hipótesis de Wegener debemos olvidar todo lo que aprendimos en los últimos 70 años y comenzar de nuevo*".

En los resúmenes del simposio se encuentra un trabajo de Wegener (1928), en el cual discute sobre la distribución del clima en el Carbonífero y en el Pérmico. Señala que varios geólogos indican una glaciación regional en Norteamérica, en áreas que bajo su reconstrucción, debieron haber tenido una latitud geográfica de 10 a 20° en el Carbonífero y 10 a 30° en el Pérmico. Dice Wegener, se tienen una multitud de indicaciones del clima pasado en los Estados Unidos y aunque algunos detalles son inciertos, está claro que existe evidencia de que el Carbonífero superior de los Estados Unidos estaba dentro del filo del cinturón pluvial tropical y durante el Pérmico en la zona desértica tropical.

La hipótesis del deslizamiento continental tiene una ventaja sobre las otras teorías geológicas, pues posibilita su verificación mediante observaciones repetidas de latitud y longitud. Puesto que se tiene una idea sobre la duración de los últimos periodos geológicos, donde se asuma un cierto deslizamiento durante estos periodos, es posible calcular el promedio anual del deslizamiento, asumiendo que éste ha sido uniforme, sigue actualmente y por tanto la localización geográfica debe cambiar lentamente.

Esta claro que en la historia geológica ha habido periodos orogénicos alternando con periodos de quietud los cuales corresponden al deslizamiento. Es difícil decidir que tanto la era actual cae dentro de uno u otro, pero en cualquier caso el periodo actual no es de orogenia y es posible que el deslizamiento que ocurre en este momento, sea más lento que el requerido anualmente para los periodos geológicos anteriores

L.P. Koch, ha hecho una comparación de las longitudes, observadas por él al noreste de Groenlandia. Encontró que entre 1870 y 1907 la distancia de Groenlandia y el norte de Europa se había incrementado en no menos de 1,190 m e incluso de 1610 m entre 1823 y 1907. Esto daría como resultado un deslizamiento anual de 20 m, lo cual está en conformidad con la teoría del deslizamiento continental. Sin embargo, todas estas determinaciones de longitud se habrían obtenido por lunares y aunque existían divergencias habría posibilidad de errores sistemáticos. En el verano de 1922, P.F. Jensen hizo nuevas observaciones en Godthaab al oeste de Groenlandia, a petición de la Danish Geodetic Survey. Esto es, en la misma localidad donde las determinaciones ya habían sido realizadas en 1863 y en 1882-1883. Estas primeras observaciones habían sido hechas también con lunares y sujetas a objeciones. Jensen, sin embargo, hizo observaciones por el método de señales de radio por tiempo. Estas mediciones, fueron más confiables y no deberían tener más discrepancia que un error de 1/10 de segundo de tiempo. Una comparación de sus resultados con las primeras observaciones resultaron en aproximadamente con 20 m de deslizamiento respecto a Europa. La Unión Astronómica Internacional decidió la revisión de observaciones de longitud alrededor del mundo entero. Señala Wegener, que estaba altamente exaltado por ese proyecto, del cual se dio cuenta a través de un artículo de W. Bowie en el *Times* de Nueva York. Sin embargo, establece que tales mediciones y sus comparaciones necesitarán mucho tiempo, posiblemente un siglo o más, antes de que se pueda apreciar un cambio firmemente establecido.

La reunión se cerró con las conclusiones del presidente del simposio W.A.J.M. van Waterschoot van der Gracht, de Holanda, quién admitió que el mecanismo propuesto para la deriva continental no era el adecuado, pero que como solución al problema de la similitudes paleontológicas, la teoría de la deriva continental era mejor que la de los puentes intercontinentales. Ciertamente que hasta ese momento, 1926, no se había encontrado ningún mecanismo que pudiera explicar de modo convincente la causa de la deriva, muy bien podría encontrarse en el futuro.

Respecto a la objeción de que la idea de Wegener estuviera limitada a un periodo de tiempo tan reciente, el presidente del simposio señaló que Wegener discutía la historia de los continentes tan sólo en lo que podía inferirse de los testimonios presentes y no trataba para nada de hablar de la historia anterior, de la cual se tienen tan pocos datos.

Las conclusiones de van der Gracht, aunque no concluyentes en algunos puntos, fueron en conjunto razonables.

La conclusión final del simposio fue que no se debía rechazar a la ligera la teoría de la deriva continental, puesto que si bien existen objeciones de peso en contra de ella, existían también sólidos testimonios que la apoyaban, y algunas de las objeciones eran discutibles. Ciertamente, la teoría era digna de que se le prestara mayor atención, estudio y consideración, puesto que en principio, si un día llegara a probarse, proporcionaría respuestas a muchas cuestiones que la Tierra ha planteado.

Newman (1995) señala que en el periodo de 1920-1932, el lado oscuro del chovinismo fue muy evidente. El mayor pecado de los fanáticos fue precisamente su rigidez y repulsa a considerar cualquier proposición sobre el moviismo. No necesitaban aceptar de Wegener que el síal tenía un sinnúmero de arrastres a través del duro síma.; no necesitaban aceptar las cuestionables mediciones de Groenlandia. Intentaron mordazmente hacer pasar a Wegener por un necio, un soñador, o un poeta, fue sólo intransigencia. Los moviistas en contraste, fueron menos fanáticos y reconocieron que se necesitaba mayor investigación para comprender completamente como los continentes se han movido. Igualmente Wegener reconoció que las hipótesis alternativas del desplazamiento existieron.

Particularmente la intransigencia de los oponentes norteamericanos al moviismo fue debido a su absorción del diastrosfismo local -un plegamiento no masivo como en los Alpes, sin montañas emergentes y una profundidad de los océanos como en el este de la India, sin uniones petrográficas y faunísticas que impresionó tanto a du Toit. Pero ello no explica su total desacuerdo sobre los datos y argumentos dados para convencerlos, proporcionados sin fanatismo por moviistas como Holmes, Bailey, Brouwer, van der Gracht, Collet, Argand, Du Toit y otros. Sin embargo, se puede sostener que la cerazón en la visión de los americanos es comprensible. Los moviistas en el extranjero no pecaron por ignorancia como los americanos pensaron.

No fue la imputación americana a Wegener "porque el no era un geólogo" racional. Desde luego, cuando uno busca explicar si las similitudes petrográficas y faunísticas de Africa y Brasil son significativas uno piensa en un experto-preferentemente con amplia experiencia en ambos continentes.

No es menor el cuadro de los fanáticos permanentistas. Ellos han comentado que no apoyaron a Wegener precisamente porque no era experto en Paleontología o Geología, pues propiamente sus facilidades conceptuales escapan al parroquianismo de esos campos y comprende más bien una hipótesis unificada que se hizo sentir para todas las ciencias de la Tierra. El moviismo fue rechazado en la década de los 1920's, ciertamente en América y otras partes, porque Wegener no era un miembro de su fraternidad.

Es posible argumentar que las primeras hipótesis movi listas fueron destinadas al rechazo porque la evidencia (paleontológica, petrográfica, geográfica, y paleoclimática) no era tan fuerte, como los datos de observaciones independientes, como las mediciones paleomagnéticas. Los americanos se impresionaron menos por los suaves datos que los geólogos de otra parte. Los líderes de la cruzada contra el movi lismo usaron datos de observaciones dependientes de forma amplia.

Los geólogos americanos fueron más provincianos que los europeos, pues carecían de compromiso con las distantes pruebas de las posesiones coloniales. Los continentes fijos parecen más consistentes con el uniformitarismo Lyelliano, mientras que el énfasis de Wegener en un mayor episodio como el desplazamiento parece catastrofista. Los Geofísicos, liderados por Sir Harold Jeffreys, desd eñaron cualquier posibilidad de una fuerza suficiente para mover los continentes. Los geólogos americanos fueron simplemente más conservadores. Un factor más importante debe ser considerado: la vigorosa campaña contra la deriva transcurrió a través de las figuras de prestigio, el tope fue la jerarquía geológica.

#### 4.8.4. LA REACCIÓN EN LA EUROPA CONTINENTAL

##### 4.8.4.1. En Alemania

De acuerdo con Carozzi (1985), la primera reacción en Alemania vino de Karl Andree en 1914. Este aceptó el concepto de Wegener sobre los bloques de sial flotando sobre el sima, pero fue escéptico sobre la apertura del Atlántico y los movimientos horizontales propuestos a gran escala de bloques continentales con relativa deformación del sima plástico contra los bloques rígidos. No podía concebir la existencia de ninguna fuerza capaz de deslizar continentes aunque señaló la posibilidad de corrientes bajo la corteza. Tales corrientes habían sido asumidas por el austriaco Otto Ampferer a principios de 1906 y Wegener consideró su posibilidad en relación a su suposición de un sima plástico.

Otra reacción vino de Edgar Dacque en 1915 en un libro intitulado *Grundlagen und Methoden der Palaogeographie*. En el se refirió con detalle a la presentación de Wegener de 1912 y lo alabó como un intento ingenioso de explicar genéticamente las funciones a gran escala de la corteza terrestre por medio de un único principio: el dislocamiento horizontal de masas continentales

Wilhelm Soergel escribió en 1916 *Die Atlantische 'Spalte' Kritische Bemerkungen zu A. Wegener's Theorie von der kontinentalverschiebung*. En este trabajo, realizó una larga serie de argumentos contra la separación del Atlántico y llegó a la conclusión de que el concepto de Wegener tenía que ser rechazado. Soergel estaba profundamente espantado por el hecho de que la teoría de Wegener borró casi todas las suposiciones básicas sobre las que la paleogeografía había descansado hasta su tiempo.

Siguiendo con Carozzi *op cit.*, el año de 1921 fue una fecha crítica en la controversia de la teoría de Wegener. Siguiendo la publicación de la segunda edición del libro de Wegener en 1920, se organizó un debate por el *Gesellschaft Für Erdkunde* en Berlín el 21 de febrero de 1921, donde Wegener presentó sus ideas en una plática que fue seguida por una discusión con Franz Kossmat y Albrecht Penck. A Wegener le fue dada la oportunidad de presentar una serie de observaciones a su teoría.

Penck, pareció preocupado acerca de errores que comprometían la validez de la determinación astronómica del deslizamiento de Groenlandia al oeste con respecto a Europa, calculada en más de 1 km entre 1870 y 1907.

Después de 1921 la oposición activa terminó. Una actitud de más simpatía quedó demostrada por Emanuel Kayser en su texto de 1921, donde señaló que la teoría de Wegener es una hipótesis en función muy interesante y que la mayoría de los geólogos están esperando aceptarla tan pronto como las medidas geodéticas indiquen la naturaleza y dirección del deslizamiento actual.

En conclusión, dice Carozzi, la reacción en Alemania fue vivida, en particular porque el país había preservado sus jóvenes científicos en las ciencias de la Tierra durante la primera guerra mundial. Estos jóvenes científicos fueron usados principalmente como oficiales en trabajos orientados hacia la milicia alejados del frente. Sin embargo, los críticos de Wegener se comportaron, en general, como especialistas de poco criterio. Eran geólogos estructurales, paleogeógrafos, paleontólogos y paleoclimatólogos, siendo los geofísicos excluidos. Sus críticos rechazaron la teoría de Wegener con base en argumentos únicos o hechos muy locales, sin ver la amplia imagen de la teoría.

#### **4.8.4.2. En Francia**

La reacción en Francia fue muy distinta. Carozzi *op cit.*, señala que la primera reacción a la teoría de Wegener en Francia apareció en mayo 30 de 1922 y fue escrita por el geólogo sueco, Elie Gagnebin. Se refirió a la segunda edición alemana de Wegener de 1920 y estaba sorprendido de que en Francia, donde las discusiones sobre las teorías de Freud y de Einstein eran altamente famosas, la hipótesis de Wegener se mantuviera totalmente ignorada. No era mencionada por ninguna revista especializada e incluso el programa del Congreso Internacional de Geología llevado a cabo en Bruselas se mantuvo en silencio. Gagnebin encontró en la reconstrucción de los continentes en el pasado por Wegener una nueva imagen del mundo, llena de promesas para investigaciones futuras.

El documento de Gagnebin actuó como un catalizador y motivo a Paul Lemoine, entonces Presidente de la Sociedad Geológica Francesa, a promover una discusión y pedir a L. Joleaud que presentara la teoría de Wegener a la sociedad en abril 23 de 1923.

Joleaud concluyó que la teoría de Wegener explica ciertos problemas de Paleogeografía, pero no da cuenta de la complejidad en Biogeografía. Explica ciertas anomalías extrañas de Paleoclimatología, pero falla en dar cuentas de sus funciones fundamentales. Podría ayudar a clarificar ciertos enigmas en Tectónica, pero no puede ser usada como base para una interpretación general de procesos orogénicos. La conclusión ambigua de Joleaud revela su incertidumbre sobre la posición fija de los continentes. En la mayoría de los mapas de su *Atlas de Paleobiogeographie*, trabajo póstumo publicado en 1939, los continentes están conectados por un número impresionante de puentes hipotéticos que aparecen y desaparecen como sean necesarios. Sólo cuatro mapas de un total de noventa y nueve siguen la reconstrucción propuesta por Wegener.

La construcción de Joleaud fue seguida por una discusión en que varios científicos participaron. Se formaron dos grupos: los paleontólogos Louis Germain, Louis Fage y G.F. Dollfus que estaban contra Wegener y a favor de los puentes terrestres. Mientras los geofísicos, como Colonel Perrier y Charles Maurain mencionaron que su respectiva disciplina no podía tener la información en pro o contra de la teoría.

Charles Jacob escribió en 1925 un documento que describía la presentación por Emile Argand en el XIII Congreso Internacional de Geología en Bruselas en 1922 con el título de *La Tectonique de l'Asie*. Esta síntesis revolucionaria, señaló Jacob, cubre el mundo entero y está totalmente basada en movimientos horizontales, con una aplicación espectacular y ampliación de las ideas de Wegener.

En 1935, Raymond Furon publicó un documento sobre la relación geológica entre África y Suramérica, después de la presentación de una impresionante tabla de similitudes estratigráficas entre los continentes, desde el Precámbrico hasta el Cretácico, demostrando así un continente Africano-Brasileño relacionado. Estableció que para explicar estas conexiones y separaciones entre continentes existen dos teorías: una, de grandes derrumbes de zonas continentales para renovar las conexiones de tiempo en tiempo; la otra, consiste en la ruptura de un único continente y el deslizamiento de sus fragmentos de acuerdo con la teoría de Wegener.

La reacción en Francia a la teoría de Wegener se retrasó por la primera guerra mundial, a tal grado que el debate comenzó en 1922 cuando la oposición activa había parado en Alemania en 1921. La naturaleza de la reacción francesa es completamente diferente de la alemana, pues muchos geólogos jóvenes cayeron víctimas de la guerra y como consecuencia una generación de especialistas faltaron, con la excepción de unos pocos paleobiólogos. El debate estuvo, por lo mismo, limitado a una élite de relativamente viejos profesores, bien conocidos y que desde su eminente posición tomaron partido; lo hicieron en una serie de discusiones en las que consideraron con gran escepticismo el intento de Wegener y lo calificaron como el de un aficionado, así que el rechazo a la teoría estaba casi siempre implícito.

#### 4.8.4.3. En Suiza

En los Alpes, los geólogos suizos descubrieron un plegamiento espectacular hacia el norte y era natural que tales estructuras llevaran pronto a un concepto de movilismo relativo, implicando el deslizamiento hacia el norte del bloque africano, la compresión de la cadena y su sobreimpulso sobre el bloque europeo. Esta fue la esencia de las ideas presentadas en 1915, en un artículo sobre el arco de los Alpes occidentales y publicado en 1916 por Emile Argand. No había aún preocupación sobre la aceptación de la movilización para las estructuras alpinas.

El libro de Wegener de 1915 alcanzó a Argand después de la publicación de sus ideas sobre una síntesis global. La aceptación de Argand de la teoría de Wegener fue una acción política riesgosa. Esto fue en el invierno de 1916-1917 cuando los sentimientos anti-germanos eran bastante fuertes en Suiza. De hecho, era estrictamente prohibido leer en público o en privado cualquier material impreso en Alemania. Sin embargo, Argand presentó las ideas de Wegener sorpresivamente en una reunión de la Sociedad Neuchâtel de Historia Natural en noviembre 3 de 1916. Argand explicó el nuevo concepto y las similitudes de fauna y flora entre regiones hoy separadas por océanos extensos.

El escenario fue puesto para la preparación de la *La Tectonique de l'Asie* (1924) de E. Argand, que representa una síntesis estructural global basada en los conceptos de Wegener y presentado en el décimo tercer Congreso Internacional de Geología en Bruselas en 1922. En esta monografía monumental Argand introdujo una terminología nueva en geología estructural. Este trabajo manifestó la revolución movilista. Sin embargo, ese mismo año, Albert Heim, el maestro más respetado entre los geólogos suizos, en su *Geología de Suiza*, rehusó aceptar cualquier especulación basada en nuevas ideas, tales como las de Wegener.



En 1928, Rudolf Staub publicó una síntesis de la estructura global en la cual intenta resolver contradicciones aparecidas en su volumen de 1924. Para ello, introduce su idea de deslizamiento por postular que durante la historia de la Tierra, solo dos bloques continentales existieron, llamados Laurasia y Gondwana. Supuso algunas fases de colisión de estos bloques mientras se deslizaban hacia el ecuador, con mayores eventos orogénicos ecuatoriales, alternando con fases de deslizamiento hacia los polos. De acuerdo con lo que señala Staub, fuerzas centrífugas debidas a la rotación de la Tierra controlan todos los eventos, esto es, son las responsables del deslizamiento hacia el ecuador.

Resumiendo, dice Carozzi *op cit.*, la reacción en Suiza fue pragmática, simple, positiva y relativamente sin daño por la retórica académica o el prejuicio. El concepto de los continentes deslizantes fue una solución obvia a la espectacular muestra de la estructura ofrecida por los Alpes que fue adoptada sin ninguna oposición.

#### **4.8.4.4. En Italia**

Los geólogos italianos eran pocos y tardaron en reaccionar a la teoría de Wegener, en parte por el aislamiento provocado por la primera guerra mundial y también por la falta de una traducción de la obra de Wegener. Entre las primeras traducciones fue un artículo escrito en 1924 por Enrico Fossa-Mancini que trata del poco conocido precursor, Domenico Lovisato. En 1874, Lovisato había observado el paralelismo de las costas en ambos lados del sur y norte del Atlántico y concluyó que estos continentes habían estado unidos por mucho tiempo. Un cataclismo a principios del Cuaternario, separó las Américas y las deslizó hacia el oeste para formar la famosa Atlantis.

En esencia, dice Carozzi *op cit.*, la reacción italiana a la teoría de Wegener fue similar a la francesa, e igual de entorpecida por la barrera del lenguaje y la ausencia de cualquier traducción disponible. Ningún geólogo italiano estuvo envuelto en ninguna síntesis sobre el ensanchamiento de los continentes que pudiera proveer una adecuada aceptación de la hipótesis. La reacción estuvo afectada por el chauvinismo y la crítica de cualquier concepto original del «otro lado de los Alpes». También sufrió de reacciones positivas por geólogos jóvenes que estaban de acuerdo en aceptar el nuevo reto.

#### **4.8.4.5. En España**

La recepción de la teoría de Wegener por los geólogos españoles fue inusualmente rápida. En 1922, Lucas Fernández Navarro presentó una explicación basada en la segunda edición de Wegener de 1920. Dio un análisis justo sobre la teoría y concluyó: Wegener no comenzó con consideraciones teóricas, por el contrario, enlistó una serie de observaciones y desarrolló una teoría para explicarlas. Los hechos presentados por Wegener son realidades bien observadas y las teorías ciertamente no ofrecen más dificultades que aquellas previamente aceptadas.

Navarro (1922) señala que la originalidad de la hipótesis de Wegener está sobre todo en la suposición de esta marcha a la deriva de los continentes. Hasta ahora sólo se admitían para las grandes masas movimientos en la vertical, siempre más o menos bruscos. Nada semejante a un movimiento de traslación horizontal, lento, proseguido a través de las edades. Las medidas de corrientes geográficas en 1823, 1870 y 1907, han evidenciado que aquella tierra ártica se separa de Europa con una velocidad anual de 8.5 m en el periodo de 1823 a 1870 y de 27 m de 1870 a 1907.

La observación que parece haber sugerido a Wegener la idea de su teoría, es la identidad de forma y rasgos estructurales de las masas terrestres que encuadran al Atlántico. Si recortamos en un mapamundi el continente africano y tratamos de soldarle con América del Sur, la coincidencia de la costas será perfecta: el Cabo Branco encaja en el codo del Golfo de Guinea; la inflexión de la costa americana en Bahía, aloja el abultamiento africano del Gabón; la escotadura de Río de Janeiro recibe el saliente de Mossamedes. Pero no es sólo el ajuste de los contornos el que de esta manera se conseguiría, sino que veríamos continuarse exactamente entre una y otra masa continental, los accidentes orogénicos y los materiales geognósticos de igual edad y naturaleza.

Navarro *op cit.*, se pregunta ¿Cómo explicar la desaparición de los enormes puentes, más extensos que las tierras mismas a que servían de enlace? ¿Dónde están esas masas hundidas y dónde estaban los volúmenes de agua que han venido a ocupar el hueco?. Ante la imposibilidad de responder a estas preguntas, unos geólogos han optado por negar la existencia de los puentes intercontinentales y otros, eclécticos, los han sustituido por cadenas de islas. el primer supuesto deja inexplicada la distribución de faunas y floras, en el tiempo y en el espacio. La segunda suposición, cuya realidad ningún hecho abona, sólo de una manera incompleta resolvería el problema: como casi todas las soluciones intermedias no satisfacen a nada por querer satisfacer a todo. Según la hipótesis de Wegener, los puentes intercontinentales no existirían: las masas estuvieron directamente unidas en un principio, separándose después paulatinamente, lo cual explica de una manera satisfactoria todos los hechos referentes a faunas y floras de las diferentes edades geológicas.

Wegener no ha partido de consideraciones teóricas para ver luego si los hechos concordaban con ellas. Ha partido, por el contrario, de un cierto número de hechos de observación y ha tratado de idear una teoría que los explique. Es el método verdaderamente fecundo en Ciencias Naturales: acomodar las teorías a los hechos y no éstos a las teorías. Los hechos aducidos por Wegener son realidades bien observadas. Sus teorías no ofrecen ciertamente dificultades superiores a las que ofrecen las teorías generalmente en curso. Es todavía pronto para saber el valor positivo de la nueva teoría. No se puede negar que simplifica la comprensión de muchos fenómenos hasta ahora inexplicables o imperfectamente explicados. Su autor dice que es una hipótesis de trabajo y en este sentido es indudable que puede ser muy fecunda. Su idea fundamental, la deriva de los continentes, es lo bastante elástica para que se pueda concordar con las teorías orogénicas más diferentes y con las más variadas concepciones de la isostasia (Navarro, 1922).

La traducción en español de la tercera edición de Wegener (1922) por Vicente Inglada Ors apareció en 1924, con una introducción de J. Dantin Cereceda quién escribió: "En este libro, Wegener presentó de una manera elegante y sobria un sistema completo de nuevas ideas geológicas que sobrepasan a todas las demás. Así, el concepto sobre los continentes por Suess y de los geosinclinales por Haug son obsoletas; su duración y éxito fueron de vida corta. La teoría de Wegener nace de un concepto brillante y sigue un camino enteramente opuesto a caminos aceptados anteriormente. En nuestra opinión, la teoría está en completo acuerdo con la realidad geológica. Los diferentes argumentos en los que Wegener basa su teoría apoyan un sistema que fue formado en una estructura fuerte, típica de mente alemana. En la ciencia actual, no hay hipótesis tan eficiente y dinámica, ni lectura que levante la curiosidad más aguda que este libro por este famoso geólogo" (Carozzi, 1985).

Lucas Fernández Navarro continuó su defensa de las ideas de Wegener en su discurso de aceptación de 1925 en la Academia Real de Ciencias en Madrid, donde concluyó: "La teoría de Wegener es el amanecer a nuevas promesas en Geología. Deberíamos ver estas nuevas ideas con simpatía como vemos a los jóvenes llenos de promesas y esperanza. La teoría ha resuelto muchos problemas en Paleogeografía y Paleobiología y ha introducido una nueva razón en Geotectónica, lo cual no es un mal record para un concepto joven aún susceptible de muchas mejoras".

La reacción en España fue de un amplio criterio y favorable; un país que había sido excluido de la primera guerra mundial, que se benefició de una traducción temprana, de 1924, y de un establecimiento académico que no tenía resentimiento anti-alemán, tomando así la delantera en la aceptación de la teoría de Wegener.

En las conclusiones de su trabajo, que ampliamente se ha citado, Carozzi *op cit.*, señala que la teoría de Wegener encontró su primer y generalizada oposición en una complejo y amplio espectro de causas. En Alemania, la oposición vino de una sobre-especialización y una falta de entendimiento de una visión mundial. En Francia, Italia y Bélgica, un clima de postguerra y nacionalismo, conspiraron contra la barrera del lenguaje y la actitud de los bien establecidos profesores, quienes intrínsecamente pidieron causas racionales para generar una reacción negativa. A pesar de algunas oposiciones de comunidades académicas en Suiza, Holanda y Austria, países donde el conocimiento de la Geología avanzada estaba lista para una explicación revolucionaria y moviilista, la teoría de Wegener fue aceptada con alguna tardanza y modificaciones. España no fue afectada por sentimientos nacionalistas y tomó una posición más positiva que fue facilitada por una traducción y una audiencia académica receptiva. Los geólogos escandinavos, intentaron probar por técnicas astronómicas y geodésicas el deslizamiento en el Artico sin mucho éxito.

Si se busca un camino general, señala Carozzi, puede uno encontrarse con la asociación de fuertes influencias de la política de postguerra y el nacionalismo, la barrera del lenguaje, pedantes autoridades académicas, pasión de individuos y Geología regional en el rechazo y aceptación de la teoría de la deriva continental de Alfred Wegener.

## 5. HACIA UNA INTERPRETACIÓN HISTÓRICO-FILOSÓFICA

En este apartado se pretende emplear la metodología de los programas de investigación de Imre Lakatos<sup>26</sup> para llevar a cabo una discusión sobre las ideas de Wegener, su competencia con otras teorías rivales y las distintas reacciones entre la comunidad de geólogos y biogeógrafos, tomando como base un trabajo de Frankel (1979).

En este sentido, Frankel (1979) parte de la metodología de Lakatos y el estado de las ciencias geológicas, para sostener que la teoría de la deriva continental puede ser descrita en términos de un programa de investigación. Otros dos programas de investigación ya se habían establecido antes del programa derivista, que son el Contraccionismo (CON) y el Permanentismo (PERM) cuando Wegener anunció su teoría. Sus **núcleos duros** junto con el núcleo duro del programa de investigación derivista de Wegener (DRIFT) pueden ser descritos como sigue:

**CON:** La Tierra ha estado contrayéndose periódicamente desde su origen, con el resultado que el piso oceánico y los continentes se han intercambiado a través de la historia de la Tierra.

**PERM:** Después de una contracción original o reacondo del material de los continentes y del piso de los océanos de acuerdo con sus densidades, los océanos y continentes han permanecido siempre iguales; un continente es siempre un continente; una cuenca es siempre una cuenca, fue el slogan de los PERMs.

**DRIFT:** Los continentes se han desplazado solos horizontalmente respecto de cada uno. Ciertamente los continentes ahora separados por vastos océanos, estuvieron una vez juntos.

Frankel señala que el programa de la deriva fue radical comparado con los otros dos programas de investigación. De hecho, la teoría de Wegener fue radical en el sentido de que era un programa nuevo, mientras que los otros dos programas tienen un origen más antiguo, el CON identificado con E. Suess y el PERM con James D. Dana.

El programa de Wegener implicaba la existencia de una gran escala de movimiento horizontal de los continentes. Uno de los puntos esenciales entre los miembros de los otros dos programas de investigación establecidos fue el rechazo al desplazamiento horizontal de las grandes masas de tierra. De acuerdo con el CON y el PERM grandes cambios en el contorno de la superficie de la Tierra solo proceden de desplazamientos verticales. La suposición de que los continentes y la base de los océanos se trasladan horizontalmente respecto de cada uno fue una blasfemia contraria al núcleo duro del CON y el PERM.

Si Lakatos está en lo cierto es de esperarse que los proponentes de cada programa de investigación desarrollen **hipótesis auxiliares** con las cuales explicar más datos y aislar así al núcleo duro de su respectivo programa de investigación para falsación. Tal comportamiento es dictado por la heurística positiva de sus programas. Veamos a continuación si esta interpretación a partir de las ideas de Lakatos es adecuada.

### **5.1. EL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CONTRACCIONISTA (CON)**

Para Wegener (1929), los paleontólogos, los zoólogos y botánicos llegaron una y otra vez a la conclusión de que la mayoría de los continentes separados hoy por anchos océanos han debido tener en el pasado conexiones terrestres a través de las cuales se efectuó sin impedimentos un intercambio de la fauna y la flora terrestres.

Los paleontólogos llegaron a esta conclusión al hallar numerosas especies idénticas que, habían vivido en el pasado a ambos lados del océano y cuya contemporaneidad hacía impensables orígenes separados en lugares diferentes.

Wegener escribe:

Al mismo resultado llegan las investigaciones similares sobre los animales y plantas actuales. Las especies actuales de dos continentes son ciertamente distintas, pero los géneros y familias siguen siendo los mismos, y lo que hoy es género o familia, fue especie en el pasado. Es decir, que el parentesco de fauna y flora actuales lleva a la conclusión de que estas faunas y floras fueron idénticas en el pasado y, por tanto, que debe haber existido un intercambio, lo cual sólo puede imaginarse contando con una conexión terrestre muy extensa. Solo tras la rotura de la conexión continental se separaron las faunas y floras en las diversas especies actuales. No es exagerado decir que el desarrollo global de la vida en la Tierra y las relaciones entre los organismos actuales en continentes muy separados serían siempre un enigma insoluble si no aceptáramos esas antiguas conexiones terrestres .

Dice Wegener que en muchos casos los antiguos puentes continentales han sido propuestos con base en indicios muy pobres y no han sido confirmados por las investigaciones posteriores.

La hipótesis de que existían continentes intermedios que se habían hundido era, de hecho, la más evidente pues se basaba en el cuerpo de doctrina de la contracción de la Tierra. Esta teoría, como vimos, fue establecida y elaborada principalmente por E. Suess.<sup>27</sup>

Murchison, Sedgwick, Elie de Beaumont<sup>28</sup> y Lyell murieron entre 1871 y 1874. Prévost, De la Beche, Buckland y d'Orbigny murieron 20 años antes. Para el fin de los 1870's los fundadores de la geología habían muerto y una nueva concepción de la Tierra tomó su lugar.

Suess fue el primer interesado de los movimientos presentes de la corteza externa de la Tierra, un signo del método uniformitarista que entonces integraba a la ciencia, incluso para un geólogo que aceptó eventos violentos y súbitos.

Puede parecer extraño, pero el primer proceso que como fenómeno atrajo la atención de Suess fue el diluvio. Recordó, al lado de la descripción del diluvio de Noé, los textos Mesopotámicos que relataron un evento similar. Utilizó esa descripción para sugerir que un fuerte sismo asociado con un huracán había empujado las aguas de mar hacia arriba a través del valle del Eufrates. Explicó que

la versión bíblica difiere de su interpretación porque fue escrita por personas, localizadas muy lejanas al evento, quienes distorsionaron su narración. Concluyó que el diluvio no fue un evento global y que el Monte Ararat no fue la cumbre generalmente así llamada, pero si un pequeño cerro con el mismo nombre.

Suess busca mostrar que los movimientos regulares de la corteza de la Tierra pueden ser explicados por el uniformitarismo, pero que excepcionalmente procesos poderosos pueden contribuir a formar la faz de la Tierra. Así pues, decidió aumentar el campo bosquejado por Lyell y emprender una síntesis del uniformitarismo y del catastrofismo.

Para Suess en el transcurso de una solidificación y una contracción progresivas a partir de una masa en fusión, los materiales rocosos más ligeros habían ido subiendo hacia la superficie provocando la aparición de rocas ígneas de tipo granítico y metamórficas, asociadas con sedimentos. Se designaban en conjunto por el término *sal* (que más tarde se cambió a *sial*) porque eran relativamente ricos en silicatos de aluminio con sodio y potasio. Subyacentes al *sial*, se encontraban rocas más densas llamadas conjuntamente *sima*, las cuales eran parecidas al basalto, gabro o peridotita, que son ricas en silicatos de hierro, calcio y magnesio.

Las cordilleras se habían producido mediante contracción de una forma análoga a las arrugas que se forman en una manzana que se va secando y arrugando. A mayor escala, una presión general de arqueamiento causó el colapso y la subsidencia de determinados sectores de la superficie de la Tierra, lo que originó los océanos mientras que los continentes permanecían emergidos como bloques sin fallas. En el transcurso del tiempo ciertas áreas continentales se hundieron más rápidamente que otras adyacentes y, por lo tanto, fueron inundadas por el mar, mientras que las partes del fondo oceánico estabilizadas temporalmente en otras épocas emergían de nuevo como tierra firme. En esos años se encontraron abundantes pruebas de antiguas conexiones terrestres, a través de lo que ahora eran las profundidades oceánicas, por la casi identidad de muchos fósiles de animales y plantas hallados en distintos continentes. A no ser que en el pasado hubieran existido esos puentes terrestres transoceánicos, estas similitudes reconocidas ampliamente de la vida orgánica anterior eran absolutamente inexplicables a la luz de la teoría darwinista de la evolución.

Suess dio el nombre de *Gondwanaland* a un primer continente que comprendía África Central y Meridional, Madagascar y la Península Indostánica, utilizando el nombre de la fauna paleozoica Gondwana común a todos los componentes de este continente. La expresión *Gondwanaland* en su utilización más general se ha extendido hasta abarcar también Australia, América del Sur y la Antártida. Actualmente se utiliza más correctamente el nombre de Gondwana, nombre de una región de la India Oriental que significa *tierra* (Hallam, 1989).

En este mismo sentido, Du Toit (1937) señala que en 1887 M. Neumayr visualizó un continente continuo que se extendía desde Suramérica a África y que enviaba una rama hacia el noreste de la India, lo cual fue apoyado por W. T. Blanford en 1890. Sin embargo, E. Suess fue quién posteriormente sintetizó los datos y le confirió a esta masa el nombre de *tierra Gondwana* (Fig. 23).

Suess propuso también la expresión *eustático* para los ascensos y descensos del nivel del mar a nivel mundial que podían deducirse a partir de la información estratigráfica de las sucesivas transgresiones y regresiones marinas en los continentes. Atribuía las regresiones a la subsidencia de las cuencas oceánicas y las transgresiones al rellenado parcial de dichas cuencas por sedimentos aportados por los continentes. Por consiguiente, el agua de los continentes iría desapareciendo a medida que aumentaba la profundidad de los océanos o por el contrario, sería transportada a estos continentes como consecuencia de la sedimentación sobre el fondo oceánico.



Fig. 23. Los continentes y oceanos en el Jurásico como fueron representados en 1887 por Melchior Neumayr. Este fue el primer mapa paleogeográfico mundial. El inmenso continente Ganssi-Híspico ayuda a imprimir a Edward Suess en la concepción de la tierra tectónica. Se muestra el subcontinente del Péscico denominado Lamuria así como la península Indo-Madagascara en el Jurásico (tomada de Morrin, 1973).

Suess (1930), en una edición al español de su obra *La Faz de la Tierra* en el capítulo "La Vida" expresa:

...toda vida se le presentaba como aspecto especial de un mismo fenómeno de conjunto, y por eso, al resumir sus experiencias no hablo de unidad u origen común sino de la solidaridad de todas las vidas.

Desde su punto de vista los movimientos eustáticos pueden actuar sobre la vida:

...ya favoreciendo las migraciones terrestres ya, inversamente, la vuelta a la mar, y pueden también, cuando son repentinas, aniquilar la vida en toda la zona litoral, pero sobre ese extremo, carecemos de observaciones ciertas y tenemos que limitarnos a interpretar los fenómenos biológicos...

Luego nos dice:

...hay regiones que no han sufrido análogos movimientos desde los grandes trastornos del Carbonífero Superior, y que, por lo general, después del Gondwana Inferior y hasta la época actual, sólo presentan restos de sucesivas floras terrestres sin sedimentos marinos. Aunque la vida no estaba exenta en aquellos parajes de la influencia de cambios climatológicos, ni de trastornos en la economía de los seres producidos por inmigraciones extrañas y aun de sumersión total bajo las aguas marinas, pudieron desarrollarse allí sucesivamente las distintas floras donde las perturbaciones que afectan a la vida eran menores que en los demás sitios; por esto los llamamos asilos. De allí partieron probablemente colonias nuevas para repoblar las tierras después de los tiempos de grandes trastornos; por eso hemos comparado tales asilos a la isla paradisíaca de Linneo...

Suess sostiene que existen cuatro asilos:

1. Laurencia y las tierras que limitan al Atlántico por su extremo norte.
2. El continente de Angara, o sea la plataforma del Este de Siberia hasta el límite de las transgresiones árticas, y acaso, además, algunas partes de China.
3. El continente de Gondwana (Arqueo-Amazonia, Arqueo-Helenis de Ihering; Atlántida Meridional, continente de Gondwana de Arldt), o sea la Península de la India, Madagascar, África desde el límite meridional del Karroo hasta el Sahara, y por oriente, hasta más allá del Sinaí, grandes extensiones del Brasil y la Argentina.
4. La Antártida, con Australia y Patagonia. Esas tierras (con poquísimas excepciones) no han experimentado plegamientos desde el final del Carbonífero, y en el hemisferio septentrional, constituyeron el antepais o traspais respecto a esos plegamientos, lo que pudiera considerarse indicio de la permanencia de los continentes, si no fuese porque tres de ellas ofrecen signos manifiestos de división.



De acuerdo con Wegener (1929), la expresión más concisa de la teoría de la contracción fue la de Suess cuando dice que lo que estamos presenciando es el colapso de la esfera terrestre. Al igual que una manzana que se seca, desarrolla arrugas en su superficie a causa de la pérdida de agua de su interior, así las cadenas de montañas plegadas en la superficie terrestre deben formarse por el enfriamiento del interior de la tierra y de la retracción consiguiente.

A consecuencia de este hundimiento de la corteza, se supone que debe actuar sobre ella una presión en bóveda general que mantiene elevados fragmentos individuales que forman fallas, en cierto modo apoyados en la bóveda. Estos fragmentos retrasados pueden adelantarse a los otros en el hundimiento y entonces lo que era tierra firme se convierte en fondo marino y a la inversa, pudiéndose repetir este ciclo indefinidamente. Esta teoría, dice Wegener, que fue propuesta por Lyell, se basa en el hecho de que en casi todos los continentes se encuentran estratos depositados de mares antiguos.

Pero según Wegener, después de la imponente síntesis que para las ciencias geológicas supuso, desde el punto de vista de la teoría de la contracción, la obra de Suess, se han venido acumulando dudas sobre la corrección básica de la teoría. La hipótesis de que todos los levantamientos son sólo aparentes, y que en realidad consisten en retrasos en la tendencia general de la corteza a moverse hacia el centro de la Tierra, fue rebatida con la detección de levantamientos absolutos.

La interpretación de las cadenas de montañas como arrugas superficiales debidas a la contracción del interior terrestre llevó a la inaceptable consecuencia de que la presión tenía que transmitirse en el interior de la corteza terrestre a lo largo de distancias equivalentes a semicírculos máximos. Sin embargo, numerosos autores han adoptado y favorecido la postura de que la totalidad de la superficie terrestre debía ser afectada homogéneamente por las arrugas, como se ve en una manzana que se seca.

Según Wegener, la suposición básica de la teoría de la contracción, que la Tierra se está enfriando, quedó en entredicho tras el descubrimiento del radio. Este elemento, cuya desintegración genera calor continuamente, está contenido en cantidades mensurables en las rocas de la corteza que nos son accesibles y las numerosas medidas llevadas a cabo conducen a la conclusión de que si el interior de la tierra contuviese igual cantidad de radio, el calor producido debería ser incomparablemente mayor que el transportado hacia el exterior.

Actualmente ya no se puede considerar el estado térmico de la Tierra como una instantánea tomada en un proceso continuo de enfriamiento del globo terrestre, sino más bien como un estado de equilibrio entre la producción de calor radioactivo del interior terrestre y su emisión al exterior. Estas nuevas consideraciones privan a la teoría de la contracción de todo su apoyo.<sup>29</sup>

De acuerdo con Holmes y Holmes, las objeciones a la hipótesis de la contracción, actualmente desechada<sup>30</sup>, son, en primer lugar, que no se puede demostrar que la Tierra se esté enfriando; puede estar en equilibrio térmico e incluso puede estar calentándose ligeramente. En segundo lugar, quedan por explicar las extensas regiones de tensión representadas por fallas normales y la hipótesis ha resultado totalmente inadecuada desde que se ha comprobado la expansión del fondo del mar con la apertura y evolución de nuevos fondos oceánicos.

Para Wegener (1929), la teoría de la contracción presenta muchas otras dificultades. La hipótesis de que los continentes y las cuencas marinas se intercambian entre sí en el tiempo en una sucesión ilimitada, idea que fue sugerida por la presencia de sedimentos marinos en los actuales continentes, debe ser restringida, pues los estudios más detallados han demostrado claramente que se trataba de sedimentos costeros.

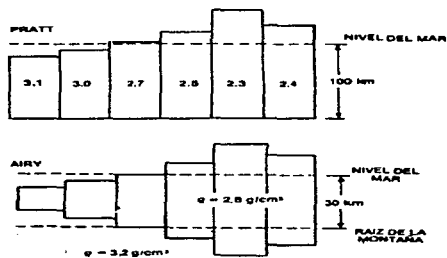


Fig. 24. Bloques de la corteza terrestre en las dos hipótesis de Pratt y Airy para explicar la isostasia (tomada de: Udias, 1981).

La principal razón es que a gran profundidad el agua de mar actúa sobre las calizas, disolviéndolas, pero la extensión espacial de estos sedimentos profundos sobre los continentes actuales es tan pequeña comparada con las dimensiones de estos últimos y de los sedimentos de origen somero depositados sobre ellos, que permiten mantener la tesis de la naturaleza somera de los sedimentos fósiles en los actuales continentes. Desde este punto, surge una seria dificultad para la teoría de la contracción; los datos de la Geofísica obligan a incluir los mares someros en los continentes, la naturaleza de los sedimentos marinos fósiles significa que los bloques continentales han sido permanentes a lo largo de la historia de la Tierra y que jamás han formado parte de los fondos marinos.

De las numerosas objeciones contra la teoría de la contracción destaca una, dice Wegener. A través de medidas de la gravedad, la Geofísica ha permitido llegar a la idea de que la corteza flota en equilibrio isostático sobre un sustrato denso y viscoso: a este estado se le llama isostasia. La isostasia no es otra cosa que un equilibrio hidrostático regido por el principio de Arquímedes, por el que el peso de un cuerpo sumergido es igual al peso del fluido desalojado. Esta teoría ha sido confirmada por las observaciones más sólidas, y actualmente forma parte de las bases más sólidas de la Geofísica.

### 5.1.1. ISOSTASIA Y ESTRUCTURA DE LA CORTEZA

Gohau (1990), señala que la teoría de la isostasia refutó el concepto de los puentes de tierra colapsados. La teoría dice que la corteza de la tierra flota en un equilibrio isostático en un denso sustrato viscoso formando el piso de los océanos. Si los continentes son barcazas sobre su sustrato, ellos pueden no hundirse en el fondo del océano a menos que ellos hayan sido sobrecargados. Por lo tanto, la teoría del colapso de los puentes de tierra es incompatible con la isostasia (Fig. 24).

El concepto de isostasia se basa en una serie de observaciones hechas en la mitad del siglo diecinueve. En India, las mediciones del arco meridional a través del continente revelaron una

discrepancia entre las medidas astronómicas y geofísicas entre dos ciudades. Otras observaciones importantes fueron con relación a los valores de la gravedad en distintos puntos de la superficie de la Tierra.

Cuando se requiere calcular el valor de la gravedad en un punto a cierta altura hay que tener en cuenta también la masa de material entre dicho punto y el nivel del mar. Esta corrección es importante cuando se calculan las anomalías de la gravedad que, una vez corregidas por este efecto se denominan anomalías de Bouguer. Este nombre lo reciben en memoria de Pierre Bouguer (1698-1758), geofísico belga que calculó el efecto de esta masa al medir la gravedad en dos ciudades de la República del Ecuador, Guayaquil al nivel del mar y Quito a 2850 m de altura (Udías, 1981).

Aún corrigiendo este efecto, siguen existiendo anomalías entre los valores observados y teóricos de la gravedad. La razón de que existan estas anomalías es que los materiales en el interior de la Tierra no son homogéneos, como se supone teóricamente, sino que existen masas en diversos puntos con densidades mayores o menores que las de las rocas que lo rodean. Si la gravedad observada es mayor que la teórica, la anomalía es positiva y en el caso contrario, negativa. Si bajo un punto de la superficie de la Tierra hay una concentración de material muy denso, éste producirá un aumento de la atracción de la gravedad y en consecuencia, una anomalía positiva. Las masas de materiales pesados producen, por lo tanto, anomalías positivas y los de materiales ligeros anomalías negativas. De esta forma, se pueden usar las anomalías de la gravedad para descubrir la existencia de minerales debajo de la superficie de la Tierra.

El estudio de las anomalías de la gravedad sirve también para determinar la estructura de la corteza terrestre, en especial para determinar aquellos sitios donde la corteza es más delgada o más gruesa que lo normal. Es decir, las anomalías son, en cierto modo, un reflejo del espesor de la corteza terrestre. De esta forma, se puede afirmar que el estudio detallado de las anomalías de la gravedad indica que sobre las montañas son negativas y sobre los océanos y zonas costeras son positivas.

Esto es debido a un fenómeno descubierto a mediados del siglo pasado por Pratt y Airy, científicos ingleses que hicieron medidas astronómicas en la India, cerca del Himalaya. Este efecto se denomina isostasia y consiste en que el peso de las montañas debe estar compensado de alguna forma en el interior de la Tierra, para que el material debajo de ellas no esté sujeto a tensiones. Algo análogo, pero de sentido inverso, debe suceder en los océanos ya que el agua del mar tiene menos peso que las rocas de los continentes.

John Henry Pratt (1800-1871), arcediano de Calcuta, interpretó las diferencias de las medidas astronómicas de la India, como el efecto ejercido por los Himalayas en la dirección de la línea vertical. La sacudida de la plomada, que bajo condiciones normales apunta hacia el centro de la gravedad de la Tierra, se desvía por la vecindad de las masas atrayentes. Pratt hizo cálculos apropiados y encontró para su sorpresa que los Himalaya tienden a producir una gran deflexión.

Los escritos de Pratt, enviados a la Royal Society de Londres, despertaron el interés de George Biddell Airy (1801-1893), astrónomo real del Reino Unido. El imaginó la corteza flotante en un fluido de alta densidad y entonces la corteza se comparaba a una balsa hecha de troncos flotando en agua. Airy indicó, que los troncos que se levantan sobre la superficie también se inmersan profundo en el fluido, siguiendo el principio de Arquímedes, por lo cual el peso del cuerpo inmerso es igual al fluido desplazado. De esta forma, asumió que las raíces de la barcaza de la corteza están presentes debajo de los Himalayas y el Tibet, extendiéndose dentro del fluido que la sostiene y compensando a cierta extensión, para la deflexión producida por la masa de las montañas (Gohau, 1990).

Pérez M., C.

En 1859, Pratt refutó la hipótesis de Airy, diciendo que la corteza es tan densa como la base fluida, porque ambos consisten del mismo material, enfriándose y contrayéndose haciendo a la corteza levantarse. En estos términos, la contracción es menos fuerte en la región de las montañas que en las zonas bajas; la densidad puede ser baja en las cordilleras montañosas y por lo tanto, la densidad baja compensara para la altitud mayor.

De acuerdo con Bowie (1941), en 1889 Clarence Edward Dutton (1841-1912), geólogo de los Estados Unidos, expuso en un trabajo la idea de una costra flotante considerando solo los datos geológicos y de plena evidencia. Concluyó, que la hipótesis del equilibrio le parecía debiera extenderse para ayudar a explicar muchas cosas que tenían preocupados a los geólogos. Dio el nombre de isostasia a la hipótesis del equilibrio.

La primera aplicación precisa de la isostasia, fue hecha por J.F. Hayford, del *Coast and Geodetic Survey*, a principios del presente siglo, al tratar de determinar la figura de la Tierra por medio de las observaciones astronómicas y geodésicas efectuadas en los Estados Unidos, demostrando que era factible la aplicación de la teoría.

En el siglo XX, la sismología confirmó las ideas de Airy y mostraron el límite mínimo de la corteza (reconocieron la existencia de una superficie de discontinuidad) que está debajo de las montañas como si las raíces indicaran su existencia. Fue también establecido que la corteza de los continentes y de los océanos son de diferente naturaleza y de diferente densidad.

Con relación a la polémica entre Pratt y Airy, Wegener (1929), escribió:

La interpretación correcta se podría encontrar uniendo ambas concepciones. En el caso de las cadenas de montañas nos encontramos con una corteza ligera engrosada en el sentido de Airy; pero cuando consideramos la zona de transición entre los bloques continentales a los fondos oceánicos es cuestión de diferencias en el tipo de materiales en el sentido de Pratt.

Wegener entendió que si los continentes no tienen la misma composición que los océanos, entonces no puede haber intercambio entre la corteza terrestre como Sues asume. Más importante es que la isostasia implica movimientos verticales de la corteza. Se sabe que Escandinavia se hundió bajo el peso del hielo durante la glaciación del Pleistoceno y entonces rebota al revés durante el calentamiento del tiempo posglacial. Similarmente, cuando la corteza continental se hace delgada por la erosión, ella se hace ligera y asciende (Gohau, 1990).

Hacia los inicios del siglo XX se creía en la existencia de formas de puentes de tierra entre los continentes actuales explicando así la fauna y flora de un continente a otro." Numerosos puentes imaginarios fueron propuestos: África y Brasil fueron conectados por el puente llamado Arqueo-Helenis y Europa y Norteamérica por Arqueo-Atlántida. Pequeños puentes de tierra a través del océano Índico unieron Madagascar e India y a India con Australia. A esas explicaciones de los puentes de tierra, Wegener opuso la idea de la deriva continental (Fig. 25).

Para Uyeda (1980), la teoría de los puentes continentales admitía la posibilidad de que una masa de tierra del tamaño de un continente se convirtiera en un mar. Este enfoque era esencialmente el mismo que afirmaba que la distribución de tierra y océano está determinada por el movimiento vertical de la corteza terrestre. En la teoría de la deriva continental, el movimiento horizontal de los continentes es el fenómeno central. Esta es la diferencia fundamental entre ambas hipótesis.



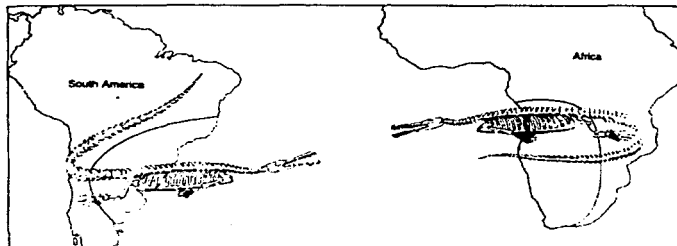


Fig. 26. Fósiles de *Mesosaurus* encontrados en ambos lados del Atlántico sur pero en ninguna otra parte del mundo. Los restos fósiles de éste y otros organismos hallados en los continentes de África y Suramérica, establecen una unión de esas masas de tierra (tomada de: Tarbuck y Lutgens, 1990).

Wegener se preocupó por aclarar que entre los paleontólogos de principios de siglo XX el consenso favorecía la tesis de los puentes de tierra transoceánicos hundidos en el mar después del Cretáceo. Sobre la base de las identidades o semejanzas de flora y fauna entre los distintos continentes, la mayoría de los especialistas consideraban necesaria una conexión terrestre o en el caso de los organismos neríticos alguna clase de vínculo entre las plataformas continentales submarinas (Hallam, 1972).

Y el acuerdo se acentuaba en el caso de la conexiones en el Mesozoico entre Brasil y África, Australia y África-India y Suráfrica-Madagascar e India. Wegener citaba como ejemplos el pequeño reptil *Mesosaurus*<sup>22</sup> conocido solamente a partir del Pérmico en Suráfrica y Brasil y la planta *Glossopteris*<sup>33</sup> muy difundida a fines del Paleozoico, pero confinada a los continentes del sur (Fig. 26 y 27).

El argumento paleontológico resulta de la comparación de los restos fósiles entre los llamados supercontinentes Laurasia y Gondwana. La flora y fauna de Gondwana era pobre en especies y propia de un clima frío y glacial. Los restos de la flora y fauna de Laurasia era notablemente rica en especies y de carácter tropical. Lo anterior es por el hecho de que en el carbonífero tuvo lugar una notable diferenciación climática que al final del periodo originó floras de carácter muy distinto.

La explicación ortodoxa de conexiones continentales era que la posición de los continentes estaba fija pero que puentes de tierra habían salvado las considerables distancias de océano abierto entre ellos. Wegener, descartaba esta opinión en término mordaces. La corteza de la Tierra, señalaba, está compuesta de rocas mucho menos densas que el material del interior. Así, la improbabilidad esencial de los puentes de tierra hundidos se expresaba en términos de equilibrio isostático. Si las rocas de la corteza de baja densidad de los desaparecidos puentes hubieran sido forzadas de alguna forma, al fondo marino más denso, los puentes tenderían a levantarse de nuevo. Sin embargo, ninguno de los hipotéticos puentes de tierra ha reemergido. Por lo tanto, se hace necesario postular la existencia de alguna fuerza colosal no especificada que siga manteniendo los puentes sumergidos. La existencia

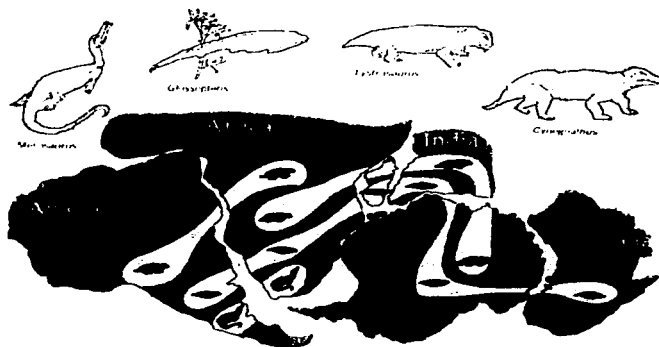


Fig. 27. Algunos animales y plantas cuyos restos se encuentran en continentes distantes entre sí, en América del Sur, África, Madagascar e India, Antártida y Australia, en épocas tomadas en el gran continente de Gondwana, en sus áreas de distribución. Son: *Mastigiasaurus*, reptil permiano presente en Brasil y África meridional; *Glossopteris*, planta permiana presente en todas las zonas señaladas; *Lystrosaurus*, reptil del triásico temprano presente en África meridional, India y Antártida; *Cynognathus*, reptil del triásico temprano que vivió un poco más que el *Lystrosaurus* presente en Argentina y África meridional (tomada de Colbert, 1982)

de tal fuerza es improbable. A menos que se quisiera descartar los datos fósiles de entrada, Wegener concluyó que el único medio razonable de explicar similitudes intercontinentales de animales y plantas es la deriva de los propios continentes.

Frankel (1979) señala que los miembros del CON inicialmente hicieron énfasis en la paleontología y la biología a expensas de la geofísica y por tanto deberíamos esperar que los CON plantearan hipótesis auxiliares en un intento de explicar los datos olvidados de los geofísicos. Este es precisamente el comportamiento de Chamberlin y Jeffreys, quienes fueron los más importantes defensores del CON después de Suess.

Los exponentes del programa de investigación CON afrontaron dos serios problemas derivados de las investigaciones geofísicas. El primero, como ya hemos señalado, fue el descubrimiento de la radioactividad. En consecuencia, los CON necesitaron una nueva explicación para la contracción de la Tierra. En segundo lugar tuvieron que hacer las paces con el principio isostático. T.C. Chamberlin se anticipó a los CON al establecer una hipótesis que resolvía ambos problemas y ampliando así los hechos que el CON podía explicar. En 1904 Chamberlin unió fuerzas con el astrónomo F.R. Moulton, y formularon su hipótesis planetaria. En esos años, Chamberlin se centró en los aspectos geológicos de la hipótesis. La hipótesis original Chamberlin-Moulton suponía que la Tierra se había formado de la materia sólida del Sol a través de una colisión cercana con una estrella fugaz, seguida por la formación de una Tierra gaseosa o sólida. Propuso que la Tierra se construyó a través del aumento de partículas

Pérez M., C.

o planetesimales, que se han contraído desde su formación. Sin embargo, la contracción fue causada por las fuerzas gravitacionales al contrario del enfriamiento de la Tierra. Entonces argumentó que su hipótesis planetesimal se ajusta mucho mejor con el principio isostático y la radioactividad. El principio isostático no fue un problema, puesto que los planetesimales se han reordenado solos con respecto a sus densidades-las partes más densas se movieron hacia el centro de la tierra, mientras las menos densas flotaban hacia la superficie. En cuanto a la radioactividad, argumentó que estaba en verdadera armonía con su teoría. Así que el programa de investigación del CON se fue a flote una vez más.

### **5.1.2. LA OBJECCIÓN GEOFÍSICA A LA TEORÍA DE LA DERIVA**

Frankel (1979) nos dice que el CON se anticipó con otra hipótesis, la de Harold Jeffreys cuando publicó *The Earth* en 1924. Jeffreys estuvo en desacuerdo con Chamberlin pero proporcionó una explicación que tomó en consideración la isostasia y la radioactividad. Como resultado, proporcionó al CON otra alternativa viable. De hecho, Jeffreys dio al CON respetabilidad en la geofísica, desde que *The Earth* colocó a la geofísica sobre un sólido fundamento matemático y considerando la explicación de los nuevos datos sismológicos. A partir de ese trabajo Jeffreys obtuvo gran prestigio. Retomó el concepto de una Tierra fundida y fue capaz de demostrar matemáticamente que la contracción debido al enfriamiento era amplia, incluso con la presencia de la radioactividad. Chamberlin mantuvo flotando al CON y Jeffreys lo mantuvo navegando hasta los 60's.

Jeffreys (1924), rechazó la deriva continental de la siguiente manera:

Una tesis imposible ha sido con frecuencia asociada con la hipótesis del desplazamiento continental y con otras hipótesis geológicas basadas sobre la concepción de una Tierra desprovista de fuerza. Esto es, una pequeña fuerza no puede sola producir indefinidamente gran movimiento, dado un suficiente y largo tiempo, pero puede sobrevenir una fuerza muchas veces más grande actuando en dirección opuesta al mismo tiempo. En la teoría de Wegener, por ejemplo la idea de que la Tierra puede ser deformada definitivamente por fuerzas pequeñas, solamente muestra que actuaron con anterioridad por mucho tiempo, por tanto es peligroso y puede llevar a un serio error.

Así pues, uno de los críticos más duros con relación a la certeza de la hipótesis de la deriva continental fue Jeffreys (más tarde, Sir Harold). Para Jeffreys la corteza continental es suficientemente fuerte como para soportar el monte Everest y la corteza oceánica tan fuerte como para mantener profundas fosas. Las críticas de Jeffreys fueron el punto de partida de la oposición quizá más formidable que hubo que soportar Wegener. Se trata de lo que podría llamarse la escuela geofísica de la Tierra ultrasólida, establecida en Gran Bretaña y los Estados Unidos. Estos geofísicos creían que podían demostrar de manera definitiva que la Tierra poseía una rigidez demasiado grande para permitir que los continentes se trasladaran por su superficie (Hallam, 1989).



Frankel (1985) señala que los puentecontinentistas (PC) citaron la mayor objeción geofísica que se había levantado contra la deriva, la de Harold Jeffreys. Wegener pensaba que su teoría era geofísicamente superior a la alternativa de los PC. Sin embargo, la deriva encaraba una pesada objeción geofísica.

Jeffreys levantó su objeción de mayor importancia en su trabajo *The Earth* y continuó presentándola aún después de la aceptación de la tectónica de placas. Esta objeción levantó una dificultad conceptual a la teoría de la deriva y se convirtió en una parte fundamental de los antiderivistas (Frankel, 1981).

De acuerdo con Wegener, los continentes habían arado su camino a través del piso oceánico cuando derivaron a sus propias posiciones que tienen en la actualidad. Sin embargo, Jeffreys señalaba que: a) No existen fuerzas conocidas suficientes para empujar a los continentes a través del piso oceánico; b) aún si existieran tales fuerzas, los continentes no podrían ser capaces de sobrevivir a tal viaje por la Tierra sin desmoronarse completamente, ya que el material del piso oceánico es más fuerte que el material continental.

Harold Jeffreys se opuso a la teoría de Wegener desde el principio. El escribió una carta a *Nature* en abril de 1923 estableciendo sus objeciones en términos que repercutían a través de sus escritos y que seguirían repercutiendo por las siguientes cinco décadas. Jeffreys decía que en las discusiones de la teoría de Wegener y otras hipótesis geológicas, se había supuesto libremente que cualquier fuerza, por muy pequeña que fuera, puede deformar la Tierra en cualquier extensión si únicamente ésta actúa el tiempo suficiente (Marvin, 1985).

Jeffreys criticaba el mecanismo de Wegener consistente en una fuerza muy pequeña moviendo los continentes americanos hacia el oeste, abriendo el Atlántico detrás de ellos a su paso, mientras que la resistencia del piso oceánico del pacífico causaba el levantamiento de las montañas rocosas, contra la fuerza de gravedad. Jeffreys calculó que la fricción causada por la marea y las diferencias en los valores de la gravedad en las partes más altas y los fondos de los continentes podría producir un esfuerzo de  $10^{-4}$  dinas por  $\text{cm}^2$ , cuando la elevación de las montañas requiere de  $10^9$  dinas por  $\text{cm}^2$ . Indicó así, que la existencia de cordilleras montañosas de millones de años de antigüedad demuestra que las rocas en su base pueden soportar por mucho tiempo y a gran escala grandes diferencias de fuerza.

Con la publicación de *La Tierra* en 1924, Jeffreys comenzó a manejar su enorme influencia sobre el pensamiento geológico de Inglaterra y EUA. Como físico, forzó a los geólogos a formular sus propias ideas sobre la dinámica de la corteza en términos cuantitativos. En las siguientes décadas, Jeffreys dirigió su atención a los aspectos sismológicos y a la evidencia gravitacional con la creciente seguridad de que la corteza y el manto superior están a profundidades de al menos 700 Km. No fue hasta los setentas que se tuvo conocimiento de la existencia de una zona de baja velocidad en el manto superior y aún no estaba claro que los temblores de tierra se generaban a profundidades de cientos de kilómetros en sitios muy especiales, como son las denominadas zonas de subducción.

Otro aspecto también criticado por Jeffreys (1976), es que uno de los argumentos de Wegener asumía una perfecta isostasia, pero desde la perspectiva de Jeffreys no hay razón para suponer la elevación de determinada superficie por la densidad local del sial. Dice Jeffreys, que el libro de Wegener fue publicado en 1915 justo antes de los escritos de las Series Barrell's, que muestran que hay imperfecciones en la isostasia.

Es claro que la objeción geofísica de Jeffreys sobre el mecanismo de desplazamiento propuesto por Wegener fue uno de los más importantes obstáculos para el desarrollo de la teoría de la deriva continental. Sin embargo, cabe señalar que la aceptación posterior sobre el desplazamiento de los continentes se ha dado a pesar de no estar resuelto el mecanismo sobre desplazamiento continental, expresado en la tectónica de placas.

## **5.2. EL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN PERMANENTISTA (PERM)**

De acuerdo con Wegener (1929), la teoría de la isostasia no sólo se contraponen a la teoría de la contracción, sino también a la de una cierta forma de explicar la distribución de los organismos, teoría derivada de la de los puentes continentales hundidos. De aquí existe otra idea basada en una parte del encadenamiento lógico de aquélla; se trata de la teoría de la permanencia difundida especialmente entre los geólogos americanos. Bailey Willis, la formula de la siguiente manera: las grandes cuencas marinas son rasgos permanentes de la superficie terrestre, que desde que el agua formó mares se instalaron en el mismo lugar que actualmente ocupan.

De hecho, al estudiar la naturaleza somera de los sedimentos depositados sobre los continentes, los bloques continentales son, como tales, rasgos permanentes en la historia de la Tierra. La imposibilidad de interpretar las cuencas marinas actuales como puentes continentales hundidos, imposibilidad que deriva de la teoría de la isostasia, da como resultado una permanencia general de las cuencas marinas y de los continentes.

La posición relativa de los continentes no ha experimentado ninguna variación, de esta manera, la formulación de la teoría de la permanencia debida a Willis, aparece como una conclusión lógica de los conocimientos geofísicos, olvidando el postulado sobre antiguas conexiones continentales.

Wegener escribe:

...asistimos al singular espectáculo de que se defienden simultáneamente dos teorías completamente opuestas sobre la antigua configuración de la Tierra: en Europa existe una adhesión casi universal a la teoría de los antiguos puentes continentales, y en América se defiende casi exclusivamente la teoría de la permanencia de los continentes y las cuencas marinas profundas.

No es entonces casual que la teoría de la permanencia cuente con sus defensores más numerosos en América: en aquel continente la Geología ha comenzado tarde, para desarrollarse luego paralelamente a la Geofísica, lo cual ha tenido como consecuencia necesaria que los resultados de esta ciencia hermana se aceptaran más completa y rápidamente que en Europa. No existió ninguna tentación de convertir la teoría contraccionista en uno de los postulados básicos. Muy diferente era la situación en Europa, donde antes de que la Geofísica hubiera ofrecido sus primeros resultados, la Geología se había desarrollado ya durante largo tiempo, alcanzando una síntesis general concretada en la teoría de la contracción. Es por tanto, comprensible que para muchos geólogos europeos resultara difícil liberarse de su tradición geológica, y que por ello recibieran los resultados provenientes de la Geofísica con una desconfianza que nunca llegó a desaparecer.

Wegener se preguntaba:

...¿Cuál es la verdad? La Tierra no puede tener más de un rostro a la vez. ¿Hubo puentes continentales, o bien estuvieron siempre los continentes separados por mares profundos?... es imposible rechazar la reivindicación sobre las antiguas conexiones terrestres si no queremos renunciar por completo a comprender el desarrollo de la vida en la Tierra. Pero es igualmente imposible rehuir los argumentos con los que los partidarios de la teoría de la permanencia rechazan los intercontinentes hundidos. De lo anterior, queda sólo una posibilidad: tiene que existir un error oculto en las suposiciones tomadas como evidentes.

Para Wegener, éste es el punto de partida de la teoría de la deriva. La suposición, tomada como evidente tanto en la teoría de los puentes continentales como en la de la permanencia, de que la situación relativa de los bloques continentales no ha cambiado debe ser falsa: los continentes deben haberse movido.

Gohau (1990), señala que Wegener se preguntaba por qué si los movimientos verticales de las masas continentales son posibles, por qué no pensar también en la posibilidad de desplazamientos horizontales.

Wegener asume que el material que forma el piso de los océanos se extiende debajo de los continentes. El iguala este material con el sima de Suess y siguiendo el trabajo de los simólogos, lo identifica como de basalto. El da el nombre de sial al material de granito y gneis que compone a las formas continentales.

El considerar al sial como una capa discontinua, que limita a masas continentales, resultó un cambio perceptible de la interpretación de Suess de una capa continua. Esto hizo posible para los continentes el movimiento horizontal, similar a una balsa. La teoría de Wegener, nos dice Gohau, estaba acorde con nuestro conocimiento actual, negando así la síntesis de Suess hecha al fin de la centuria anterior.

Algunos geólogos americanos conservadores, creyeron con Bailey Willis (1857-1949) en la permanencia de los rasgos de la Tierra. Willis fue el principal exponente entre los PERM. Censuró al CON en sus principios. Cuando se familiarizó con los datos de la radioactividad cuestionó la idea de que la Tierra se había estado enfriando a través de su historia. Esto es, Willis se dio cuenta de que ya no se podía apelar a los puentes de tierra hundidos e invocó una hipótesis adicional para explicar los datos paleontológicos. El punto débil de la teoría del PERM consistió en cómo dar una apropiada explicación para el registro fósil. Willis propuso originalmente un hundimiento periódico de mares poco profundos, lo cual ocurrió cuando la cuenca oceánica llegó a llenarse con sedimentos erosionados de los continentes. Argumentó que esto fue durante los tiempos en que la Tierra experimentó climas severos. Como resultado tales épocas condujeron a la proliferación de las formas de vida existentes, las cuales podían migrar a través de los mares poco profundos (Frankel, 1979).

Willis intentó dar al PERM un gran poder de explicación sobre los aspectos biológicos y paleontológicos proponiendo una adición al núcleo duro de las conexiones ístmicas del PERM. En 1926 en el simposio de la A.A.P.G. propuso una conexión ístmica como ruta migratoria de las formas de vida, las cuales se habían extendido a continentes separados por océanos.

Willis (1928), expresó:

Sugiero que se puede encontrar una conexión ístmica entre Norte y Suramérica. Se conoce que esos dos continentes largamente separados y sólo recientemente, geológicamente hablando, se han unido. La unión es resultado de la elevación orogénica de la cordillera entre el Caribe y lo profundo del Pacífico, favorecida por acumulación volcánica. El Istmo ahora forma un puente de tierra a través de un estrecho ecuatorial que constituye parte del Tethys y que en épocas geológicas anteriores permitió el paso de corrientes oceánicas. Homólogamente la cordillera que ahora transporta el Istmo puede ser trazada a través del océano Atlántico y debajo de otros océanos del hemisferio sur, y puede transportar cadenas de islas o continuas conexiones ístmicas adecuadas para explicar la distribución de los organismos en las épocas pasadas. Una teoría que no se expresa sobre una Tierra dinámica, requiere sólo el camino de elevar o subsumir que es comparable con el desarrollo de cadenas montañosas. Se menciona aquí, sin embargo, que el propósito es solamente para mostrar que no son transportados y asumir que los continentes una vez unidos en una única masa deben explicar los hechos de la paleontología.

Esta hipótesis fue una ayuda a los PERM pero es cuestionable. Van der Gracht, presidente del simposio, pensó que la hipótesis no servía. Incluso Charles Schuchert, un paleontólogo permanentista no estuvo completamente satisfecho con la hipótesis de Willis, pues él sugirió la necesidad de unos cuantos puentes de tierra hundidos como suplemento a las conexiones ístmicas. Para Schuchert el PERM estaba firme geofísicamente, el era paleontólogo y no geofísico.

Los programas del CON y PERM tenían diferencias de opinión en cuanto a cuáles eran los datos más importantes que necesitaban explicación. Los CON pensaban que los datos biológicos y paleontológicos eran los más importantes y así postularon los puentes de tierra cuando y lo requiera el registro fósil. Los PERM creyeron que los datos geofísicos eran los más importantes; argumentaron contra la existencia de puentes de tierra y en favor de la permanencia de los continentes y del suelo marino. Wegener pensaba que los CON ponían énfasis en lo paleontológico y los PERM en lo geofísico. Los PERM fueron americanos y los CON fueron europeos.

Gohau (1990), cita a Willis que dice: "*La gran base del océano son rasgos permanentes de la superficie de la Tierra y ellos han existido donde están ahora, con cambios moderados de la línea de la costa...*".

Una idea similar fue propuesta por James Dana. Holland (1941) señala que en 1881 J.D. Dana publicó en *Nature* una recapitulación de sus razones para sugerir, que primero en 1846 y en frecuentes ocasiones más tarde que "*los continentes siempre han sido continentes...y nunca han cambiado su sitio con los océanos*".

J.D. Dana (1813-1895) fue un geólogo americano, autor de un muy popular *Manual de Geología* y además proponente del concepto de geosinclinal. Dana en una serie de artículos publicados en 1873, desarrolló una teoría de formación de montañas y del origen de los continentes y los océanos en que discute los problemas de la subsidencia, levantamiento, deformación y metamorfismo como aspectos esenciales de la orogenia.

De acuerdo con Hallam (1989), Dana propuso un modelo que se basó en la idea de una Tierra que se va contrayendo, la cual, inicialmente, estaba en estado de fusión y actualmente está en proceso de enfriamiento y solidificación.

Dana proponía que en el momento inicial de la solidificación de la superficie, había grandes áreas de composición granítica mientras que otras estaban compuestas de corteza basáltica. La corteza, por lo tanto, debía acomodarse a esta contracción y esto determinaba el desarrollo de fuerzas compresivas laterales dentro de la zona cortical. Debido a la diferencia de nivel entre las depresiones y altiplanicies, la corteza basáltica de las depresiones actuaría como una palanca de la corteza granítica. Por consiguiente, la presión lateral se dirigiría desde las depresiones oceánicas hacia las mesetas continentales.

En un primer momento, estas presiones habrían causado un arqueamiento o flexión general de las mesetas, produciendo amplios abombamientos encima del nivel del mar y también vastas depresiones. Así se habría iniciado la erosión y el transporte de materiales rocosos desde las áreas levantadas y su depósito en las depresiones como sedimentos. El proceso continuaba por ajuste isostático. Esta expresión indicaba el movimiento vertical de una sección de la corteza terrestre, respondiendo a un aumento o disminución del peso, según la erosión y la sedimentación, combinado con la presión lateral continuada.

A medida que los sedimentos de las cuencas iban siendo hundidas a mayores profundidades entraban en zonas de temperaturas más altas que los reblandecían fuertemente o los fundían. La presión lateral podía liberarse por los intensos plegamientos y fracturas de la zona que se iba debilitando, lo que conducía a la formación de cinturones de montañas con los estratos plegados. Este es el origen del concepto de geosinclinal, por lo cual se recuerda más a Dana en la actualidad.

Así, el modelo explicaba la formación de los continentes y de las cuencas oceánicas, y dentro de los continentes, la diferencia entre montañas plegadas, llanuras y la plataforma continental. Se aplicó con gran éxito a América del Norte, donde las cordilleras de montañas más importantes son adyacentes al océano Pacífico o al Atlántico.

Tanto en la hipótesis de Dana como en la de Suess, el modelo de una Tierra enfriándose y contrayéndose consideraba a los continentes y cuencas oceánicas como elementos primordiales e implícitamente negaba la posibilidad de movimientos laterales importantes de las masas continentales a través de los océanos. Puesto que estos conceptos parecían solucionar con éxito una amplia gama de fenómenos geológicos, la mayoría de los geólogos estaban persuadidos de su certeza, a pesar de que se reconocía que existían dificultades y complicaciones. Por ejemplo, el concepto de orogénesis de Dana era más difícil de aplicar en Europa y Asia, que en América del Norte. Por tanto, cualquier idea que defendiera que los actuales continentes podían haberse separado de una masa primordial de tierra debía parecer absolutamente herética a las primeras generaciones de geólogos (Hallam, 1989).

### ***5.3. PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN ¿ ENCONTRADOS ?***

Cuando Wegener propuso su teoría de la deriva continental, el problema de la distribución geográfica disyunta (DGD) había recibido fuerte atención. En ese sentido, dos alternativas fijistas, la teoría de los puentes de continentes hundidos y el permanentismo fueron las primeras en intentar resolver el problema.

Frankel (1981), genera una discusión con relación a la explicación de la distribución de las formas de vida que tienen una (DGD).

Los puente-continentalistas (PC), liderados por Eduard Suess y otros geólogos europeos y paleontólogos, postularon la existencia de continentes primitivos o puentes de continente masivos que se extendían a través de regiones oceánicas y proporcionaban rutas migratorias para varias formas de vida.

Los permanentistas (PERM), en contraste con los puente-continentalistas, intentaron explicar la expansión de la flora y fauna disyunta, sin recurrir a la postulación de conexiones primitivas de tierra; ellos solo se interesaban en los puntos continentales existentes como el estrecho de Bering y América Central, en conjunto con los cambios en el nivel del mar para permitir así una movilidad grande de las formas de vida en comparación a lo admitido por los puente-continentalistas.

A la luz de estas dos alternativas fijistas, Wegener desarrolló una estrategia más integral en la presentación y defensa de su solución a la DGD (Fig. 28). Inicialmente, Wegener estaba aliado con los puente-continentalistas en contra de los permanentistas en cuanto a que los primeros creían que el registro paleontológico y geológico requería la postulación de conexiones intercontinentales pasadas, sin embargo, subsecuentemente rompió su asociación con los puente-continentalistas (Frankel, 1985).

Wegener argumentó que su teoría de la deriva continental ofrecía una mejor solución al problema por la superioridad de su visión en los terrenos paleontológico y geofísico.

### **5.3.1. LA ALIANZA DE WEGENER CON LOS PUENTECONTINENTALISTAS (PC)**

Considerando los trabajos de los PC, Wegener recurrió al del renombrado paleontólogo y puente-continentalista alemán T. Arldt, quien en 1917 proporcionó una sinopsis de las opiniones de veinte paleontólogos importantes concernientes a la existencia de ocho conexiones intercontinentales.

Para Wegener los resultados eran claros. El primer puente continental desapareció después del comienzo del Jurásico, el segundo a principios o mediados del Cretácico y el tercero en la transición del Cretácico al Terciario. El puente continental restante, el que conectaba Norteamérica con Europa, aunque frecuentemente estaba sumergido, no desapareció hasta el Cuaternario. La duración y localización de estas conexiones fijaron lo que postuló Wegener sobre el rompimiento de su Pangea.

Wegener discutió dos puentes hipotéticos que conectaban a la Antártida con la Patagonia y Australia. El resumen de Arldt revelaba que un gran número de paleontólogos no creían en la existencia de estos puentes, sin embargo, Wegener sí creía que las regiones hubieran estado conectadas.

Habiendo utilizado los datos y argumentos de los puentecontinentalistas para desarrollar una evidencia general de varias conexiones continentales respaldadas por muchos PC y constitutivas de su propia teoría, Wegener reforzó su apelación de conexiones transatlánticas citando un número de casos específicos de la literatura de los PC, los cuales tomó por ser decisivos para establecer la necesidad para tales conexiones. Entre los estudios que Wegener citaba, está el del porcentaje aparentemente

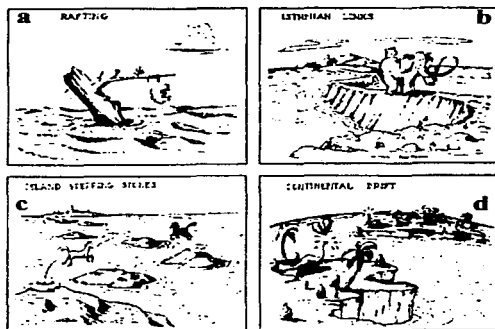


Fig. 28. Estos bocetos por John Holden ilustran varias explicaciones sobre la existencia de especies semejantes en masas de tierra que en el presente están separadas por vastos océanos: a) Transporte en balsa. Medio de dispersión característico del modelo permanentista; b) Uniones istmicas. Consideras aquí como ejemplo de puentes continentales; c) Dispersión a pasos a través de las islas. Característico del modelo permanentista; d) Modelo de la deriva continental. (tomada de: Tarbuck y Lutgens, 1990; modificada)

alto de reptiles y mamíferos idénticos en ambos lados del Atlántico. Aquí Wegener retomó el trabajo de Arldt.

También citaba los resultados de un estudio sobre la flora de Groenlandia como indicativos de una conexión primitiva. Dirigiendo su atención al suratlántico, Wegener mencionaba al reptil *Mesosaurus*, la flora *Glossopteris* y la vaca marina *Manatus*.

*Mesosaurus* fue un pequeño reptil Mesozoico que habitaba aguas dulces e incapaz de atravesar los océanos y cuyos descendientes han sido localizados solo en Brasil y Africa. La flora de *Glossopteris* destinada a jugar un amplio papel en el debate general, era la flora de los continentes del sur durante finales del Paleozoico y a partir de su descubrimiento en la India, Suramérica, Africa y Australia se llegó a una especulación muy intensa por parte de los paleontólogos y paleoclimatólogos. La distribución de *Manatus*, encontrado únicamente en el oeste de Africa y la América Central y del sur tropical impresionó a Wegener, porque este organismo vive en arroyos y aguas marinas cálidas y someras, pero es incapaz de nadar a través del océano Atlántico.

Wegener posteriormente rompió con los puente-continentalistas y defendió su teoría de la deriva.

Su defensa de que su solución a la DGD era superior a la alternativa de los PC consistía de varios argumentos:

Entre ellos, el que su teoría de la deriva ofrecía una solución más adecuada que la hipótesis de los puentes continentales en aquellos casos donde la masa continental A tenía formas de vida que se asemejan a aquellas de la masa continental B pero absolutamente diferentes de las de la masa

continental C, aún cuando A estuviera más cerca de C que de B. En tales casos Wegener argumentaba que A había estado más cerca de B que de C cuando las formas de vida similares florecieron, pero que la deriva había dejado a las respectivas masas continentales en sus posiciones actuales.

Concerniente a las islas Hawaianas actuales, de acuerdo con Wegener y otros, tienen una flora mucho más semejante a la de Japón y China, que a la de Norteamérica, aún cuando ellas están actualmente muy cercanas a Norteamérica. Wegener decía lo siguiente: esta situación puede ser explicada si se tiene en cuenta que el Mioceno en el polo Norte estaba en el estrecho de Beringia, cuando Hawaii tenía una posición latitudinal de 40 a 50 grados, la isla quedó expuesta a la gran deriva hacia el oeste que vino desde Japón y China. Además, las costas americanas en ese momento estaban más alejadas de Hawaii en comparación a como están hoy en día.

Wegener utilizó la misma solución para explicar las similitudes biológicas entre las formas de vida de Madagascar y la India; rechazó la idea del continente hundido Lemuria, en favor de una unión primitiva de Madagascar con la India.

Otra argumentación de Wegener fue que la deriva era superior a la hipótesis de los puentes continentales en aquellos casos donde las formas de vida del pasado de las masas continentales A y B se asemejan la una con la otra cuando 1) A y B están actualmente en diferentes latitudes y disfrutaban de climas diferentes o 2) si ellos tienen el mismo clima.

Los argumentos biológicos restantes de Wegener, en favor de su teoría fueron su aplicación a la sorprendente fauna australiana del pasado y el presente. Partiendo de la división tripartita del reino animal australiano, Wegener argumentaba que la naturaleza de cada grupo, así como las diferencias en los tres podrían ser explicadas solo por su teoría de la deriva. El elemento más antiguo de la fauna australiana muestra afinidades con la India y Ceilán así como con Madagascar y Suráfrica. Esta afinidad se origina del momento en que Australia estaba aún conectada con la India. El segundo elemento faunístico en Australia es muy bien conocido por pertenecer a un grupo singular de mamíferos, los monotremas y los marsupiales, los cuales están conspicuamente diferenciados de las faunas de las islas Sonda. El elemento de la fauna muestra relación de parentesco con la fauna suramericana. Concerniente al tercer elemento faunístico de Australia que es el más reciente y se asemeja a la fauna de las islas Sonda y las regiones costeras del sureste de Asia, Wegener afirmaba que esto indica un cambio rápido de la fauna y flora, el cual comenzó en un tiempo geológico reciente. Wegener estaba impresionado con la aplicación de su teoría.

La objeción restante de Wegener a la solución de los puentes continentales para la DGD era geofísica más que biológica. Consideraba que la objeción en contra de los PC era absolutamente seria y al respecto estaba de acuerdo con los permanentistas. La objeción era que la doctrina de los puentes continentales hundidos era incompatible con el principio de la isostasia. Dado este principio, los puente-continentistas no tenían un modo razonable para hundir sus puentes continentales postulados dentro del piso oceánico a menos que un proceso de sobrecarga hubiera ocurrido y el cual incrementaba la densidad de los puentes continentales lo suficiente para que ellos se hundieran. Sin embargo, ningún proceso razonable había sido considerado para aumentar su densidad.

A la luz de lo anterior, no es sorprendente que Wegener demandara que su teoría de la deriva ofreciera una mejor solución a la DGD que la hipótesis permanentista o de los puentes continentales. Aunque los puente-continentistas podían explicar la mayoría de los datos biológicos y paleontológicos, su teoría ofrecía una evaluación más completa y no estaba en desacuerdo con el principio de la isostasia. Wegener también pensaba que los permanentistas no pudieron explicar el registro paleontológico que indicaba la existencia previa de muchas formas similares sobre los continentes



que actualmente están separados por vastos océanos. Wegener no pensaba realmente que los permanentistas tuvieran una solución a la DGD.

Desde luego hubo respuestas de los puente-continentalistas. Las recepciones críticas de la solución de Wegener a la DGD fueron de ataques abiertos a ejemplos específicos contrarios y muchos de los opositores optaban por la solución alternativa de los puentes continentales sobre la deriva. En 1923 se llevó a cabo un *Simposium sostenido por la Real Sociedad de Sudafrica sobre la distribución de formas de vida en el hemisferio sur y su relación con la hipótesis de Wegener a la DGD*. Una de las objeciones provino del botánico Compton, que consideraba a la evidencia botánica como totalmente opuesta a la teoría de Wegener y otra fue del entomólogo Perigwag, el cual consideraba que la teoría de los puentes continentales podría explicar más fácilmente la distribución de los insectos.

Otra acusación general fue la de Edward W. Berry, un eminente paleontólogo americano. En el primer encuentro internacional sobre la teoría de la deriva, auspiciado por la *Asociación Americana de Geólogos Petroleros (AAGP)* en 1926, Berry demandaba que la teoría de Wegener desde el punto de vista paleontológico levanta más problemas de los que resuelve.

L. Diels, un respetado paleobotánico europeo presentó varias objeciones a la solución de Wegener para la DGD por el final de los años veinte y los treinta. El argumentaba, que la solución de Wegener era incompatible con los datos de la paleobotánica. De acuerdo a Diels, la flora del este de Norteamérica estaba ligada a la flora del este de Asia más que a la de Europa. La flora vestigial de Europa no era parecida a la de Norteamérica pero estaba relacionada a la flora asiática y a la flora autóctona de Australia; era tropical más que de climas fríos como debiera esperarse si la teoría de Wegener fuera correcta.

La base de las críticas a Wegener fue el descubrimiento de la flora de *Glossopteris* en Kashmir, Noroeste de Afganistán y especialmente en el Noroeste de Rusia y Siberia. Aún cuando Wegener explicara fácilmente la distribución de *Glossopteris* en todos los continentes del sur y la India al unirlos alrededor del polo sur, su reconstrucción hizo más difícil explicar la flora de las localidades asiáticas en virtud de que todas estas áreas yacen lejos de las masas que él había agrupado juntas en el sur.

El geólogo británico Phillip Lake escribió varias revisiones caústicas de la teoría de Wegener y en especial sobre la distribución de la flora de *Glossopteris*.

De acuerdo con Marvin (1985), en agosto de 1922, *Geological Magazine* publicó una crítica de 9 páginas de Phillip Lake. Este fue el primer ataque de escala completa contra la hipótesis de Wegener publicado en la Gran Bretaña. Lake, dice Marvin, ya no adaptaba un tono que pudiera ser descrito como una crítica moderada. El desafió la hipótesis principalmente en los errores e incertidumbres de la evidencia y atacaba a Wegener principalmente porque decía que carecía de honestidad intelectual. Lake abrió fuego.

Para él, un continente movable era tan extraño como lo fue la Tierra que se movía para nuestros ancestros y por tanto podemos estar tan prejuiciados como ellos lo estuvieron. Por otro lado si los continentes se han movido muchas dificultades anteriores desaparecen y podemos entonces estar tentados a olvidar las dificultades de la teoría y la imperfección de la evidencia.

Lake no hallaba nada de excepcional en el concepto de Wegener de los bloques individuales de *sal* (Lake rechazaba el término *stal* de Wegener) flotando isostáticamente en Sima.

Lake no podía concebir que los continentes se movieran lateralmente excepto en el caso de un evento cataclísmico primitivo, como cuando la Luna comenzó a girar en torno a la Tierra y la corteza granítica se fragmentó, ideas que él atribuía a Sir George Darwin (1879) y Osmond Fisher (1881). Sin

embargo, ninguno de estos autores creía que los fragmentos continentales se separaron recientemente y aún se están moviendo, ni siquiera Lake. Lake rechazaba la reconstrucción de Wegener de un supercontinente del carbonífero, pues consideraba que él había arreglado las cordilleras del Terciario de un modo indisciplinado y que distorsionó libremente los contornos continentales ensamblando los bloques en la cima más que en el fondo del talud continental, donde Lake creía que los continentes debieron estar unidos. Para Lake, Wegener había sugerido mucho pero no probó nada.

Otras objeciones vinieron de tres paleontólogos altamente respetados quienes estaban entre los defensores más vehementes de la hipótesis de los puentes continentales, especialmente, J. W. Gregory, Charles Schuchert y H. Von Ihering.

Gregory, un líder entre los paleontólogos británicos que defendía la hipótesis de los puentes continentales en dos escritos muy amplios expuestos ante la *Sociedad Geológica de Londres*, estableció una objeción general para la solución de Wegener a la DGD.

Gregory objetó que Wegener era incapaz de explicar las similitudes biológicas en los lados opuestos del pacífico. El pensaba que estas similitudes eran tan forzadas como aquellas encontradas en las líneas costeras del Atlántico. Argumentaba en favor de los puentes continentales y postulaba puentes de conexión a través del Pacífico.

Schuchert, paleontólogo americano que surgió de una tradición europea puente-continetista, argumentó a favor de esta escuela en el *Simposium* de 1926 de la AAGP, en donde discutió varias objeciones a la solución de Wegener. En particular el estaba de acuerdo con la objeción de que la teoría de Wegener rompía la conexión entre el este de Rusia y Alaska. Schuchert optó por la teoría de los puentes continentales pues él pensaba que podría explicar la dispersión de formas de vida lejanas con mayor facilidad en comparación a la Pangea de Wegener.

Von Ihering, llegó a hacer una afirmación de absoluto menosprecio por la teoría de Wegener, al decir que el unir las líneas de la costa de Africa y Suramérica era una idea ingeniosa, y que estaba en directa oposición a todos los hechos probados por los estudios geológicos y la distribución geográfica de los animales. El, además defendió la teoría de los puentes continentales considerando que ésta era superior a la hipótesis de la deriva con base en que los bordes del Pacífico eran necesarios y que el Atlántico sur requería conexiones continentales intermitentes.

De acuerdo con Frankel (1985), la respuesta crítica de los puente-continetistas se puede sintetizar en tres puntos:

1) Algunos argumentaban que las similitudes entre formas disyuntamente distribuidas eran tan grandes como podría haberse esperado de la solución de Wegener, pero que eran mejor explicadas por los puentes continentales.

2) Otros argumentaban que la deriva hacía extremadamente difícil explicar muchas formas disyuntamente distribuidas, especialmente las trans-pacíficas.

3) Otros, trajeron a colación una dificultad específica con la posición de Wegener en cuanto a *Glossopteris*. Phillip Lake, por ejemplo, discutió los hallazgos de *Glossopteris* en Rusia y argumentaba que la reconstrucción de Wegener de la Pangea hace extremadamente difícil la explicación de la presencia del *Glossopteris* ruso, más difícil que si el hubiera dejado los continentes en sus posiciones presentes.

### **5.3.2. LA REAPARICIÓN DEL PERMANENTISMO**

Frankel (1981, 1985), nos dice que el permanentismo también desarrolló soluciones a la DGD. Schuchert y Willis presentaron una alternativa en 1931. Schuchert resumió datos paleontológicos y modificó su posición de un puentecontinentalista que requería conexiones intercontinentales sustanciales a un permanentista generoso que requería sólo enlaces ístmicos entre los continentes. Willis, un líder entre los geólogos americanos y un fuerte opositor a la teoría de la deriva como a la doctrina de los puentes continentales hundidos, proporcionó a Schuchert suficientes puentes continentales en la forma de conexiones ístmicas para explicar los datos paleontológicos. A diferencia de los puentes continentales, las conexiones ístmicas no estaban sujetas a la objeción geofísica concerniente al principio de la isostasia.

Sin embargo, la más completa y vehemente defensa paleontológica del permanentismo vino de George Gaylord Simpson (1902-1984), uno de los paleontólogos más respetados en América. Simpson extendió en gran medida el trabajo de otro eminente paleontólogo americano, W.D. Matthew y desarrolló, según Frankel, una solución permanentista sofisticada a la DGD. Además, Simpson lanzó un fuerte ataque contra los defensores de la deriva continental y los puentecontinentalistas. En su momento du Toit contestó y Chester Longwell continuó el debate.

Frankel nos proporciona un resumen de la posición de Simpson y su debate con du Toit en los siguientes puntos:

1) Simpson desarrolló su solución para explicar la distribución disyunta de los mamíferos.

2) Delineó tres tipos de rutas migratorias. Simpson realizó una útil distinción entre tres rutas de dispersión. La primera, que él denomina *corredores o pasillos*, son conexiones de tierra que permiten el paso de los animales en ambas direcciones. La segunda, llamada *puentes filtro*, combina una conexión terrestre con algún factor adicional, como el clima, de forma que elimina algunos posibles migradores. Como ejemplo, parece improbable que los animales de climas cálidos cruzaran el estrecho de Bering cuando estaba emergido entre Asia y Norteamérica durante el Pleistoceno. El pasaje estaba abierto únicamente cuando el nivel del mar descendía en las épocas más frías de las glaciaciones. La tercera categoría de Simpson, las rutas *sweepstake*, toma su nombre de la pequeña proporción de vencedores respecto al gran número de perdedores; los raros vencedores son aquellos que sobreviven a los viajes fortuitos en almadías y tienen éxito al colonizar áreas aisladas. Al revés de los pasillos o incluso los puentes filtro, que favorecen la homogeneidad final de las faunas a ambos lados del corredor, las rutas *sweepstake* impulsan el establecimiento de poblaciones de baja diversidad y ecológicamente desequilibradas (Hallam, 1972) (Fig. 29).

Las tres rutas que define Simpson son las disponibles para los animales terrestres en general y especialmente, para los vertebrados superiores. Sin embargo, resulta obvio que el mismo tipo de conexiones influirían también sobre la dispersión de organismos marinos como los invertebrados que habitan los fondos marinos.

Simpson (1967) en un capítulo sobre *Fósiles y Geografía* dice: "...La opinión más radicalmente puesta que todavía defienden algunos investigadores competentes implica la teoría del desplazamiento de continentes. Hay varias versiones contradictorias de esta teoría, pero todas suponen que los bloques continentales primeramente tenían relaciones y posiciones completamente

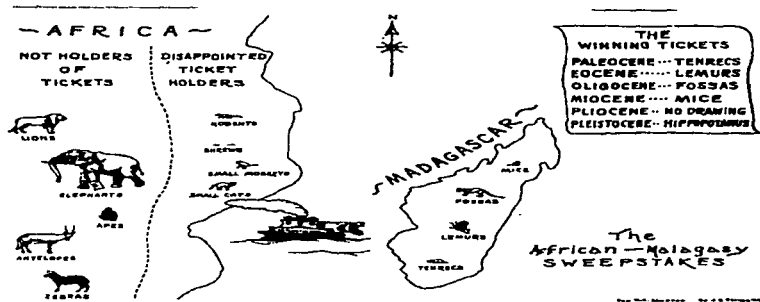


Fig. 29. Ilustración de rutas sweepstakes de George Gaylord Simpson (tomada de: Marvin, 1974).

*distintas sobre el esferoide terrestre...". Y más adelante: "...Los geólogos están muy lejos de coincidir, no solo en los detalles del proceso, sino incluso en si en realidad se produjo. La mayoría de los geólogos americanos creen que no. Los geólogos europeos están más divididos en la opinión. La mayoría se inclina a aceptar la probabilidad del desplazamiento de los continentes. Los geólogos sudafricanos son particularmente adictos a la teoría, en gran parte por la influencia personal de un expositor capaz e inspirado, Alex. L. Du Toit, que trabajó y enseñó en Sudafrica..."*

Sin embargo Simpson sentenciaba: *"...creo que puede decirse que lo que se sabe en realidad de la geografía actual y pasada de los animales y plantas no apoya la teoría del desplazamiento de los continentes..."*

3) Simpson desarrolló técnicas cuantitativas para evaluar el grado de similitud entre varias faunas.

4) Simpson también desdeñó mucha de la literatura con relación a la DGD y fue poco clemente en su trato crítico con Wegener y du Toit. A lo largo de su ataque, Simpson se concentró en mostrar que sus oponentes habían sobrestimado toscamente el número de casos legítimos de organismos disyuntamente distribuidos, mediante la utilización de datos informales e inexactos basados en criterios taxonómicos inadecuados o la identificación errónea de especímenes fósiles. Junto con el descrédito de sus competidores, su ataque tuvo el efecto de disminuir considerablemente el número de casos legítimos de formas disyuntamente distribuidas.

5) Simpson también considero las contradicciones, que según él tenía Wegener y examinó la fauna australiana, proporcionando una solución permanentista y argumentando que ésta era superior a las consideraciones de la deriva. Simpson pensaba que Australia había estado siempre en su posición actual y que los marsupiales habían venido de Asia y no de Suramérica por medio de una ruta de extensión definitiva en la cual los placentarios estaban presentes sin haber sido llevados por un fenómeno de deriva. Además, se opuso a la conexión suramericana sobre la base de que esta podría haber llevado a la migración de los placentarios suramericanos a Australia.

¿Cuál fue la respuesta de du Toit al ataque de Simpson? La respuesta fue que du Toit dio un paso atrás. Consideró que se le había sobrestimado la importancia de la solución de la deriva continental a la DGD en la evaluación general de la teoría. Sin embargo, enfatizó que este paso atrás fue principalmente debido a que como Simpson, el concordaba en que la base de datos biogeográficos era incompleta e informal y que fue importunada por determinaciones defectuosas. Pero, en su respaldo, du Toit citó la identificación errónea de la flora de *Glossopteris* en Rusia, resultando esto un punto estratégico para du Toit.

Du Toit, también intentó hacer a un lado el trabajo de Simpson argumentando que:

1) La distribución de los mamíferos vino poco después de que muchos movimientos laterales de la deriva habían ocurrido.

2) Que la distribución de los mamíferos fue diferente a la de los invertebrados y plantas.

Chester Longwell, el tercer participante en el debate, era de la opinión de Simpson y señaló que los defensores de la deriva continental no pudieron mencionar ejemplos contrarios. Aquí Longwell citó la distribución trans-pacífica de *Cornus*.

La defensa de Simpson del permanentismo influyó fuertemente entre los zoogeógrafos americanos. Casi sin excepción, ellos fueron defensores muy fuertes del permanentismo y argumentaban contra la solución de la deriva a la DGD.

Alfred Romer, fue el más prominente de los pocos y nuevos zoólogos de vertebrados americanos que mostraron simpatía por la solución de la deriva continental antes del surgimiento del paleomagnetismo entre la década de los 40's y 50's. Romer, un especialista en vertebrados tetrápodos, comparó los reptiles del Pérmico primitivos y los anfibios de depósitos en Texas y Checoslovaquia y encontró que la fauna era extremadamente similar. Verificando sus resultados contra especímenes de hoy en día, el demostró que el grado de similitud fue mayor durante el período Pérmico que actualmente. Sin embargo, señala Frankel, Romer expresó su conclusión con cautela y fue renuente para elegir entre la hipótesis de los puentes de tierra entre continentes y la deriva continental.

Con relación a los especialistas americanos en Zoología de invertebrados y Geografía vegetal, también siguieron las enseñanzas de Simpson. El líder americano en Zoología de los invertebrados, P.J. Darlington, Jr., defendió la solución permanentista para la DGD. A finales de los cuarenta y a través de los cincuenta, Darlington tuvo poca simpatía por la teoría de la deriva, aunque al menos estaba dispuesto a considerarla.

Entre los fitogeógrafos, Daniel Axelrod, Ralph Chaney y William Darrah se mantuvieron como líderes permanentistas de entre todos los que han pugnado contra la solución de la deriva. Axelrod, por ejemplo, no tenía simpatía hacia la deriva y no la aceptó hasta que poco después la comunidad de las ciencias de la Tierra la estableció en la forma de la tectónica de placas.

El consenso general de la comunidad científica americana en favor del permanentismo fue expuesto durante el Symposium de 1949 "*The Problem of Land Connections Across the South Atlantic, with special reference to the Mesozoic*", celebrado en Nueva York por la *Sociedad para el Estudio de la Evolución*. De los 17 participantes, solo tres ofrecían apoyo para la teoría de la deriva continental. Ellos eran Romer, Wendell Camp y un fitogeógrafo Kenneth E. Castor, el mejor paleobotánico americano conocido que estaba a favor de la deriva.

Romer, en el Simposium, citó a *Mesosaurus* como la pieza sencilla más fuerte de evidencia para las conexiones transatlánticas suramericanas, ya que sus restos habían sido encontrados sólo en Suráfrica y Suramérica y que nadie podría afirmar que esta especie fue capaz de cruzar resueltamente las olas del suratlántico.

Aunque muchos zoólogos australianos en los veinte habían favorecido la deriva continental o la solución de los puentes continentales para la fauna australiana, ellos ya no estuvieron a favor de estas teorías después del análisis de Simpson. Muchos zoólogos europeos igualmente favorecieron la solución permanentista.

De acuerdo con Crow (1984), Frankel (1981) ha presentado argumentos aparentemente persuasivos y detallados a favor de la tesis según la cual el debate sobre las distribuciones biogeográficas disyuntas tanto antiguas como actuales quedó resuelto por los avances en oceanografía y el paleomagnetismo. La tesis central que sostiene es que la biogeografía, que posee una base de datos inadecuada debe fundarse en otra ciencia, la geología, que tiene un mejor sustento de información. Tal tesis, señala Crow, tiene su sustento en un estudio aparentemente impresionante de fuentes primarias.

Para Crow, el capítulo de Wegener "*Argumentos Paleontológicos y Biológicos*" propone hipótesis biogeográficas falsables, aunque éstas fueron ignoradas por los críticos inductivistas y permanentistas, principalmente Simpson. Adicional a lo anterior, Crow dice que Frankel ha adoptado un enfoque inductivista, semejante a la postura adoptada por Simpson para evitar la falsación de su zoogeografía. Además, Frankel no menciona que la crítica esencialmente inductivista de Simpson involucra supuestos *ad hoc* respecto a la dispersión. Incluso, es de notar que Simpson, cuyos puntos de vista eran muy diferentes a los de Leon Croizat, rehusó considerarlos dedicándose únicamente a desacreditarlos.

Crow señala, que comparando sólo una parte del capítulo seis de Wegener con trabajos biogeográficos recientes como los de Brundin (1966) y de Rosen (1978) se ve la amplia corroboración que dan éstos a las predicciones de Wegener.

Schmidt, en su trabajo *Animal Geography*, citado por Crow, comenta que el trabajo de Matthew se convirtió en una especie de "*Sagrada Escritura*" para sus discípulos del *American Museum of Natural History*.

Crow señala que el enfoque inductivista de Simpson se aprecia en los siguientes comentarios, que revelan de manera clara su creencia en que la ciencia avanza mediante la lenta acumulación de hechos más que por la producción de conjeturas audaces; eso que implica verificación y certeza de conocimiento, más que su falsabilidad. Crow cita a Simpson (1976) de su trabajo *The Compleat Paleontologist?* en donde expresa: "...toda la evidencia crucial a favor de la tectónica de placas se adquirió después del trabajo de Wegener. Du Toit y otros proponentes tempranos de la deriva continental. Fue esto y no la hipótesis y los argumentos de los pioneros lo que hizo plausible al principio la deriva continental y al final virtualmente incontrovertible".

Para Crow no es que Wegener haya sobrestimado la fortaleza de la solución permanentista al no considerar el punto de vista de Matthew, sino que Frankel ha fallado en adoptar una postura crítica ante la naturaleza de la crítica permanentista. De hecho ha aceptado la crítica permanentista como *sabiduría dada*.

### **5.3.3. LA RESPUESTA DE LOS DERIVISTAS**

No todo estaba oscuro para la solución de la deriva de Wegener a la DGD. Mucho apoyo provino del mismo Wegener y de Alexander du Toit y de los paleobiogeógrafos, especialmente de aquellos especializados en fitogeografía. Wegener ofreció el apoyo adicional a la DGD en las últimas ediciones de su obra.

En su último trabajo, Wegener tocó los aspectos fitogeográficos de la DGD uniéndolos con los paleoclimáticos. Debido a que las plantas están más sujetas a factores climáticos que los animales, éste trabajo tuvo más efecto en la comunidad paleofitogeográfica en comparación a la zoológica, donde no tuvo mucha repercusión.

Du Toit atribuyó más peso a la solución de la deriva que cualquier otro defensor de la teoría de Wegener. Sin embargo, su énfasis sobre la solución de la deriva a la DGD entró lentamente ya que él no atribuía mucha importancia a esto, hasta 1937, con la publicación de su obra *Our Wandering Continents*.

El apoyo por parte de los biogeógrafos a la solución de la deriva a la DGD se caracterizó por lo siguiente:

- 1) El mayor apoyo vino de los geógrafos vegetales. Entre los zoogeógrafos, parece que los especialistas en la Zoología de invertebrados apoyaban más la solución de la deriva continental a la DGD en comparación de sus contrapartes de la Zoología de los vertebrados. Ciertamente el caso de los ataques más fuertes contra la solución de la deriva vinieron de los paleontólogos de vertebrados y biogeógrafos.
- 2) Muchos de aquellos que ofrecían apoyo a la solución de la deriva lo hacían moderadamente con observaciones preventivas, en donde ellos mencionaban desaciertos con los datos, soluciones alternativas o la pesada objeción geofísica que la deriva tenía que encarar.
- 3) Muchos de los fitogeógrafos que apoyaban la solución de la deriva citaban la solución a la distribución de *Glossopteris* durante la última etapa del Paleozoico en la India y los continentes del hemisferio sur, la distribución general de la flora mayor durante el permo-carbonífero o la distribución de las plantas en el hemisferio sur como la razón mayor para favorecer la solución de la deriva.

El principal fitogeógrafo que optó por la solución de la deriva para la DGD fue el paleobotánico británico, Sir Albert Charles Seward. En su escrito magistral de 1929 dirigido a la sección de botánica de la *Asociación Británica para el Avance de la Ciencia*, Seward reafirmó su simpatía por la solución de la deriva pero admitió que existían serias objeciones a la hipótesis de Wegener, sin embargo, consideraba que tenía que ser probada y defendida.

Los extensos depósitos glaciares del permo-carbonífero habían sido descubiertos en todos los continentes del sur así como en la India y estos depósitos estaban asociados con aquellos de *Glossopteris*. Wegener y los otros proponentes de la deriva, pensaban que la solución de la deriva a esos depósitos glaciares, era una buena razón para aceptarla, resolviendo el problema al reunir los continentes del sur y la India alrededor del polo sur. Seward, como muchos paleobotánicos creía que las plantas son mucho mejores indicadores de la temperatura de los climas pasados, en comparación a muchos animales. Seward argumentaba que la localización de la flora en el permo-carbonífero requería climas completamente diferentes en comparación con los actuales, y utilizó esta tesis así como la distribución de *Glossopteris* como un apoyo a la deriva.

Seward, también tuvo influencia directa en el destino de la solución de la deriva a la DGD en algunos de sus estudiantes, como John Walton, Birbal Sahni y Ronal Good. Birbal Sahni quién más tarde se convirtió en el paleobotánico más respetado y el quinto hindú elegido para la *Royal Society*, defendió la solución de la deriva hasta su muerte, la cual ocurrió en 1949. A mediados de los treinta presentó un nuevo argumento a favor de la deriva basado en la proximidad de la flora de *Glossopteris* con la flora *Cathaysiana* (*Gangamopteris*) de la China. El argumentaba que la India debió haberse movido hacia el norte como lo sugirió Wegener y Du Toit.

El otro estudiante de Seward, que enérgicamente defendía el argumento fitogeográfico de la solución de la deriva a la DGD Ronald Good, por su parte comenzó apoyando la deriva a finales de los treinta con su trabajo *Geography of Flowering Plants* y continuó defendiéndola a lo largo de la aceptación de la tectónica de placas a finales de los sesenta en ediciones subsecuentes de su libro.

Tres paleobotánicos europeos que deben ser mencionados son A. Hoeg, W.J. Jongmans y E.V. Wulff. Hoeg no deseaba apoyar a la deriva pero estaba impresionado con su solución a la distribución de *Glossopteris*. Hoeg tuvo oportunidad de examinar algunos de los hallazgos aparentes de *Glossopteris* en Rusia en 1932 y argumentaba que dichos hallazgos no eran de *Glossopteris* y que habían sido incorrectamente identificados.

Un apoyo adicional, provino de dos paleobotánicos americanos. Uno de ellos, Douglas Campbell en 1944, de la Universidad de Stanford, sostenía que la teoría de la deriva continental era la única explicación plausible de la presente distribución de las plantas.

De acuerdo con Frankel, aunque el respaldo de la Zoogeografía no fue tan grande como el de la Fitogeografía, había algunos zoogeógrafos europeos que apoyaban a la teoría de la deriva continental, unos pocos eran británicos, pero difícilmente había algún americano que respaldara esa teoría. En general, era más probable que los europeos apoyaran la hipótesis de los puentes continentales, mientras que los americanos casi sin excepción favorecían la alternativa permanentista.

Existió un europeo que vehementemente apoyó la teoría sobre los terrenos de la zoogeografía que fue L. Joleaud, un eminente paleontólogo francés, que en un principio era un creyente de la teoría de los puentes continentales, y que cambio su postura para respaldar a la teoría de la deriva continental en los primeros años de los veinte y continuó defendiéndola hasta su último trabajo. Joleaud muy aparte de los postulados de Wegener y du Toit, desarrolló un movimiento de los continentes del tipo de un acordeón que permitía las aperturas y cierres del océano Atlántico. El apeló a la distribución de vertebrados e invertebrados para proporcionar su defensa de la solución de la deriva a la DGD.

La recepción de la deriva por parte de los científicos australianos y neozelandeses fue predominantemente negativa. Los proderivistas tales como S.W. Carey, Launcelot Harrison, Arthur Wade, J.W. Evans y W.D.L. Ride estaban en la minoría. Los mayores científicos australianos tales como Sir T.W. Edgeworth David, el decano de los científicos australianos durante el primer tercio del siglo XX, W.R. Browne, E.C. Andrews, W.H. Bryan, E.R. Hills, Alan H. Voisey y C. Teichert eran fijistas. Sin embargo, debe señalarse que mucho del trabajo respaldado por la *Australian National University* en los cincuenta y sesenta contribuyó enormemente a la evidencia paleomagnética para la deriva continental (Frankel, 1984).

Australianos y Neozelandeses comenzaron a respaldar la deriva poco después de que tuvieron conocimiento de los estudios paleomagnéticos concernientes al movimiento de Australia. Sin embargo, antes del surgimiento del paleomagnetismo la mayoría de los científicos australianos eran por mucho fijistas y quedaban incluso algunos fijistas a lo largo de los sesenta.



Entre los derivistas australianos, destaca S. Warren Carey. Carey era un hombre de energía desatada, un pensador altamente original y siempre manejando un punto de vista no popular. El era un derivista que se desvió hacia la hipótesis de la expansión de la Tierra antes de que la tectónica de placas viniera a regir y convertirse en la teoría reinante o en el paradigma dominante. Carey se convirtió en un derivista a mediados de los años treinta. Tradujo la obra *Tectónica de Asia* de Argand para su propio uso y defendió a la deriva continental. Aunque la hipótesis de la Expansión de la Tierra de Carey está en disputa, su técnica de enderezar oroclinas llevó a algunas predicciones que espantaron en un principio, pero que fueron confirmadas a través del paleomagnetismo.

La recepción general de la teoría de Wegener fue en su mayor parte racional. Hubo entonces una negativa racional de sectores de la comunidad geológica a las ideas derivistas. La teoría del desplazamiento no podría ser aceptada en su época y sólo hasta el reconocimiento de la expansión del piso oceánico y la tectónica de placas. Esto es, no existían evidencias que apoyaran suficientemente la teoría del desplazamiento continental. Sin embargo, en general, la teoría de la deriva, tuvo una recepción más bien hostil en Norteamérica, Australia y Nueva Zelanda, pero fue favorablemente recibida en Suráfrica y la India, mientras que esta recibió aceptación mixta en Europa y Suramérica (Frankel, 1984).

Considerando solo la recepción de la deriva en Australia, Nueva Zelanda, Suráfrica e India, y afirmando que esta fue favorable en Suráfrica y casi tan fuerte en la India, Frankel sugiere, que el factor más importante y que determinó las diferencias en la recepción de la deriva en una región dada, era la habilidad comparativa de la deriva y el fijismo por tratar con la geología de la región. Si la deriva podría resolver problemas regionales muy importantes de una mejor manera que el fijismo, ésta recibía una aceptación más favorable. Si ambas teorías podrían resolver el mismo número de problemas regionales de importancia, entonces los méritos relativos de cada solución y la importancia de los problemas respectivos se volvía significativo, aunque en tales casos la recepción era más balanceada. En otras palabras, que teoría era más favorablemente recibida dependía de la geología de la región. Por tanto, existe un fuerte elemento de provincialismo en las ciencias geológicas, al menos hasta antes del desarrollo de la tectónica de placas.

## 6. COMENTARIOS FINALES

Si Lakatos está correcto, un nuevo programa de investigación debe sustituir a uno establecido si y solo si, explica todo lo interpretado por los programas establecidos, predice hechos nuevos y algunos de los hechos nuevos son confirmados. Un hecho es, que DRIFT no sustituye al CON o al PERM hasta la mitad de los 60's. Así es que, si la metodología de Lakatos es aplicable al desarrollo de la teoría de la deriva continental, la versión del desplazamiento de Wegener—incluso cuando se combinó con la hipótesis de Holmes y du Toit—debería satisfacer todas las condiciones. Es entonces que la *metodología lakatosiana falla al satisfacer la última de las condiciones puesto que estrictamente hablando, las hipótesis auxiliares derivistas no predijeron hechos nuevos para ser corroborados* (Frankel, 1979).

Wegener ciertamente pensó que el desplazamiento explicaba más datos paleontológicos y geofísicos que cualquiera de los programas de investigación establecidos. Desde luego, la gran satisfacción del desplazamiento fue su gran habilidad de síntesis. Wegener recurrió a la información que provenía de la Geología, Geofísica, Paleontología y Paleoclimatología. Es así, que la teoría de Wegener llegó a explicar más datos que la versión del CON de Suess y la teoría original de Willis del PERM. Sin embargo, es dudoso que explicara todos los datos que explica la versión del CON de Chamberlin y Jeffreys, aunque ambas versiones del CON se apoyan en los datos geofísicos de sus programas. Sin embargo, el desplazamiento de Wegener predice hechos nuevos. El más obvio concierne a la deriva de los continentes. Puesto que Wegener mantuvo que el desplazamiento hacia el oeste de las Américas y Groenlandia todavía estaba sucediendo o que al menos no había razón teórica para suponer que se había detenido, sugería que debía intentarse medir el desplazamiento. Por supuesto, esto es sólo un tipo de comportamiento que deberíamos esperar con Lakatos. Así, la versión de Wegener sobre el desplazamiento satisfizo las primeras dos condiciones cuando se compara con la de Suess y Willis.

La cuestión es entonces, ¿cualquiera de los hechos predichos por el desplazamiento de Wegener se corroboraron? Si ninguno fue corroborado la metodología de Lakatos lo explica; si algunos fueron, su explicación falla. En retrospectiva sabemos que ninguno fue corroborado aunque Wegener pensó que al menos un hecho nuevo se había corroborado por el *Danish Institute*. En 1922 el Instituto reportó un desplazamiento observado de Groenlandia. Se compararon las mediciones geodésicas antiguas con sus propios registros. La diferencia indicaba un cambio hacia el oeste de Groenlandia, si bien el desplazamiento fue un poco rápido para satisfacer completamente a Wegener.

Sin embargo, la inferencia de Wegener fue una falacia. Esta medición no se estableció hasta 1936, y no fue totalmente reportada hasta 1944 por Longwell. Consecuentemente, parecería como si la geología debiera iniciar un cambio al desplazamiento. Pero no fue así porque cuestionaban con buena razón la inferencia de Wegener del estudio. El desplazamiento aparente de Groenlandia, lo comparó Wegener con los datos radiotelegrafados de 1927 con los primeros datos de 1922. El *Danish Institute* consideró la lectura de 1922 como no confiable y sólo la lectura de 1927 como la primera confiable. Entonces, el Instituto estableció un fuerte argumento al señalar que ellos realizaron la lectura del 27 pero no la lectura del 22. Desde luego, la correcta inferencia que se ha hecho considera que una u otra medición son pieza importante de que Groenlandia se ha desplazado.

El CON y el PERM tenían en estos términos, una buena razón para no interesarse en corroborar el hecho nuevo de Wegener, a partir de que la observación del 22 no era segura. El desarrollo de la teoría del desplazamiento es, sin embargo, consistente con la visión de Lakatos porque predecía un hecho nuevo, el desplazamiento de Groenlandia.

Ante esta actitud del CON y PERM, los miembros de esos programas de investigación parecen comportarse como falsacionistas ingenuos. Estoy de acuerdo en que existían circunstancias de carácter técnico que dificultaban una estimación precisa del desplazamiento y que por tal razón los integrantes de esos programas consideraron que el desplazamiento continental no había podido ser corroborado. Sin embargo y de acuerdo con Lakatos (1983), en el caso del falsacionismo sofisticado a diferencia del ingenuo, ningún experimento, informe experimental, enunciado observacional o hipótesis falsadora de bajo nivel corroborada puede originar por sí mismo la falsación. Para Lakatos los experimentos cruciales no existen, al menos si nos referimos a experimentos que puedan destruir instantáneamente a un programa de investigación.

Otra cuestión importante a debatir es sobre el núcleo duro propuesto por Frankel (1979). El núcleo duro propuesto por Frankel es: Los continentes se han desplazado solos horizontalmente respecto de cada uno. Ciertamente los continentes ahora separados por vastos océanos, estuvieron una vez juntos.

Frankel no señala como llega a conformar su núcleo duro, aunque la metodología de Lakatos no lo exige, sin embargo, debió proporcionar una guía de porque eligió establecerlo de esta forma. En sus términos el núcleo duro propuesto es excluyente, porque asume que además del desplazamiento de los continentes, estos debieron haber estado unidos en un tiempo pasado. Por ejemplo, Taylor no utiliza propiamente el concepto de una unión anterior de los continentes y por tanto es excluido. Además, el contexto histórico anterior al desarrollo del programa de investigación derivista no es analizado ni considerado por Frankel. A Taylor nunca lo menciona en sus escritos. Sólo se refiere a la historia posterior del programa derivista. Para Lakatos (1983) algunos de los programas de investigación más importantes de la historia de la ciencia estaban injertados en programas más antiguos con relación a los cuales eran claramente inconsistentes, por ejemplo, la astronomía copernicana estaba injertada en la física aristotélica.

Tanto Wegener como Taylor consideraban el desplazamiento horizontal de los continentes y considero que esta es una expresión más correcta del núcleo duro del programa de investigación derivista. Pienso que Frankel debió tomar en cuenta las ideas de Snider y Taylor como evidencias a favor del desplazamiento continental y con base en ello definir su núcleo duro. Al considerar sólo a Wegener para definirlo excluye a los demás.

Para Lakatos (1983) la ciencia madura consiste de programas de investigación que anticipan no sólo hechos nuevos sino también y en un sentido importante, teorías auxiliares nuevas: la ciencia madura, al contrario del ensayo y error, tiene poder heurístico.

La heurística positiva del programa de investigación derivista, se establece a partir de las líneas de desarrollo aportadas por las hipótesis auxiliares que Wegener proporciona a la teoría del desplazamiento, como son las evidencias geodésicas, geofísicas, geológicas, biogeográficas y paleoclimáticas. Estas hipótesis auxiliares circundan al núcleo duro que es el desplazamiento horizontal de los continentes, estableciéndose así un cinturón protector. Otras hipótesis auxiliares desarrolladas en el curso del desarrollo del programa son las de Holmes y du Toit. El desarrollo de la teoría de la deriva continental conllevó a la elaboración de hipótesis auxiliares, como la de Holmes sobre el mecanismo del desplazamiento con su teoría sobre las corrientes de convección y la de du Toit sobre las similitudes geológicas entre Sudamérica y África del sur, así como su idea de la existencia de dos supercontinentes, Laurasia y Gondwana y no una única Pangaea.

¿Es posible establecer si el programa de investigación derivista wegeneriano es un programa de investigación progresivo?. Si consideramos la época en que el programa de investigación derivista

fué propuesto en contraposición con los otros programas de investigación como el CON y el PERM y con base en la información disponible, no sería posible establecer si el programa de investigación derivista era un programa progresivo con respecto a los otros programas rivales.

La competencia fue por proporcionar una explicación sobre la configuración de la Tierra, la formación de cadenas montañosas y la distribución anómala de los organismos. En ese sentido, considero que los tres programas a los que hacemos referencia explicaban bien de una u otra forma por ejemplo la formación de montañas. Sin embargo y como hemos visto a lo largo de este trabajo los dos programas más sólidos eran el permanentista y el derivista. El contraccionista asociado a los pautecontinentalistas tenía tantos problemas que hubo de ser relegado. Ahora y en particular sobre *la explicación de la distribución geográfica anómala de algunos grupos organismos, considero que el programa derivista proporcionaba información sólida para explicar esas distribuciones.* Tal vez en esa época era difícil evaluar adecuadamente esas evidencias y fueron consideradas por sectores de la comunidad como insuficientes. Pero si visualizamos las hipótesis biogeográficas de Wegener a la luz del conocimiento actual, debemos admitir que existían evidencias ciertas en la teoría del desplazamiento. Tal vez no es lo más adecuado hacer este juicio al paso del tiempo, sino que lo válido era juzgar el programa derivista en su momento y en ese sentido no era un programa progresivo con respecto a los programas rivales.

La recepción de la teoría de la deriva continental de Alfred Wegener por parte de la comunidad científica fue heterogénea. Fue muy discutida, independientemente de si se estaba de acuerdo o no con ella en Alemania, Francia, Italia, Bélgica, Suiza, Holanda, Austria, España, India, Suráfrica, Australia, Nueva Zelanda, Inglaterra y Estados Unidos.

Hubo sectores específicos de la comunidad geológica a los cuales no les satisfizo la argumentación Wegeneriana. En unos casos como en Inglaterra y los Estados Unidos llegó a ser hostil. En España fue amable. Sin embargo, considero que la oposición de ciertos sectores de la *comunidad geológica no fue en todo momento racional, como se ha expuesto en este trabajo.* Un ejemplo de ello puede ser el simposio de Nueva York. En él se llevó a cabo una discusión seria y llegaron a una conclusión no totalmente descalificadora sobre la teoría de la deriva continental. Algunos textos consultados refieren que de un total de 14 participantes, cinco eran partidarios, otros cuatro opinaron que el enfoque de la deriva valía la pena discutirse, otros cinco externaron opiniones negativas y tres de ellas fueron francamente hostiles. De hecho la opinión adversa y considerada como mayoritaria fue la que *prevalció y ello contribuyó, entre otras cuestiones, a que la comunidad geológica no aceptará la teoría de la deriva continental y entonces permaneciera como un programa olvidado hasta la posguerra.* Por tanto, creo que este tipo de posturas para desechar una teoría no parece del todo racional. Además no creo que el concepto de democracia funcione como criterio de falsación en la ciencia.

La tesis del provincialismo podría ser una explicación adecuada sobre las diferencias de opinión existentes con relación a la teoría del desplazamiento continental. El provincialismo en geología existe por muchas razones. Entre ellas están que los datos de la geología están literalmente ligados a la investigación de campo. Los geólogos, en su mayor parte, deben ir al campo para examinar los datos, más que hacer experimentos en el laboratorio. Por supuesto existen fósiles y rocas colectadas, así como mapas, fotografías. Sin embargo, el trabajo taxonómico para la revisión de los ejemplares es *detallado y difícil sin examinar y comparar especímenes actuales.* Otra cuestión es que los geólogos tienen una desconfianza saludable de los reportes de campo de otros geólogos. Debido a que mucha de la evidencia clásica para la deriva continental requería establecer semejanzas geográficas, geológicas y paleontológicas entre diferentes regiones, esta actividad provincial tuvo un efecto negativo sobre la deriva continental. Debido a este provincialismo, mucho geólogos no trataban aún con problemas globales (Frankel, 1984).

Este provincialismo dañó a la evidencia clásica sobre el desplazamiento continental, pero tuvo poco efecto sobre la aceptación de la teoría de la expansión del fondo oceánico y de la tectónica de placas. La evidencia clásica dependió principalmente de la geología continental donde el provincialismo era un factor significativo, mientras que la evidencia moderna para la deriva continental dependió principalmente de los avances en el paleomagnetismo y de la geología submarina donde el provincialismo tuvo poco efecto.

El estatus relativo del desplazamiento fue cuesta abajo durante los 40's. Como sea, el desplazamiento hizo un descubrimiento sustancial durante la mitad de los 50's a través de los estudios del magnetismo remanente, aunque no sustituye a los programas establecidos. Los estudios trajeron nuevos seguidores y provocó interés. El primer simposio de la posguerra sobre el desplazamiento, se realizó en la Universidad de Tasmania en 1956 y se inspiró particularmente en los estudios sobre magnetismo, y varios libros publicados sobre el problema de la deriva polar contra el desplazamiento continental. Pienso que esta respuesta tentativa al desplazamiento por la comunidad geológica es precisamente lo que deberíamos esperar de Lakatos. Como no había una victoria clara por el desplazamiento, no había corroboración decisiva de Wegener al debate concerniente a la forma de la posición de los continentes. Los grupos de Blackett y Runcorn primero pensaron que había algo claro, una corroboración cuantitativa sobre la idea del desplazamiento. La India había migrado hacia el norte, colisionando con Asia; Norte y Suramérica se separaron de Europa y África, abriendo el Océano Atlántico por la época del Eoceno. Desde luego, Runcorn cambió porque él había corroborado la apertura del Atlántico. Pero Runcorn se desanimó, pues sus estudios se abrieron a otra interpretación. La deriva polar puede igualmente explicarse por sus conclusiones, y la deriva polar fue más aceptable por los miembros de los programas establecidos. No se requiere desplazamiento horizontal de la corteza relativo a la corteza o de la litosfera relativo a la litosfera, solo de la corteza con respecto al manto o de la litosfera con respecto a la astenosfera (Frankel, 1979).

Debe reconocerse que tiempo después, el desarrollo de la investigación paleomagnética, el reconocimiento de la expansión del fondo oceánico de Hess junto con Vine-Matthews-Wilson y la teoría de la tectónica de placas expuesta en *Nature* en 1967 por D.P. Mackenzie y R.L. Parker, conllevó a que el núcleo duro del programa derivista cambiara. Ahora no son los continentes los que se desplazan horizontalmente, sino son las placas tectónicas las que derivan sobre el manto terrestre. Así, el programa de investigación derivista debe cambiar de núcleo duro. Lakatos (1983) establece que el núcleo duro de un programa puede ser abandonado cuando tal programa deja de anticipar hechos nuevos; esto es, el núcleo duro puede derrumbarse en ciertas condiciones.

La hipótesis del desplazamiento continental fue reconsiderada dando lugar al desarrollo teórico de la expansión del fondo oceánico y su conclusión la teoría de la tectónica de placas. Debemos señalar que la idea del desplazamiento continental era la cuestión válida. Sin embargo, la teoría de la tectónica de placas no implica desplazamiento de los continentes sino de las placas y esta es una diferencia importante con respecto a la teoría original de Wegener.

La teoría de la deriva continental en su aspecto estructural es más compatible con la perspectiva de Lakatos o Laudan que con la sugerencia de Kuhn de un paradigma monopolístico durante el periodo de ciencia normal. Si bien Kuhn puede argumentar que las geociencias estuvieron en una etapa revolucionaria en competencia con los paradigmas de su tiempo, este estado existió por cincuenta años e incluyó un significativo progreso científico para cualquier definición. Laudan enfatiza tanto en los problemas empíricos y conceptuales que parece más apropiado que el énfasis de Lakatos en las soluciones empíricas, puesto que muchos de los opositores subrayan la incompatibilidad conceptual entre la deriva, un manto rígido y la expansión del piso oceánico. No se ve la tolerancia que Lakatos

sugiere para extenderse hacia nuevos programas de investigación, por lo menos no entre los norteamericanos (Stewart, 1990).

Para Kitts (1974), la teoría de Kuhn iluminó la última década en la historia de la Geología, sin embargo, la aceptación de la teoría del desplazamiento continental y de las placas tectónicas, aún teniendo muchos de los aspectos de un cambio revolucionario, bien podrían ser consideradas como un paso en un movimiento revolucionario lejano del punto cíclico de la historia de la Tierra que comenzó por lo menos desde mediados del siglo XIX.

De acuerdo con Greene (1985), existe también un factor político y sociológico como explicación adicional a la respuesta contra la teoría de la deriva continental: la desintegración del imperio Austro-Húngaro. Este imperio fue el centro de origen de los grandes paleontólogos y paleogeógrafos de la última centuria, una fortaleza de la paleontología no darwiniana. Este centro se colapsó con la desintegración política que implicó una extensa migración, reubicación de los investigadores, pérdida de una red de revistas, profesorado, patrocinio y parte de la tradición de investigación. También implicó la disolución de la mayor comunidad de investigación tanto como la mayor audiencia de paleogeógrafos que habían mapeado de forma extensa los continentes para la Geología y la Biogeografía.

Mucha de la oposición a la teoría de Wegener de la deriva continental vino de los escritores británicos y norteamericanos quienes no fueron sólo hostiles a su hipótesis, sino a la tradición paleogeográfica de la que Wegener dependía. La revisión de las citas de Wegener en sus escritos sobre la deriva continental muestran su abrumadora dependencia de los trabajos paleogeográficos de esta tradición europea, en su momento asociada con una difunta geotectónica, la teoría de la contracción.

Por lo anterior, considero que la comprensión y explicación sobre el desarrollo histórico de la teoría de la deriva continental de Alfred Wegener, implica una serie de factores tal y como se han desarrollado a lo largo de este trabajo, que conllevan a pensar que no es posible asumir como única interpretación posible a la metodología de los programas de investigación de Lakatos. Desde luego una nueva luz interpretativa sobre la teoría de la deriva continental, de la expansión del fondo oceánico y sobre la tectónica de placas debe surgir a partir de la sociología del conocimiento.

## NOTAS

<sup>1</sup> El primero en exponerla y desarrollarla plenamente fue W. Lothian Green. En esencia, su teoría es la siguiente: al contraerse, el globo esférico de la Tierra tiende a deformarse, adoptando una forma tetraédrica. Esto no quiere decir, que la Tierra tenga forma de tetraedro, sino que al contraerse, tiende ligeramente a deformarse según una forma tetraédrica. Los experimentos realizados desinflando globos hechos de metal muy fino demuestran que tienden a adoptar una configuración tetraédrica. Aunque la verdadera distribución geográfica de los continentes y los océanos se muestra sorprendentemente de acuerdo con los postulados de esta teoría, casi todos los geólogos actuales la rechazan. De aceptarla, ello querría decir que la Tierra se ha estado contrayendo desde los más antiguos tiempos geológicos, postulado que resulta dudoso, desde el descubrimiento de la radioactividad. Entre otras críticas que se le han hecho, figura la de que la velocidad de rotación de la Tierra sin duda sería suficiente para contrarrestar la tendencia a la contracción tetraédrica. La teoría tetraédrica implica la permanencia de continentes y océanos; en cambio, la teoría de la deriva de los continentes de Wegener, parece dar a entender una situación completamente opuesta: que los continentes y los océanos pueden haber cambiado de sitio en el transcurso de la historia geológica (Tyrrell, 1972).

<sup>2</sup> Las negritas son mías

<sup>3</sup> En el Timeo o de la Naturaleza de Platón, existe un relato de Critias, ante Sócrates, Timeo y Hermócrates que dice: «Nuestros libros nos refieren como destruyó Atenas una formidable escuadra, que procedente del Atlántico invadía insolentemente los mares de Europa y Asia conquistando territorios. Porque entonces se podía atravesar aquel océano; en efecto, frente al estrecho que vosotros en vuestro lenguaje denomináis las columnas de Hércules existía una isla. Esta isla era mayor que la Libia y el Asia reunidas; los navegantes pasaban de esta isla a otras y de éstas al continente que tiene sus orillas en aquel mar verdaderamente digno de su nombre...En esta isla Atlántida sus reyes habían llegado a construir un grande y poderoso Estado que dominaba toda la isla entera en muchas otras y hasta en diversas partes del continente...Mas en los tiempos sucesivos, ocurrieron intensos terremotos e inundaciones, y en un solo día, en una noche fatal, todos los guerreros que había en vuestro país fueron tragados por la tierra que se abrió, y la isla Atlántida desapareció entre las olas; este es el motivo de que todavía hoy día no pueda recorrerse sin explorarse este mar, porque la navegación encuentra un obstáculo invencible en la cantidad de limo que la isla depositó al sumergirse. Este es, en pocas palabras, el relato del anciano Critias, que lo había oído de Solón».

<sup>4</sup> En este trabajo se considerarán como ideas derivistas todas aquellas que establezcan unión de los continentes en uno solo y desde luego las que hagan referencia a desplazamientos horizontales de los continentes.

<sup>5</sup> El método uniformitarista no fue, de hecho, empleado originariamente por Hutton, sin embargo, Hutton sí contribuyó al desarrollo de una teoría comprensiva de la geología uniformitarista (Shea, 1982).

<sup>6</sup> Hutton no afirmaba la eternidad de la Tierra ni aseguraba que no se pueda decir nada sobre su origen. La mayoría de geólogos previas habían considerado una Tierra de corta duración, que se movía en una dirección única e irreversible. Hutton decía "*no encontramos vestigio de un origen*" porque la Tierra ha pasado por tantos ciclos desde entonces que todas las trazas de un estado original se han desvanecido. Pero la Tierra tuvo un estado original. La otra idea que se continua de Hutton "*ni perspectiva de un final*", nos dice que las leyes actuales de la naturaleza no permiten discernir una

terminación que debe ocurrir con toda seguridad. Hutton no consideraba que nuestra incapacidad para especificar principios y finales fuera una malsana limitación de la ciencia, sino como una poderosa afirmación de la adecuada metodología científica; dejemos que la teoría trate de los orígenes últimos y dejemos que la ciencia sea el arte de lo soluble empíricamente (Gould, 1991).

Los profesores que impartían las ciencias geológicas y mineralógicas en las Universidades de Oxford y Cambridge, Buckland y Sedgwick eran clérigos anglicanos e intentaban armonizar el relato bíblico del diluvio con sus conocimientos geológicos. Una consecuencia de la explicación catastrofista de las inundaciones súbitas y repetidas fue que la más reciente, cuyas señales eran restos de grandes animales en las cumbres de las cordilleras más altas, se identificara con el diluvio bíblico. Los geólogos bíblicos utilizaron al diluvio como principal argumento que corroboraba la armonía que postulaban entre los datos de las ciencias naturales y la doctrina bíblica. El representante más destacado de esta tendencia fue sin duda Buckland. Adam Sedgwick mostraba su total acuerdo y señalaba que tanto los libros sagrados como las observaciones geológicas confirmaban la presencia del diluvio (Pelayo, 1991).

\* Las negritas son mías

° Las negritas son mías

<sup>10</sup> Frank Bursley Taylor (1860-1938), fue hijo único de Fanny Wriqth y Robert Stewart Taylor. Su padre, juez y político republicano, se hizo rico a través de su práctica en leyes de patentes, pues se especializaba en la nueva industria eléctrica y del teléfono. Taylor fue el prototipo de un geólogo americano «normal» en los principios del siglo XX. Se graduó del Fort Wayne High School en 1881 y entró a Harvard en 1882, donde tomó cursos de Geología y Astronomía. El padre de Taylor pagó a su hijo el trabajo de campo y sus publicaciones hasta mayo de 1900, cuando Frank obtuvo su primer trabajo como asistente de Alfred C. Lane en el Michigan Geological Survey. Se hizo asistente en la división glacial de la U.S. Geological Survey desde junio de 1900 a 1916, primero bajo la dirección de Thomas Chrowder Chamberlin y después de Frank Leverett. Su designación de campo fue en Nueva Inglaterra en el área de los Grandes Lagos. En 1908, 1909 y 1911 mapeó las morrenas del sur de Ontario para la Canadian Geological Survey. La American Association for the Advancement of Science premió a Taylor por su investigación en 1920 y 1921 de las morrenas de Nueva York. Fue un activo miembro de la Geological Society of America, la Michigan Academy of Sciences y la AAAS (Aldrich, 1976). No obstante su pobre salud, produjo unos noventa artículos y muchos de ellos se editaron bajo los auspicios de la Geological Survey. Con la excepción de los artículos sobre deriva continental y astronomía, casi todos trataron problemas sobre la geología de las morrenas del Pleistoceno y los lagos glaciares (Laudan, R., 1985).

<sup>11</sup> René Descartes fue el primero que propuso, en 1644, el concepto de una nebulosa solar primitiva: un disco de gas y polvo girando del que surgieron planetas y satélites. Un siglo después, en 1745, Buffon lanzó otra teoría: un cuerpo masivo (él sugirió un cometa) se acercó tanto al Sol que le arrancó el material que forma planetas y satélites. En los dos siglos posteriores a Buffon, las muchas teorías propuestas seguían la tradición de la visión monista de Descartes o la dualista de Buffon, oscilando la aceptación entre una y otra. Las teorías monistas primitivas más significativas fueron las de Immanuel Kant (1724-1804) y Pierre Simon de Laplace (1749-1827), que elaboraron la teoría original de Descartes explicando cómo la nube de polvo y gas, contrayéndose para formar el Sol, giraría cada vez más de prisa, por tener que conservar su momento angular. Laplace sugirió que se desgajarían una serie de anillos de polvo y gas a partir de los que se formarían planetas y satélites. A fines del siglo XIX, la insatisfacción ante la incapacidad de la teoría nebular para explicar la acumulación de materia en los planetas devolvió la preferencia a las teorías dualistas. Actualmente han quedado abandonadas (Cameron, 1977).



<sup>12</sup> La teoría tradicional de una Tierra rígida sostiene que ésta, en un principio caliente, está ahora enfriándose llegando a ser rígida en una época temprana y que la contracción resultante del proceso de enfriamiento crea fuerzas de compresión que, a intervalos, hacen surgir montañas a lo largo de los débiles márgenes continentales o en las profundas cuencas rellenas de sedimentos. Este punto de vista, sugerido por vez primera por Isaac Newton (1642-1727), fue establecido cuantitativamente durante el siglo XIX para ajustarse a las ideas que entonces prevalecían. Se encontró que una Tierra inicialmente caliente y fundida se enfriaría hasta su temperatura actual en unos 100 millones de años y al hacer esto su circunferencia se contraería en decenas o centenas de kilómetros (Wilson, 1963).

<sup>13</sup> En su libro, Wegener se refirió a "*die Verschiebung der Kontinente*" que fue correctamente traducido a la edición en inglés de 1924 como «*desplazamiento continental*». El término "*deriva continental*" fue acuñado después (Bullen, 1976).

<sup>14</sup> Pangaea, o Pangaea, viene de origen griego que significa "toda la Tierra" o "todas las tierras". Gaea fue la diosa que dio su nombre a la geología, geoquímica, geofísica, y también a la geomorfología, la ciencia de las formas terrestres. El término tierra pertenece a Gaea dondequiera que ocurra, en la Tierra, la Luna, o los otros planetas, no obstante, el uso reciente decrece para el empleo de tal término como en geología lunar o marciana (Marvin, 1974).

<sup>15</sup> Si la Antártida, Australia, América del Norte y fragmentos de América del Sur estuvieron reunidas en un supercontinente, llamado Rodinia, entonces tendrían que haber existido inmensos océanos en alguna parte. Este supercontinente Rodinia se formó en el Neoproterozoico, hace 750 millones de años y representaría una Pangaea anterior a la de Wegener, formada en el Pérmico temprano hace 260 millones de años (Dalziel, 1995).

<sup>16</sup> Es a Arthur Holmes, a quién se debe en gran medida el establecimiento de una escala absoluta de tiempo geológico y el desarrollo actual de la geocronología a partir de la datación radiométrica. Holmes trabajó comparando las cantidades de Uranio y Torio contenidas en ciertas rocas con las cantidades de plomo que dichos cuerpos habían producido, obteniendo una estimación de 1,600 millones de años para la edad de la Tierra. Más tarde, se mejoraron los métodos radiométricos y Holmes propuso una escala de tiempo absoluto en que la Tierra tenía una edad de 4,500 millones de años (Hallam, 1988).

<sup>17</sup> En su primera publicación de *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (1912), Alfred Wegener anticipó ideas sobre la expansión del fondo oceánico (Jacoby, 1981).

<sup>18</sup> Jurásico inferior (Whitten y Brooks, 1986).

<sup>19</sup> Nombre del piso estratigráfico de la base del Cretácico inferior Británico (*Ibid.*, p. 193 ).

<sup>20</sup> Período de orogenia que en el noroeste de Europa, parece que se extendió desde el Ordovícico medio hasta el Devónico medio. Durante este período, el Paleozoico geosinclinal inferior se plegó, metamorfizó e inyectó de granitos. El trazado dominante NE-SW (dirección Caledoniana) se desarrolló en Escocia, Irlanda del Norte, el distrito del Lago y Gales (*Ibid.*, p. 40 ).

<sup>21</sup> Zona estratigráfica más joven del Precámbrico Canadiense (*Ibid.*, p. 15)

<sup>22</sup> Impresionante es la distribución de los lemúridos, que se encuentran hoy en la India, Ceilán, sureste de Asia y al otro lado del océano Índico, en Madagascar y en algunos puntos de África. El imaginario

punteo intercontinental que pudo existir a través del Indico, entre la India y Madagascar, se ha llamado Lemuria, por la presencia de estos animales que proporcionarían la mejor prueba de la existencia anterior de tal puente (Takeuchi *et al.*, 1986).

<sup>22</sup>Wegener señalaba que una especie de lombriz de tierra en los jardines de los suelos de Eurasia y el este de Norteamérica, dice el Dr. J.W. Gregory, representaba la misma función en la India, Australia, y el oeste de Norteamérica. Gregory concluye que todas esas anomalías demuestran la necesidad de un continente Pacífica Paleozoico o, al menos, un sustancial puente de tierra trans-pacífico. Sin embargo, tal continente puede contradecir la hipótesis de Wegener porque puede demostrar la actualidad de lo profundo de la subsidencia vertical e implicar que el Pacífico ha crecido ampliamente, no mucho, desde el Carbonífero (Marvin, 1974).

<sup>23</sup>La noción de un continente llamado Pacífica, se refiere a una masa continental que se fragmentó a fines del Pérmico en las placas de Kula, Farallón, Pacífica y Phocnix. La sugerencia del continente Pacífica precede a la teoría de la deriva continental de Wegener (1915) pero fue abandonada por Gregory (1925). La masa que se denomina Pacífica, se basa en la geología histórica del Pacífico, la cual ha formado parte del supercontinente Pangea adyacente a Australia y la Antártida. La ruptura de este continente y la deriva de los fragmentos resultaron en la colisión con Suramérica, Norteamérica, Alaska, Kamchatka, Japón y el este de Asia. Los detalles de la ruptura y colisión de Pacífica no se han resuelto, pero se sugiere que la segregación de Pacífica fue de manera similar a la ruptura de África. La conexión de tierra trans-pacífica pudo haber existido y jugado un papel importante en la determinación de la distribución de las floras y faunas alrededor de la base del Pacífico. Esto puede ayudar a resolver algunos aspectos del gran debate entre los biogeógrafos concerniente no solo a la base del Pacífico, pero también al dominio de la vicarianza o dispersión en la evolución en general (Nur y Ben-Avraham, 1981).

<sup>24</sup>Los investigadores están cada vez más convencidos de que Pangea no fue el primer supercontinente. A principios de los años setenta, J. Tuzo Wilson, señaló que los fenómenos térmicos del interior de la Tierra podrían ser la causa de la dispersión y posterior reunificación de un continente, mediante la periódica apertura y cierre de los océanos. Tiempo después, R. Damian Nance desarrolló, junto con Thomas R. Worsley y Judith B. Moody, de la Universidad de Ohio, el planteamiento de Wilson, proponiendo la existencia de un ciclo supercontinental con un período de unos 500 millones de años (Murphy y Nance, 1992).

<sup>25</sup>Imre Lakatos (1922-1974) nació en Hungría, con el apellido de Lipsitz, eligiendo el apellido Lakatos (Candado) durante el régimen nazi. En Hungría estudió Física y Astronomía. Participó en la resistencia y en el Partido Comunista después de 1945. Fue estudiante-investigador a las órdenes de Georg Lukács y en 1947 fue nombrado secretario del Ministerio de Educación, con la responsabilidad por la reforma democrática de la Educación Superior. Durante las purgas estalinistas fue a prisión, donde permaneció durante casi cuatro años, de 1950-1953, estando incluso un año más en confinamiento solitario. Entre 1954 y 1956 trabajó como traductor con el matemático A. Renyi, y fue muy influido por la obra de G. Polya. Huyó de su país en 1956 hacia Inglaterra, donde vivió el resto de su vida. Obtuvo su segundo Doctorado en Filosofía de la Ciencia por la Universidad de Cambridge. Fue discípulo de Karl Popper (1902-1994) y su sucesor, al retirarse éste de su cátedra de Lógica y Método Científico. Desde 1969 hasta su muerte fue profesor de Lógica en *The London School of Economics* (Hacking, 1985; Pérez Tamayo, 1990). Imre Lakatos era una persona fascinante, un pensador sobresaliente y el mejor filósofo de las ciencias de nuestro extraño e incómodo siglo. Era un racionalista, por pensar que el hombre tenía la obligación de utilizar la razón en sus asuntos privados al igual que en cualquier cuestión que tenga relación entre él mismo, la naturaleza y su prójimo. El era un optimista al pensar que la razón era capaz de resolver la mayoría de los problemas que surgieran. El tenía ideas

realistas acerca de esta capacidad de razonamiento por enfatizar que no siempre se puede expresar por reglas y que una simple comparación de ideas abstractas debería de ser guiada por principios generales de su más profunda naturaleza: si la razón debe tener un punto de ataque en este mundo con sus complicados episodios y sus espeluznantes ideas e instituciones, entonces debe ser ambas cosas, astuta y sofisticada (Feyerabend, 1975).

<sup>27</sup> Eduard Suess (1831-1914) originario de Londres, vivió después la mayor parte en Viena, donde él comenzó su carrera científica como paleontólogo. En 1857 fue nombrado profesor de Paleontología por la Universidad de Viena y luego como profesor de Geología. Publicó en 1875 un trabajo sobre el origen de los Alpes *Die Entstehung der Alpen (La Formación de los Alpes)*. Fue un incontrovertible maestro en su campo, pero fue activo en muchos otros. Se convirtió en miembro del concejo municipal de Viena y después diputado a la asamblea, donde su hábil oratoria de ala izquierda lo hizo un formidable adversario. En 1878 Suess comenzó la preparación de un gigantesco trabajo *Das Antlitz der Erde, (La Faz de la Tierra)*. El primer volumen apareció en 1883. La empresa fue de tal magnitud que se tomó 26 años de la vida del autor; la parte dos de la tercera y final de su volumen fue publicada en 1909. (Gohau, 1990).

<sup>28</sup> El ingeniero de minas Léonce Elie de Beaumont (1798-1874), sucesor de Cuvier en la cátedra de Historia Natural del Collège de France, postuló una teoría orogénica que ejercería una considerable influencia en la Geología de mediados del siglo XIX. Sintetizando las concepciones catastrofistas de Georges Cuvier (1769-1832) y las de Leopold von Buch (1774-1853) sobre los sistemas de montañas, Elie de Beaumont sugirió que las «revoluciones» violentas postuladas por el catastrofismo eran el resultado de levantamientos sucesivos de montañas (Pelayo, 1991)

<sup>29</sup> Con relación a la hipótesis de la contracción, William Thomson (1824-1907), más tarde Lord Kelvin, en una célebre publicación supuso que la Tierra se había enfriado a partir de un estado fundido, en parte debido a que indudablemente la Tierra está perdiendo calor, y en parte porque había que explicar la actividad de los volcanes. Sin embargo, ahora se sabe que el hecho de que la Tierra esté perdiendo calor no implica que necesariamente se esté enfriando. El tratamiento de Kelvin a su concepción sobre un modelo de Tierra en proceso de enfriamiento, proporcionó una base física para la hipótesis de Elie de Beaumont de una Tierra en contracción, ideada en 1829, para explicar así el plegamiento y cabalgamiento de las rocas en las cordilleras plegadas. En su formulación, respetada en su época, la hipótesis de la contracción suponía que la Tierra se estaba contrayendo porque se creía que se estaba enfriando debido a su pérdida de calor (Holmes y Holmes, 1987).

<sup>30</sup> J. Tuzo Wilson, como la mayoría de los geólogos, creía que la teoría de la contracción se veía más prometedor que la teoría de la convección para explicar la posición actual de los continentes. En principio esa hipótesis le pareció correcta. Pensaba que mientras la Tierra se enfriaba, la superficie externa se solidificaba y después se fracturaba. Los continentes gradualmente se fueron expandiendo a través del tiempo geológico hasta que alcanzaron sus dimensiones actuales. Sin embargo, para 1963 Wilson puso su atención al movimiento de los continentes por corrientes de convección. Al encontrarse satisfecho de que la convección del manto era teóricamente posible, señaló que había evidencia de que los continentes se habían movido, particularmente con los datos paleomagnéticos y la existencia de grandes fallas con desplazamiento horizontal. Entre 1959 y 1965 Wilson escribió ensayos basándose en tres programas geológicos de investigación, la teoría de la contracción, la de expansión y la de las corrientes de convección. Wilson cambió sus puntos de vista a partir del método de hipótesis múltiples en función (Laudan, R., 1980).

<sup>31</sup> La primera idea de un «puente» transatlántico, que reuniera Africa con América del Sur, parece que se debe a un francés que se hizo ciudadano americano, Jules Marcou, que, en sus *Cartas sobre las*

*rocas de Jura* (1880), da el primer mapa paleogeográfico del mundo. La idea fue tomada por Neumayr, quien adoptando al continente brasilio-etíopico, creó la *Lemuria*, que agrupaba Madagascar y la India peninsular. Entre 1855 y 1909, Eduard Suess completa estos estudios, invoca nuevos puentes, e inventa el Gondwana, este inmenso continente que agrupa América del Sur, África, Madagascar, India peninsular y Australia. La teoría de los «puentes», cómoda e incluso necesaria, no puede ser aceptada sin multitud de controles. Los biólogos han abusado de ella hasta tal extremo, que necesitarían tantas relaciones terrestres que ya no se atreven a representarlas, pues no habría lugar para las emigraciones de las faunas marinas (Furon, 1969).

<sup>12</sup> *Mesosaurus* es un pequeño reptil acuático de edad pérmica. Es el único género representante de un orden de reptiles, los Mesosauria. Estos se encontraban sólo en dos áreas del mundo, África del sur y Suramérica. Por tanto, Wegener y du Toit argumentaban que *Mesosaurus* constituía una fuerte evidencia de la unión de los dos continentes ahora separados por el Atlántico sur. Pero han habido preguntas sobre *Mesosaurus* que ahora se resuelven sobre la base de otros fósiles de reptiles. El problema es que *Mesosaurus* fue principalmente un reptil acuático, que nadaba rápido y libremente en el agua en la búsqueda de peces, una conclusión indicada por la naturaleza del esqueleto de este pequeño fósil. Su esqueleto es alargado y flexible, existiendo del orden de un pie y medio de largo. La cola es flexible y obviamente fue un órgano eficiente para el nado, mientras las extremidades están modificadas como largos remos. Pudo *Mesosaurus* haber nadado de un continente a otro?. Probablemente no, sin embargo el testimonio de los sedimentos en que este pequeño reptil se preservó indica que fue un animal de agua dulce o agua salada. Desde luego entonces la posibilidad permanece. La nueva evidencia de uniones continentales proviene del Triásico. Entre los animales que constituyen la nueva evidencia es *Lystrosaurus*. La fauna *Lystrosaurus* se encuentra en rocas del Triásico inferior del Karroo de Suráfrica. *Lystrosaurus* era un reptil mamíferoide; su cuerpo era robusto y más bien corto, las patas gruesas y la cola muy corta. Las mandíbulas desdentadas estaban protegidas por una cubierta córnea, semejante al de un tortuga. La fauna *Lystrosaurus* en la Antártida ofrece la evidencia paleontológica más fuerte para concebir que la Antártida y África meridional estuvieron unidas y ocupaban latitudes tales que en ellos podían existir anfibios y reptiles tropicales. Por tanto ya no existe razón para dudar de la cercana conexión entre África y Suramérica, lo que explicaría las estrechas relaciones entre los reptiles triásicos tempranos de estos dos continentes (Colbert, 1985).

<sup>13</sup> *Glossopteris*. Eran pteridospermos del tamaño de un árbol, con rosetas de hojas que iban desde pequeñas a muy grandes. Las hojas variaban de forma desde muy estrechas a anchas y eran similares a las de la platanera. La madera era más bien blanda pero sin evidencia de anillos de crecimiento, debido a la falta de clima de estaciones durante el periodo del Paleozoico superior. Las fructificaciones tenían lugar en hojas especializadas, tipo cápsulas portadoras de polen o estructuras que contenían semillas. Tenía una altura de 8 m. Se distribuía en el Hemisferio Sur durante el Pérmico (280-225 m.a.) y su hábitat se localizaba en tierras bajas, cálidas y húmedas. Los helechos de semilla aparecieron por primera vez en el Devónico y tuvieron su apogeo al final del Paleozoico, en el que los géneros como *Neuropteris* y *Alethopteris* formaron una parte considerable de la flora del Carbonífero superior, declinando poco a poco hasta su extinción en el Jurásico. Los géneros mencionados aparecen con profusión en el Carbonífero superior del Hemisferio Norte. A partir del Carbonífero superior y a lo largo del Pérmico y Triásico se desarrolló una flora de tipo marcadamente opuesto en el continente sur de Gondwana. Se le denomina por su componente más característico, flora de *Glossopteris*. En esta forma, las estructuras tipo semilla han aparecido unidas en forma de lengua, y generalmente se clasifican como helechos con semilla (Walker *et al.*, 1993; Black, 1982).

## LITERATURA CITADA

- Adams, F.D. 1938. *The Birth and development of the geological sciences*. Dover Publications, USA., 506 pp.
- Aldrich, M.L. 1976. "Taylor, Frank Bursley", in: *Dictionary of Scientific Biography* 13: 269-271.
- Asimov, I. 1982. *Enciclopedia biográfica de ciencia y tecnología*. 2a. ed., Alianza Editorial, Madrid, p. 549.
- Bacon, F. 1620. *Novum Organum*. Porrúa, Colección «Sepan Cuantos...» No. 293, 1991, p. 37-182.
- Black, R.M. 1982. *Elementos de Paleontología*. 1a., reimpresión, FCE, México, pp. 361-364.
- Booth, B. y F. Fitch. 1986. *La inestable Tierra*. Salvat, Barcelona, pp. 21-51; 283 pp.
- Bowie, W. 1941. "Isostasia", *Revista Geográfica* 1:7-19.
- Bueno, A.H. y J. Llorente. 1991. "El centro de origen en la biogeografía: Historia de un concepto", in: *Historia de la Biogeografía: Centros de origen y vicarianza*. Editor: Jorge Llorente B., UNAM, Facultad de Ciencias, pp. 1-33.
- Buffon, G.L.L. 1785. *Historia Natural, General y Particular*. Tomos I y II, Traducida por D. Joseph Clavijo y Faxardo, Ed., D. Joaquín Ibarra Impresor de Cámara de S.M., Madrid, Tomo I, pp. 63-349.
- Bullen, K.E. 1976. "Wegener, Alfred Lothar", in: *Dictionary of Scientific Biography* 14: 214-217.
- Cameron, A.G.W. 1977. "El Origen y Evolución del Sistema Solar", in: *El Sistema Solar*, Selecciones de Scientific American, Blume, Madrid, pp. 23-32.
- Carey, S.W. 1988. *Theories of the Earth and Universe*. Stanford University Press, USA, pp. 89-119.
- Carozzi, A.V. 1970. "New Historical Data on the Origin of the Theory of Continental Drift" *Geological Society of America Bulletin* 81:283-286.
- . 1985. "The reaction in continental Europe to Wegener's theory of continental drift", *Earth Sciences History* 4(2): 122-137.
- Colbert, E.H. 1982. "La vida sobre los continentes a la deriva", in: *El redescubrimiento de la Tierra*, CONACYT, pp. 254-262.
- . 1985. *Wandering lands and animals*. Dover Publications, USA, pp. 3-75.
- Craw, R.C. 1984. " 'Conservative prejudice' in the debate over disjunctively distributed life forms", *Stud. Hist. Phil. Sci.* 15(2): 131-140.
- Chamberlin, R.T. 1928. "Some of the objections to Wegener's theory", in: *Theory of Continental Drift. A Symposium on the Origin and Movement of Land Masses both inter-continental and intra-continental, as proposed by Alfred Wegener*. The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A., pp. 83-87.
- Dalziel, I.W.D. 1995. "Earth before Pangea", *Scientific American* 272: 38-43.
- Darwin, C. 1859. *The origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life*. Penguin Books, England, 1985, pp. 344-396.

- Darwin, F. 1892. *Charles Darwin. Autobiografía y cartas escogidas*. Alianza Editorial, Madrid, 1977, pp. 261-490.
- DeGolyer, E. 1928. "Prefatory Note" in: *Theory of Continental Drift. A Symposium on the Origin and Movement of Land Masses both inter-continental and intra-continental, as proposed by Alfred Wegener. The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A., p. v.*
- Du Toit, A.L. 1937. *Our Wandering Continents. An Hypothesis of Continental Drifting*. Oliver and Boyd, Londres, pp. 1-57, 317-332.
- Eicher, D.L. 1973. *El tiempo geológico*. Omega, Barcelona, pp. 3-19, 85-93.
- Feyerabend, P. 1975. "Imre Lakatos", *Brit. J. Phil. Sci.* 26:1-18.
- Frankel, H. 1979. "The career of continental drift theory: an application of Imre Lakatos analysis of scientific growth to the rise of drift theory", *Stud. Hist. Phil. Sci.* 10:21-66.
- . 1981. "The paleobiogeographical debate over the problem of disjunctively distributed life forms", *Stud. Hist. Phil. Sci.* 12(3): 211-259.
- . 1984. "Biogeography, before and after the rise of sea floor spreading", *Stud. Hist. Phil. Sci.* 15(2): 141-168.
- . 1985. "The biogeographical aspect of the debate over continental drift", *Earth Sciences History* 4(2): 160-181.
- Furon, R. 1969. *La distribución de los seres*. 3a. ed., Nueva Colección Labor, Barcelona, pp. 9-51; 160 pp.
- Georgi, J. 1962. "Memories of Alfred Wegener" in: Runcorn, S.K. *Continental Drift*, Academic Great Britain, pp. 309-324.
- Gohau, G. 1990. *A History of Geology*. Rutgers University Press, USA, pp. 187-200.
- Gould, S.J. 1991. *Brontosaurus y la nalga del ministro*. RBA, España, 1994, pp. 380-389; 444 pp.
- . 1992. *La flecha del tiempo*. Alianza Editorial, Madrid, pp. 19-198.
- Greene, M.T. 1984. "Alfred Wegener", *Social Research* 51(3): 739-761.
- . 1985. "Plate tectonics and biogeography in historical perspective", *Earth Sciences History* 4(2): 93-97.
- Hacking, I. 1985. *Revoluciones científicas*. FCE, Breviarios No. 409, México, 333 pp.
- Hallam, A. 1972. "La deriva continental y el registro fósil", in: Wilson, E. *Ecología, Evolución y Biología de Poblaciones*. Selecciones de Scientific American. Omega, Barcelona, 1978, pp. 81-90.
- . 1975. "Alfred Wegener and the hypothesis of continental drift", *Sci. Am.*, 232: 88-97.
- . 1976. *De la deriva de los continentes a la tectónica de placas*. Labor, Barcelona, 173 pp.
- . 1988. "La Edad de la Tierra", *Mundo Científico* 85: 1096-1102.
- . 1989. *Great geological controversies*. 2a.ed., Oxford University Press, 244 pp.

*Análisis Histórico-Filosófico de la teoría de la deriva continental de Alfred Wegener*

- Herbert, S. 1986. «Darwin, geólogo», *Investigación y Ciencia* 118: 80-87.
- Holmes, A. 1952. *Geología Física*. 2a. ed., Omega, Barcelona, pp. 483-502.
- Holmes, A., y D.L. Holmes. 1987. *Geología Física*. Omega, Barcelona, pp. 674-799.
- Holland, T.H. Sir. 1941. "The evolution of continents: A possible reconciliation of conflicting evidence", *Proceeding of the Royal Society of Edinburgh*, Section B, Vol. LXI, pp. 149-166.
- Hooykaas, R. 1963. *The principle of uniformity in geology, biology and theology*. 2a. ed., E.J. Brill, Leiden, Netherlands, pp. 1-66.
- Humboldt, De A. 1874. *Cosmos. Ensayo de una descripción física del mundo*. Tomo I, versión al castellano por: Bernardo Giner y José Fuentes, Gaspar y Roig Editores, Madrid, p. 141-325, 454 pp.
- Jacoby, W.R. 1981. "Modern concepts of Earth dynamics anticipated by Alfred Wegener in 1912", *Geology* 9: 25-27.
- Jeffreys, H. 1924. *The Earth. Its Origin, History, and Physical Constitution*. Cambridge, University Press, Gran Bretaña, pp. 250-261.
- . 1976. *The Earth. Its Origin, History, and Physical Constitution*. 6a. ed., Cambridge University Press, Gran Bretaña, pp. 481-492.
- Joly, J. 1928. "Continental Movement" in: *Theory of Continental Drift. A Symposium on the Origin and Movement of Land Masses both inter-continental and intra-continental, as proposed by Alfred Wegener*. The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A., pp. 88-89.
- Kearcy, P. y F. Vine. 1990. *Global Tectonics*. Blackwell Scientific Publications, Gran Bretaña, 302 pp.
- Kitts, D.B. 1974. "Continental Drift and Scientific Revolution", *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 42(12): 2490-2496.
- Kuhn, T.S. 1970. *La estructura de las revoluciones científicas*. 2a.ed., 5a. reimpresión 1982, FCE, Breviarios No. 213, 319 pp.
- Lakatos, I. 1983. *La metodología de los programas de investigación*. Alianza, España, pp. 9-133.
- Laudan, R. 1980. "The method of multiple working hypotheses and the development of plate tectonic theory" in: Nickles (Ed.) *Scientific discovery: case studies*. D. Reidel Publishing Company, pp. 331-343.
- . 1985. "Frank Bursley Taylor's theory of continental drift", *Earth Sciences History* 4(2):118-121.
- . 1987. *From Mineralogy to Geology. The Foundations of a Science, 1650-1830*. The University of Chicago Press, USA, pp. 201-221.
- Le Grand, H.E. 1988. *Drifting continents and shifting theories*. Cambridge University Press, Great Britain, pp. 1-53.
- Lyell, C. 1830. *Principles of Geology, being an attempt to explain the former changes of the earth's surface, by reference to causes now in operation*. Vol. I, John Murray, London. This is volume I of a facsimile of the first edition of Lyell's, The University of Chicago Press, 1990, USA, pp. 1-4, 55-74.
- . 1832. *Principles of Geology, being an attempt to explain the former changes of the earth's surface, by reference to causes now in operation*. Vol. II, John Murray, London. This is volume II of a facsimile of the first edition of Lyell's, The University of Chicago Press, 1990, USA, pp. 66-86, 158-175.

Pérez M., C.

- Llorente, J.B. y D. Espinosa. 1991. "Síntesis de las controversias en la biogeografía histórica contemporánea", *Ciencia* 42: 295-312.
- Marvin, U.B. 1974. *Continental Drift. The Evolution of a Concept*. Second printing with corrections, Smithsonian Institution Press, USA, pp. 1-119.
- 1985. "The British reception of Alfred Wegener's continental drift hypothesis", *Earth Sciences History* 4(2): 138-159.
- Murphy, J.B. y R. D. Nance. 1992. "Mountain Belts and the Supercontinent Cycle", *Scientific American* 269 (4): 34-41.
- Navarro, L.F. 1922. *Los continentes a la deriva. Ibérica*, Barcelona, año 9, t. 2, 18(436): 44-47.
- Newman, R.P. 1995. "American intransigence: The rejection of continental drift in the great debates of the 1920's", *Earth Sciences History* 14: 62-83.
- Nur, A. y Z. Ben-Avraham. 1981. "Lost Pacific Continent: A Mobilistic Speculation", in: Nelson, G. y Rosen, D.E. (Edit.), *Variance Biogeography. A Critique*. Columbia University Press, USA, pp. 341-370.
- Palerm, A. 1982. *Historia de la etnología. Los evolucionistas*. 2a. ed., Alhambra Universidad, México, pp. 77-92.
- Papavero, N., J. Llorente, y D. Espinosa. 1995. *Historia de la Biología Comparada. Volumen III. De Nicolás de Cusa a Francis Bacon*. UNAM, México, 257 pp.
- Pelayo, F. 1991. *Las teorías geológicas y paleontológicas durante el siglo XIX*. Akal, España, 55 pp.
- Pérez, R.T. 1990. *¿Existe el Método Científico?*. FCE, México, pp. 155-187.
- Platón. *Diálogos. Timeo o de la Naturaleza; Critias o de la Atlántida*. Porrúa, «Sepan Cuantos...», No. 13, México, 1978, pp. 663-733.
- Raisz, E. 1985. *Cartografía general*. Omega, Barcelona, pp. 5-59.
- Read, H.H. 1949. *Geología. Introducción a la historia de la Tierra*. FCE, Breviarios No. 14, México, 217 pp.
- Rudwick, M.J.S. 1987. *El significado de los fósiles*. Blume, Madrid.
- Rupke, N.A. 1970. "Continental drift before 1900", *Nature* 222: 349-350.
- Rusc, M. 1983. *La revolución darwinista*. Alianza Editorial, Madrid, pp. 59-103.
- Schwarzbach, M. 1986. *Alfred Wegener. The Father of Continental Drift*. Science Tech, Inc., USA, pp. 3-28.
- Shea, J.H. 1982. "Twelve fallacies of uniformitarianism", *Geology* 10: 455-460.
- Simpson, G.G. 1967. *La vida en el pasado. Una Introducción a la Paleontología*. Alianza Editorial, Madrid, pp. 103-124.
- Stewart, J.A. 1990. *Drifting Continents & Colliding Paradigms. Perspectives on the Geoscience Revolution*. Indiana University Press, USA, pp. 1-44.
- Suess, E. 1930. *La Faz de la Tierra (Das Antlitz der Erde)*. Tomo Cuarto, versión española de Pedro de Novo y F. Chicarro, Madrid, pp. 409-447.



*Análisis Histórico-Filosófico de la teoría de la deriva continental de Alfred Wegener*

- Takeuchi, H., S. Uyeda., y H. Kanamori. 1986. *¿Qué es la Tierra? (El problema de la deriva continental)*. Orbis, Barcelona, pp. 1-68; 238 pp.
- Tarback, E.J. y F.K. Lutgens. 1990. *The Earth. An Introduction to Physical Geology*. Merrill Publishing Company, pp. 441-456.
- Tarling, D., y M. Tarling. 1986. *Derivas continentales*. Orbis, Barcelona, 128 pp.
- Taylor, F.B. 1910. "Bearing of the Tertiary mountain belt on the origin of the earth's plan", *Bulletin of the Geological Society of America* 21:179-226.
- Totten, S.M. 1981. "Frank B. Taylor, Plate Tectonics, and Continental Drift", *Journal of Geological Education* 29: 212-220.
- Tyrell, G.W. 1972. *La Tierra y sus misterios*. Nueva Colección Labor, No. 104, España, pp. 219-244.
- Udías, U.A. 1981. *Física de la Tierra*. Alhambra, España, 72 pp.
- Uyeda, S. 1980. *La nueva concepción de la Tierra*. Blume, España, pp. 10-56.
- Vinc, F.J. 1977. "The continental drift debate", *Nature* 266:19-22.
- Walker, C. y D. Ward. 1993. *Manuales de Identificación. Fósiles*. Omega, Barcelona, pp. 256-257; 296-297.
- Wegener, A. 1928. "Two notes concerning my theory of Continental Drift", in: *Theory of Continental Drift. A Symposium on the Origin and Movement of Land Masses both inter-continental and intra-continental, as proposed by Alfred Wegener*. The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A., pp. 97-103.
- Wegener, A. 1929. *The origin of continents and oceans*. Dover Publications, USA, 1966, 296 pp.
- Wegener, K. 1961. "Alfred Wegener" in: A. Wegener. 1929. *The Origin of Continents and Oceans*. Dover Publications, New York, pp. iii, iv, v.
- Whitten, D.G.A. y J.R.V. Brooks. 1986. *Diccionario de Geología*. 1a. reimpresión, Alianza Editorial, Madrid, 343 pp.
- Wilson, J.T. 1963. "Continental Drift" in: *Continents Adrift and Continents Aground*. W.H. Freeman, USA, 1976, pp. 19-33.
- . 1971. "Du Toit, Alexander Logic", in: *Dictionary of Scientific Biography* 4:261-263.
- Willis, B. 1928. "Continental Drift" in: *Theory of Continental Drift. A Symposium on the Origin and Movement of Land Masses both inter-continental and intra-continental, as proposed by Alfred Wegener*. The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A., pp. 76-82.